

Ra Ximhai

Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo
Sustentable

Ra Ximhai
Universidad Autónoma Indígena de México
ISSN: 1665-0441
México

2012

PROBLEMÁTICA Y RIESGO AMBIENTAL POR EL USO DE PLAGUICIDAS EN SINALOA

Cipriano García-Gutiérrez y Guadalupe Durga Rodríguez-Meza
Ra Ximhai, septiembre - diciembre, año/Vol. 8, Número 3
Universidad Autónoma Indígena de México
Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. pp. 1-10.



e-revist@s

PROBLEMÁTICA Y RIESGO AMBIENTAL POR EL USO DE PLAGUICIDAS EN SINALOA

ENVIRONMENTAL PROBLEMS AND RISK FOR THE USE OF PESTICIDES IN SINALOA

Cipriano **García-Gutiérrez** y Guadalupe Durga **Rodríguez-Meza**

Profesor Investigador. CIIDIR COFAA-IPN Unidad Sinaloa. Blvd. Juan de Dios Bátiz Paredes 250. Guasave, Sinaloa, México. C. P. 81101. cgarciag@ipn.mx; garciaciprian@hotmail.com.

RESUMEN

En Sinaloa la producción de granos y hortalizas es una de las más importantes en México; no obstante, la actividad agrícola se sustenta en el uso de un alto volumen de plaguicidas químicos, los cuales han tenido impacto negativo en el ambiente. El presente trabajo presenta una revisión sobre las principales causas y efectos de la desmedida aplicación de plaguicidas en los principales cultivos sembrados, lo que repercute en la posibilidad de aumentar el riesgo de contaminación de los suelos, sistemas lagunares y mantos freáticos. Se señalan también algunas alternativas y reglamentación para la aplicación de los plaguicidas químicos y para el manejo de los envases y residuos de estos productos, así como la implementación de la agricultura orgánica y el uso de bioplaguicidas para el control de plagas y enfermedades. La información refleja una alta cantidad de sustancias tóxicas provenientes de la actividad agrícola al ambiente, por lo que el riesgo de que los residuos plaguicidas contaminen al suelo, sistemas lagunares y mantos acuíferos es también alta, por esta razón es oportuno realizar trabajos de investigación, acciones y aplicación de las normas regulatorias más exigentes a fin de bajar los aportes de estas sustancias en el ambiente.

Palabras clave: Plaguicidas, Sinaloa, bioplaguicidas, riesgo ambiental.

SUMMARY

In Sinaloa the production of grains and vegetables is one of the most important in Mexico; however, farming activities is support on the use of high volume of chemical pesticides, which has been negative environment impact. This paper present a review of the main causes and effects of the excessive application of pesticides in major field crops, which result in the possibility of increase the risk of environment pollution in the soil, groundwater, and lagoons system. Also are present alternatives and regulation issues for the application, management and waste of chemical pesticides, as well as the implementation of organic agriculture and use of biopesticides for the control of pests and diseases. The information reflected a high quantity of toxic substances from agriculture activities to the environment, so that the risk of pesticide residues to cause contamination in ground, systems lagoons and ground water is too high, for this reason is a just moment to conduct research, actions and implementation of more stringent regulatory issues in order to low the intake of these substances to the environment.

Key words: Pesticides, Sinaloa, biopesticides, environmental risk.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial la producción de plaguicidas orgánicos sintéticos aumento desde los inicios del siglo XX, debido al desarrollo de la industria petrolera. No obstante, la producción y uso de estos compuestos, así como de lubricantes, solventes, gasolinas u otros, han aumentado la carga de estas sustancias en la atmósfera, hidrósfera, suelos y sedimentos, lo que ha provocado episodios críticos de contaminación en el ambiente (Galán-Huertos *et al.*, 2003). El uso agrícola de plaguicidas es un subconjunto del espectro más amplio de productos químicos industriales utilizados en la sociedad moderna. Según la base de datos de la American Chemical Society, en 1993 se habían identificado más de 13 millones de productos químicos, a los que se suman cada año unos 500,000 nuevos compuestos (Ongley, 1997).

En México la superficie agrícola cultivada en los últimos 20 años, es de 20 millones de hectáreas, de las que el mayor uso es en el sistema de temporal, después se redujo a 15.5 mill. de ha, mientras que la agricultura de riego se ha mantenido durante este periodo en 5; en total, esto corresponde al 75% de la superficie sembrada en el país (Fig. 1). La problemática para los cultivos de granos y hortalizas han sido los diferentes tipos de enfermedades, plagas y malezas, que perjudican desde la semilla, a la planta y los frutos, los cuales han podido contrarrestarse con la aplicación de los plaguicidas.

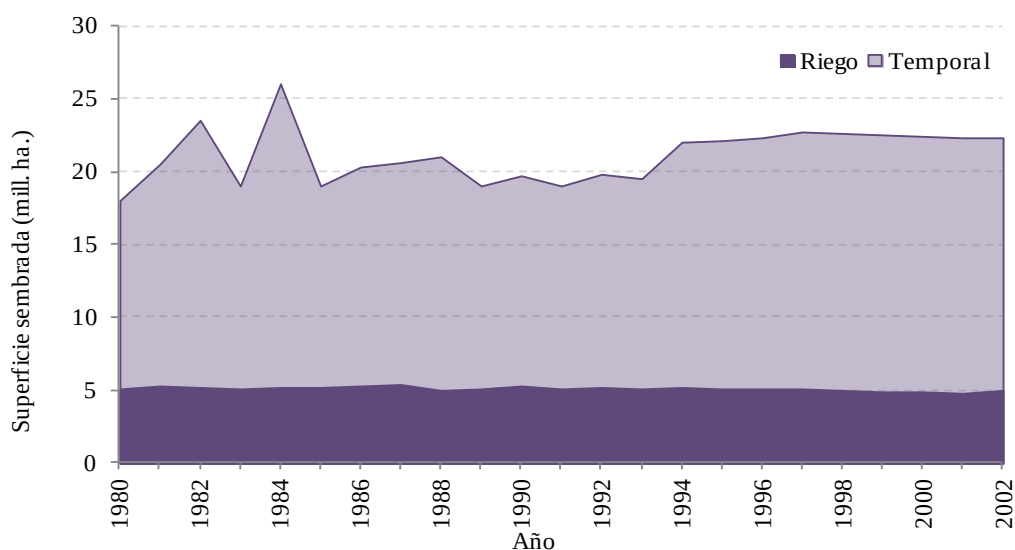


Figura 1. Superficie agrícola sembrada en México durante 1980 a 2002 (tomado de SEMARNAT, 2005).

Los plaguicidas son sustancias o mezcla de sustancias que se usan de manera intensiva para controlar plagas agrícolas e insectos vectores de enfermedades en humanos y en los animales, así como, para el control de insectos y ácaros que afectan la producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos, productos agrícolas, madera y alimento para animales (FAO, 2003). Sin embargo, se reconoce que son sustancias químicamente complejas, que una vez aplicadas en el ambiente, están sujetas a una serie de transformaciones a nivel físico, químico y biológico (fenómenos de adsorción y absorción sobre suelos y plantas, volatilización, fotólisis y degradación química o microbiana). Además que también pueden ser arrastrados por las corrientes de aire y agua que permiten su transporte a grandes distancias; hay que añadir que los residuos volátiles pasan a la atmósfera y regresan con la lluvia a otros lugares (López-Geta *et al.*, 1992). Estas transformaciones pueden conducir a la generación de fracciones o a la degradación total de los compuestos que en sus diversas formas pueden llegar a afectar en los diferentes niveles de un ecosistema (Garrido *et al.*, 1998).

Los plaguicidas, metales pesados y otras impurezas, son considerados por la Agencia de Protección al Ambiente (EPA, 1992) como contaminantes de acuíferos debido a su alta toxicidad, persistencia y movilidad, además de que afectan a importantes cargas hidráulicas, como lagunas y canales de irrigación; y por sus propiedades fisicoquímicas, son resistentes a la degradación biológica (Hirata, 2002).

En la actualidad, uno de los mayores problemas es el uso indiscriminado y sin control de estos compuestos, tan solo en 1992 la producción mundial de plaguicidas se estimó en 10 mill. de ton. (López-Geta *et al.*, 1992); de estas más del 80% se emplearon en Europa y Estados Unidos. Hasta mediados del siglo pasado se utilizaron cerca de 40 compuestos de tipo botánico o inorgánico, entre éstos, arseniato de plomo, aceto-arseniato de cobre y una mezcla de sulfato de cobre y cal conocida como Caldo Bordelés (Albert, 2005). Sin embargo, en la actualidad hay desconocimiento de la cantidad y tipos de plaguicidas (ingredientes activos) que se aplican en los campos; así mismo, el escaso control de los desechos que constantemente se ven expuestos a los factores del medio y que en ocasiones son reutilizados nuevamente.

Agricultura en México

La actividad agrícola es una fuente de contaminación importante, desde la introducción del DDT en 1950 y el uso posterior de otros productos como toxafeno, endrín y organoclorados (aldrín, dieldrín y heptacloro) (Albert, 1996). A inicios de los 70'se sumaron a la lista el paratión etílico, paratión metílico y malatión. La aplicación de la mayoría de los organoclorados fue prohibido en 1988, aunque en 1992 aún se permitía el uso de clordano, metoxicloro, endosulfan, pentaclorofenol, dicofol y clorotalonil; algunos de ellos aún registrados para uso restringido (CICOPLAFEST, 1994; 1998). Lo anterior, ha generado que se empleen otros productos con menor persistencia pero con mayor toxicidad denominados plaguicidas organofosforados, entre los cuales se puede mencionar el paratión metílico, malatión, banzate y clorpirifos. Datos de 1992 a 2002 muestran un incremento en el consumo de plaguicidas por hectárea, cuyo registro máximo es de 1.8 ton. por mil hectáreas entre 1999 y 2002, mientras que el mínimo fue 1.3 ton. por mil hectáreas durante 1992 y 1995 (SEMARNAT, 2005) (Fig. 2).

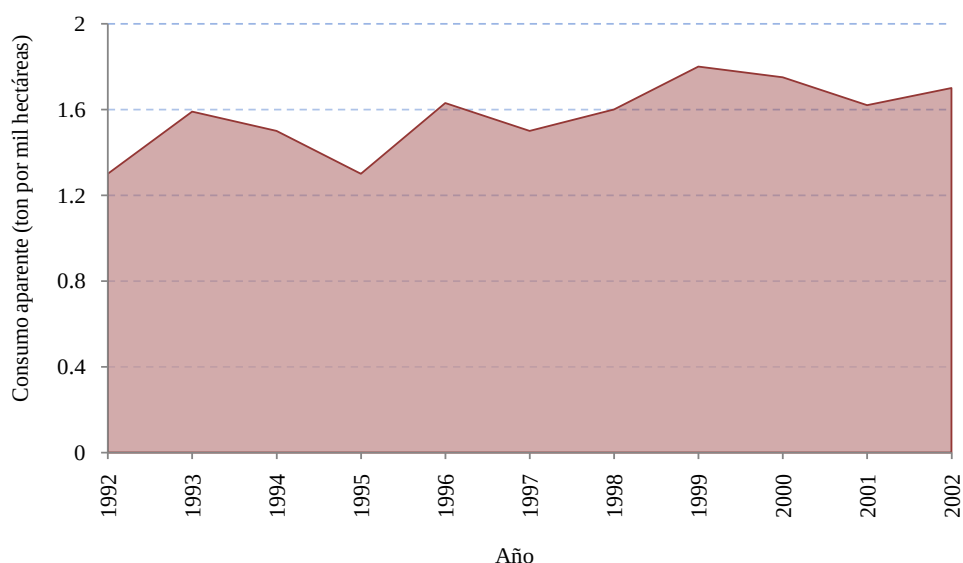


Figura 2. Consumo aparente de plaguicidas en México durante 1992 y 2002 (tomado de SEMARNAT, 2005).

En México se calcula que existen alrededor de 900 plaguicidas y los cultivos en los que se usa el mayor volumen de insecticidas químicos son: maíz, algodón, papa, chile, tomate, frijol, trigo, aguacate, café y tabaco, en cantidades que van desde 395 hasta 13,163 ton de plaguicidas al año (AMIPFAC, 1995), mientras que los estados con mayor uso de plaguicidas son Sinaloa, Veracruz, Jalisco-Nayarit-Colima, Sonora-Baja California, Tamaulipas, Michoacán, Tabasco, Estado de México, Puebla y Oaxaca, con el 80% de los plaguicidas totales (Albert, 2005). Se emplean 260 marcas de productos químicos de las cuales 24 están prohibidas y 13 restringidas, siendo las principales causas de intoxicación debido a las deficientes medidas de control y previsión (CICLOPLAFEST, 2008).

La información disponible en cuanto al volumen y tipos de pesticidas aplicados anualmente en los campos agrícolas y el grado de contaminación orgánica con productos tóxicos en los cuerpos de agua es prácticamente inexistente. Hasta el año 2008, los estados con mayor producción agrícola a nivel nacional fueron Guanajuato, Sinaloa, Tamaulipas, Zacatecas y otros (SAGARPA, 2008), en donde destaca el uso intensivo de los agroquímicos. Al respecto, Cortinas de Nava (2007) señala que las zonas con mayor uso de plaguicidas en la agricultura o con fines sanitarios durante el 2000, fueron: Sinaloa, Chiapas, Veracruz, Jalisco, Nayarit, Colima, Sonora-Baja California y Tamaulipas. Estos Estados representaron alrededor del 70% del consumo de los plaguicidas.

En el Estado de Sinaloa, la aplicación de estos compuestos ha sido una de las principales fuentes de contaminación ambiental, generando varios casos de intoxicación y otros problemas de salud pública (Karam-Quñones, 2002). Sobre esto, Albert (2005) menciona un mayor uso de los herbicidas (paraquat, glifosato), seguidos de insecticidas (organofosforados: paratión metílico, metamidofos, malatión) y fungicidas (mancozeb y clorotalonil) (Fig. 3).



Figura 3. Envases de agroquímicos en un campo agrícola y canal de riego en Guasave, Sinaloa.

Caso Sinaloa “corazón agrícola”

Sinaloa conocido a nivel nacional como el “corazón agrícola de México”, es productor de granos y hortalizas para consumo nacional y para exportación, favorecido por un clima tropical que permite el cultivo de 1’245,638 ha., de las cuales el 40% son de riego, 50% de temporal y un 10% de riego y temporal (Fig. 4) (Karam-Quñones, 2002). Hay que añadir la presencia de 11 cuencas hidrológicas que permiten la irrigación de los campos por diferentes métodos. En esta zona agrícola se siembran 50 cultivos diferentes; no obstante, por su extensión son 8 los cultivos de importancia económica y social. En granos básicos destacan: maíz, frijol, y trigo; y en alimenticios los cultivos hortícolas, principalmente tomate, chile y pepino (INIFAP, 2000). El Cuadro 1 muestra los datos de superficie sembrados en Sinaloa durante 2009 y 2010 que presenta el Consejo para el Desarrollo Económico de Sinaloa (CODESIN, 2011).

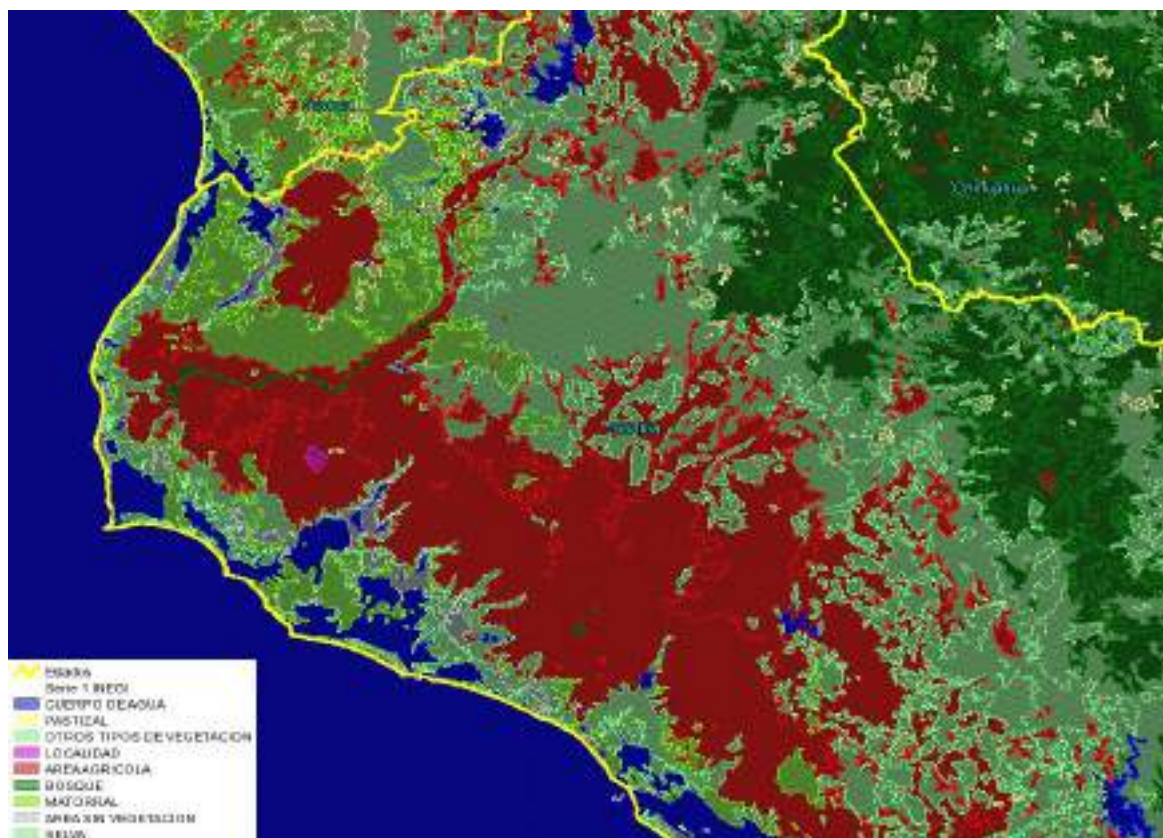


Figura 4. Uso de suelo y tipos de vegetación que caracterizan la porción Norte del Estado de Sinaloa (CONAFOR, 2006).

Cuadro 1. Superficie sembrada en Sinaloa en 2009 y 2010.

Producto	2009	2010	% de Distribución 2010
Total estatal	1,305,332	1,233,505	100
Hortalizas	71,844	75,407	6.11
Granos	894,304	840,042	68.10
Oleaginosas	154,360	191,316	15.51
Caña de azúcar	28,864	24,424	1.98
Frutas 1/	37,064	34,835	2.82
Otros cultivos 2/	120,896	67,480	5.47

1/ En otras frutas se agrupa: durazno, fresa, guayaba, mandarina, nanche, tamarindo y toronja.

2/ En otros cultivos se agrupa: agave, aguacate, alfalfa verde, cebolla semilla, eucalipto.

Datos SAGARPA (Tomado de CODESIN, 2011).

El cultivo de granos y/o hortalizas en cada temporada ha generado que en ciertos suelos se presente un uso excesivo (monocultivos, sobrecultivos y pastoreo) o subutilizados (Orozco-Abundis, 2006), que generan el abatimiento de su fertilidad, la salinización y el agotamiento de los mantos acuíferos en las áreas de riego, la contaminación a partir de los fertilizantes y plaguicidas químicos que se utilizan, la disminución de la diversidad genética de las especies que se cultivan, el aumento de plagas y enfermedades y el uso cada vez de mayores insumos.

A pesar de la gran cantidad de agroquímicos que se emplean constantemente, es poco lo que se conoce sobre su toxicidad en los organismos, incluyendo al ser humano, así como el impacto ambiental global. A este respecto, los suelos que son la fuente generadora de los alimentos a nivel mundial, son vulnerables a los procesos de degradación, desertificación y su efecto en los ecosistemas que sustentan. Entre los riesgos que se generan está la pérdida de la fertilidad del suelo, a partir, del daño en el humus y de los nutrientes que los hacen productivo, como es el

fósforo, nitrógeno, potasio y otras (Orozco-Abundis, 2006). Por otro lado, las partículas inorgánicas que integran el suelo permiten la acumulación y dispersión de los plaguicidas, no solo en los campos agrícolas sino también en los medios acuáticos y los organismos, los cuales dependerán de la persistencia y degradación de los compuestos (SEMARNAT, 2005). Al respecto, la FAO (2003) indica que es necesario hacer una reglamentación en el uso y aplicación de estos compuestos, sobre todo tener un registro y llevar a cabo programas de vigilancia sobre la contaminación ambiental, intoxicación y vigilancia de los residuos que generen estos compuestos. En México, se han desarrollado programas para la conservación, uso y aprovechamiento del suelo, pero desafortunadamente, no se presta demasiada atención a sus implicaciones ambientales. En Sinaloa, se reconoce que no hay un registro de las descargas agrícolas y su efecto en las corrientes superficiales y las bahías, además de incluir la contaminación de carácter físico-químico, bacteriológico y de nutrientes (Consejo de cuenca de los ríos Fuerte y Sinaloa, 2005). Datos del ciclo agrícola 1997-1998, muestran la cantidad de agroquímicos que se emplearon en la región (Cuadro 2), periodo en el cual se sembraron 848,700 ha, de las cuales 704,000 ha fueron granos, 31,000 oleaginosas, 80,000 hortalizas, 24,700 cultivos industriales y 7,000 ha fueron cultivos diversos (Karam-Quiñones, 2002).

Cuadro 2. Consumo de plaguicidas en Sinaloa (Karam-Quiñones, 2002).

Cultivo	Superficie (ha)	Consumo de plaguicida (kg ha⁻¹)	Total
Granos	704,000	3.5	2 464 000
Oleaginosas	31,000	5.5	170 500
Hortalizas	80,000	35.0	2 800 000
Cultivos industriales	--	7.5	172 500
Otros cultivos	7000	3.0	21 000

Endréu (2011) señala que la cantidad de plaguicidas que se emplea en Costa Rica es de 51.2 kg ha⁻¹ cultivable, país de mayor consumo de estos agroquímicos, en Colombia y Ecuador son 16.7 kg ha⁻¹ y 6.0 kg ha⁻¹, respectivamente. Por otro lado, durante el 2000 al 2005 en México se observó un incremento en el volumen de producción de plaguicidas (herbicidas y defoliantes), así como de insecticidas que se emplean primordialmente en los campos (INEGI, 2006).

Al conocer los problemas a la salud y el ambiente por estas sustancias, en México fue creada la comisión intersecretarial para el control del proceso y uso de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas (CICOPLAFEST), ahora COFEPRIS (Comisión Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios). Sin embargo, se reconoce el uso indiscriminado de estos compuestos, ya que constituyen una amenaza para la salud y al ambiente (Cortinas de Nava, 2007). Datos de INEGI (2009) indican que la tecnología aplicada en la superficie agrícola se basa en la fertilización, uso de herbicidas e insecticidas químicos, mientras que los abonos naturales se aplican en menor cantidad (Cuadro 3).

Cuadro 3. Unidades de producción con superficie agrícola por tipo de tecnología aplicada. Año censal 2007.

Tecnología aplicada	Unidades de producción con superficie agrícola
Total	40187
Fertilizantes químicos	32201
Semilla mejorada	27052
Abonos naturales	2427
Herbicidas	19961
Químicos	19248
Orgánicos	1735
Insecticidas	20750
Químicos	20596
Orgánicos	551
Quema controlada	2298
Otro tipo de tecnología	67

Datos de INEGI (2009).

Impacto en el ambiente

Desafortunadamente, los sistemas acuáticos terrestres y marinos son los más amenazados por el aporte de sustancias contaminantes como plaguicidas, fertilizantes, metales pesados, organismos patógenos y otros, a través del incremento de actividades antropogénicas en las áreas adyacentes que alteran las condiciones naturales de los ecosistemas, incluyendo al ser humano. La importancia de los cuerpos de agua, sitios biológicos activos, radica en la diversidad biológica y los procesos biogeoquímicos que se realizan, además de que en Sinaloa algunos de estos están reconocidos como sitios RAMSAR por incluir especies protegidas de flora y fauna endémicas y migratorias. A pesar de la relevancia de estos al ambiente, en los sedimentos de la Laguna Santa María se reporta la presencia de 14 plaguicidas y moléculas de heptacloro epóxido, p,p-DDE, endrín y aldrín, cuyos contenidos son menores a otros sistemas costeros de la región, a excepción del heptacloro epóxido que sobrepasó el límite máximo recomendado en la Norma Ambiental FAO/WHO (Díaz-Arredondo, 1998). En peces de interés comercial, como *Lutjanus colorado* y *Mugil curema* (Reyes-Montiel, 2011), se encontraron estos compuestos por el proceso de bioacumulación, considerando que las zonas de distribución son afectadas por diferentes contaminantes que se relacionan a la presencia de drenes agrícolas, canales de riego, forma de riego, aplicación de los plaguicidas y mal manejo de los desechos (envases u contenedores), entre otros. Hay que añadir los lixiviados de los campos agrícolas que pueden llegar a los mantos freáticos producto de la aplicación en exceso de los agroquímicos (Garrido *et al.*, 1998).

Manejo de residuos plaguicidas

El manejo de los envases vacíos es un serio problema que deriva de la agricultura y representa alto riesgo ambiental y de salud, debido que según Albert (2005) se generan 7 mil toneladas anuales de residuos, de las cuales la mayoría quedan dispersos en los campos; la distribución de los plaguicidas no se limita únicamente a los cuerpos de agua y su bioacumulación en la biota presente, sino a productos de consumo humano. Izquierdo *et al.* (2004) encontraron plaguicidas organoclorados (POC) en formulas infantiles, elaboradas a partir de leche en polvo, aceites vegetales o mezcla de estos, siendo el más detectado endrín y en menor concentración DDT y BHC. Terrones *et al.* (2000) reportó la presencia de hasta 6 POC en la leche materna, suero materno y el cordón umbilical. Los plaguicidas identificados fueron DDT (suma de p,p-DDT y de

su principal metabolito p,p-DDE), el metoxicloro, los BHC se detectaron los isómeros beta y gama (lindano).

Este problema se agudiza como resultado de la falta de un registro y manejo de estos compuestos, además de una reglamentación en el control de los desechos. En Sinaloa y otros estados a nivel nacional, esto representa un conflicto ambiental que implica la búsqueda y recopilación de información de los tipos y cantidades de plaguicidas que se aplican en la región, conocer los procesos de transporte, degradación, biomonitorio (bioacumulación, biomagnificación), entre otros; con la finalidad de establecer planes y programas en el manejo de estas sustancias, e implementar nuevas alternativas amigables (bioinsecticidas y biofertilizantes) con el ambiente que beneficien en igual o mayor manera su uso, tanto en los campos agrícolas como en los hogares.

Alternativas para evitar contaminación en campos agrícolas

Agricultura ecológica. Es un sistema de producción agrícola sostenible que se emplea en Europa y que se concibe como una alternativa viable al enfoque tradicional de la agricultura, seguridad alimentaria y los problemas ambientales (Orozco-Abundis, 2006).

Control biológico y uso de bioinsecticidas. En Sinaloa las principales hortalizas que se producen son: papa tomate *Lycopersicon esculentum* (Mill.), papa *Solanum tuberosum* (L.), chile *Capsicum annum* (L.) y tomatillo *Physalis ixocarpa* Brot., cultivos que cada año se ven afectados por insectos plaga entre los que destacan: mosquita blanca *Bemisia argentifolii* Bellows & Perring (Hemiptera: Aleyrodidae), *Bactericera cockerelli* Sulc. (Homoptera: Psyllidae), *Liriomyza trifolii* Burgess (Diptera: Agromyzidae), *Myzus persicae* Sulzer (Hemiptera: Aphididae), *Macrosiphum euphorbiae* Thomas (Homoptera: Aphidoidea), *Frankliniella occidentalis* Pergande (Thysanoptera: Thripidae), *Circulifer tenellus* Baker (Homoptera: Cicadellidae), *Spodoptera exigua* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae) entre otros, dependiendo del cultivo (González-Maldonado y García-Gutiérrez, 2011).

Una de las formas de contrarrestar las pérdidas de los productos cultivados es con el uso de enemigos naturales de las plagas, a través de la lucha insecto-insecto o agentes microbianos (virus, bacterias, hongos y nematodos) que causan la muerte a los insectos plaga (control biológico). Para este caso en particular se debe de considerar el sistema cultivo-ambiente-insecto, para ello se ha observado que este método ha demostrado ser efectivo contra plagas de hortalizas de granos y frutales.

Por otro lado, los bioinsecticidas elaborados a base de hongos entomopatógenos (HE) son un ejemplo de nuevas formulaciones de organismos virulentos que solo causan enfermedad y muerte en insectos, se elaboran de acuerdo al insecto blanco por combatir. Durante el proceso se mezcla el ingrediente activo (esporas, blastosporas y micelio) con ciertos materiales inertes (acarreadores, solventes, emulsificantes o gelificantes y otros aditivos) que pueden ser nutrientes o estimulantes que favorecerán a la liberación de pequeñas cantidades del ingrediente activo durante tiempo prolongado, poca degradación a reacciones químicas (fotólisis, oxidaciones), las micro o nano cápsulas se adhieren al follaje y se absorben en diferentes partes del insecto a través de la cutícula y ejerciendo su acción insecticida (García-Gutiérrez, *et al.* 2006; Rosas-García, 2008).

Regulación de plaguicidas a nivel regional

Es necesario considerar el uso y destino de los ingredientes activos, promoción de la agricultura orgánica, impuestos indirectos sobre el uso de los plaguicidas (un impuesto sobre los plaguicidas puede concebirse y aplicarse, de tal manera que reduzca la utilización de plaguicidas sin perturbar ni deteriorar extremadamente la situación económica del sector agrario) para apoyar el saneamiento, certificación de los usuarios de plaguicidas, registro de aplicación de plaguicidas, supervisión de la aplicación (evita el riesgo de aplicación en exceso). Al respecto, el Gobierno de Dinamarca está considerando medidas adicionales como la prohibición del uso de plaguicidas a 10 m de lagos, corrientes de agua, tierras húmedas y zonas de conservación. Además de la prohibición de plaguicidas a menos de cierta distancia, previamente especificada, de huertos privados y

propiedades que tengan terrenos cultivados sin uso de plaguicidas, hay que añadir esta misma prohibición a menos de 10 m de un embalse de agua potable (Ongley, 1997).

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

En Sinaloa el uso de plaguicidas químicos sustenta la actividad agrícola, misma que ha generado problemas de contaminación en el suelo, agua, biota y sedimentos, esto a través de las descargas de estas sustancias tóxicas a los sistemas lagunares, vía drenes, riego y lluvia, por lo que esta situación constituye un factor de riesgo de contaminación para los ecosistemas terrestres y marinos. Por el alto volumen de aplicación de plaguicidas en el área agrícola (2, 464 000 ton.) la toxicidad de los compuestos y su persistencia, es necesario apegarse a una reglamentación para la aplicación de los productos e ingredientes activos; de manera paralela, es conveniente fomentar y llevar a la práctica esquemas de agricultura orgánica y el uso de biofertilizantes para la nutrición de las plantas y bioinsecticidas para el control de plagas y enfermedades.

Con base en el riesgo ambiental y de salud que tienen los plaguicidas químicos, es necesario desarrollar tecnología para la elaboración de nuevas formulas biodegradables para el control de plagas y enfermedades de la región, las cuales sean favorables a la agricultura y al medio ambiente.

La información presentada en este documento sobre la superficie de cultivos sembrados y tipos de plaguicidas utilizados en Sinaloa, reflejan una alta cantidad de sustancias toxicas provenientes de la actividad agrícola al ambiente, por lo que el riesgo de que los residuos plaguicidas contaminen al suelo, sistemas lagunares y mantos acuíferos es también alta, por lo que es oportuno derivar trabajos de investigación, acciones y aplicación de las normas regulatorias más exigentes a fin de bajar los aportes de estas sustancias en el ambiente.

LITERATURA CITADA

- Albert, L. A. 1996. **Persistent pesticides in Mexico**. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology. 147: 1-4.
- Albert, L. A. 2005. **Panorama de los plaguicidas en México**. Revista de Toxicología. (En línea). Disponible en: <http://www.sertox.com.ar/retel/n08/01.pdf>
- AMIPFAC (Asociación Mexicana de la Industria de plaguicidas y fertilizantes. 1995. **Curso de orientación para el buen uso y manejo de plaguicidas**. Sidaner, J. (Ed.). (En línea). Disponible en: http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/estadisticas_2000/naturaleza/estadísticaam/informe/acrobat/capitulo3-3-5.pdf
- CICOPLAFEST. 1994. **Catálogo oficial de plaguicidas**. México. 481 p.
- CICOPLAFEST. 1998. **Catálogo oficial de plaguicidas**. México. 454 p.
- CODESIN (Consejo para el Desarrollo Económico de Sinaloa). 2011. **Reporte de la Superficie cultivada, volumen y valor de la producción agrícola en Sinaloa: datos comparativos del año 2010 con respecto al año 2009**. Boletín 55/2011. Culiacán, Sin.
- CONAFOR. 2006. **Mapa de uso de suelo en la porción norte de Sinaloa**. (En línea) Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx/portal/index.php/temas-forestales/biblioteca-forstal>
- Consejo de cuenca de los Ríos Fuerte y Sinaloa. 2005. **Programa de gestión del agua para el saneamiento en las cuencas de los Ríos Fuerte y Sinaloa**. Grupo de Seguimiento y Evaluación. 43 p.
- Cortinas de Nava, C. 2007. **Situación en México de las existencias de plaguicidas sujetos al Convenio de Estocolmo**. INE. México, D.F. 24 p.
- Díaz-Arredondo, M. A. 1998. **Distribución de plaguicidas organoclorados y anélidos poliquetos en los sedimentos superficiales de la Bahía de Santa María, Sinaloa, México**. Tesis de maestría. CICESE. Ensenada, B.C. 185 p.
- Endréu, T. 2011. **Costa Rica: mayor consumidor de plaguicidas por hectárea en el mundo**. Red de acción en plaguicidas y sus alternativas para América Latina. (En línea). Disponible en: http://www.rap-al.org/index.php?seccion=8&f=news_view.php&id=492, consultado marzo 20, 2012.
- FAO. 2003. **Código Internacional de conducta para la distribución y utilización de plaguicidas**. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Roma. 40 p.

- Galán-Huertos, E., J. L. Gómez-Ariza, N. Bellinfante Crocci, P. Aparicio-Fernández. 2003. **Contaminación de suelos por compuestos orgánicos**. Informe final. Sevilla, España. 185 p.
- García Gutiérrez, C., Hernández Velázquez V. M. y M. B. González Maldonado. 2006. **Procesos biotecnológicos de producción de bioplaguicidas: hongos entomopatógenos**. 91-118 pp. En: *Biotecnología Financiera Aplicada a Bioplaguicidas*. Cipriano García Gutiérrez e Hiram Medrano Roldán (Eds).
- Garrido, T., C. Costa, J. Fraile, E. Orejudo, J. Niñerota, A. Ginebreda, L. Olivilla y M. Figueras. 1998. **Análisis de la presencia de plaguicidas en diversos acuíferos de Cataluña. Jornadas sobre la contaminación de las aguas subterráneas: un problema pendiente**. Valencia, España. 7 p.
- González Maldonado, M. B. y C. García Gutiérrez. 2011. **Monitoreo de insectos vectores asociados a enfermedades de cultivos de hortalizas en el Norte de Sinaloa**. XLVI Congreso Nacional de Entomología. Riviera Maya Cancún, Quintana Roo. 366-369 pp.
- Hirata, R. 2002. **Carga contaminante y peligros a las aguas subterráneas**. Revista Latino-Americana de Hidrogeología. São Pablo, Brasil. 2: 81-90.
- INEGI. 2006. **El sector alimentario en México**. Serie de estadísticas sectoriales. 296 p.
- INEGI. 2009. **VIII Censo agrícola, ganadero y forestal. Estados Unidos Mexicanos**. Censo Agropecuario 2007. Aguascalientes, Ags. México. 193 p.
- INIFAP. 2000. **Guía para la asistencia técnica agrícola. Área de influencia del campo experimental**. Fundación Produce Sinaloa. Consejo consultivo zona norte. 284 p.
- Izquierdo P., A. M. Torres-Gabriel, A. García y M. Piñero. 2004. **Residuos de plaguicidas organoclorados en formulas infantiles**. 14(2): 147-152.
- Karam-Quñones, C. 2002. **Los agroquímicos: una perspectiva jurídica-ambiental. Análisis del caso Sinaloa**. Colegio de Sinaloa. Culiacán, Sinaloa, México. 404 p.
- López-Geta, J.A., C. Martínez-Navarrete, L. Moreno-Merino, P. Navarrete-Martínez. 1992. **Las aguas subterráneas y los plaguicidas**. Instituto Geológico y minero de España. 149 p.
- Ongley, E. D. 1997. **Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos**. Estudio FAO riego y drenaje- 55. GEMS/Water collaborating Center. Burlington, Canadá. 116 p.
- Orozco-Abundis, M. A. 2006. **Fomento de la agricultura sostenible mediante el establecimiento de un sistema de garantías de calidad en los procesos productivos y de comunicación a los consumidores. Aplicación a la agricultura mexicana**. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España. 371 p.
- Reyes Montiel, N. J. 2011. **Niveles de concentración de plaguicidas organoclorados e índice de condición de salud de lisa (*Mugil cephalus*) en el Coloradito, Guasave, Sinaloa**. Tesis de maestría. CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa. 78 p.
- Rosas García, N. M. 2008. **Avances en el desarrollo de formulaciones a base de *Bacillus thuringiensis***. Revista Colombiana de Biotecnología. 10 (1): 49-63.
- SAGARPA. 2008. **Anuario estadístico de la producción agrícola. Cierre de la producción agrícola por estado**. Servicio de información agroalimentaria y pesquera. (En línea). Disponible en: http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=351
- SEMARNAT. 2005. **Indicadores básicos del desempeño ambiental de México: 2005**. México, D.F. 337 p.
- Terrones, M. C., J. Llamas, F. Jaramillo, M. G. Espino y J. S. León. 2000. **DDT y plaguicidas relacionados presentes en la leche materna y otros tejidos de mujeres sanas con embarazos de término**. Ginecol. Obstet. Méx. 68(3): 97-104.

Cipriano García Gutiérrez

Licenciatura en Biología por el Instituto Politécnico Nacional y Maestría en Ciencias en Entomología y Acarología por el Colegio de Posgraduados. Doctor en Ciencias en Ingeniería Bioquímica con especialidad en Biotecnología. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel II y miembro honorífico del Sistema Sinaloense de Investigadores. Profesor Investigador Titular en el Dpto. de Biotecnología Agrícola CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa.

Guadalupe Durga Rodríguez Meza

Egresada de estudios de Posgrado del CICIMAR, enfocado a biogeoquímica de metales pesados en ambientes marinos. Actualmente, profesor del Departamento de Medio Ambiente del CIIDIR Unidad Sinaloa, con participación y dirección de proyectos de investigación para conocer el impacto antropogénico en ambientes marinos y terrestres. Colabora con investigadores de otros laboratorios e instituciones como CICIMAR, UAN, SEMAR y CONAGUA.

Ra Ximhai

Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo
Sustentable

Ra Ximhai
Universidad Autónoma Indígena de México
ISSN: 1665-0441
México

2012

IMPACTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN EL MUNICIPIO DE GUASAVE SINALOA, MÉXICO

Adolfo Dagoberto Armenta-Bojórquez; Carolina Cervantes-Medina; Julián Alberto
Galaviz-Lara; Jesús Ricardo Camacho-Báez; Manuel Mundo-Ocampo y
Cipriano García-Gutiérrez

Ra Ximhai, septiembre - diciembre, año/Vol. 8, Número 3
Universidad Autónoma Indígena de México
Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. pp. 11-16.



e-revist@s

IMPACTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN EL MUNICIPIO DE GUASAVE SINALOA, MÉXICO

IMPACT OF NITROGEN FERTILIZATION IN DRINKING WATER IN THE MUNICIPALITY OF GUASAVE SINALOA, MEXICO

Adolfo Dagoberto **Armenta-Bojórquez**¹; Carolina **Cervantes-Medina**²; Julián Alberto Galaviz-Lara¹; Jesús Ricardo **Camacho-Báez**¹; Manuel **Mundo-Ocampo**¹ y Cipriano **García-Gutiérrez**¹.

¹Profesor-Investigador. CIIDIR-IPN COFAA. Unidad Sinaloa, México. Blvd. Juan de Dios Bátiz Paredes No. 250. Col. San Joachin, C.P. 81101. Guasave, Sinaloa. Teléfono: +687-872-9626. Fax: +687-872-9625. ²Alumna de prácticas profesionales. ITSON, Obregón, Sonora. aarmenta@ipn.mx.

RESUMEN

La práctica de la agricultura intensiva en Guasave Sinaloa, México., promueve la aplicación de altas cantidades de fertilizantes en cultivos de hortalizas y granos; los nitratos son los contaminantes inorgánicos más conocidos, los que más contaminan el agua del subsuelo, y quizás los que generan mayor riesgo a la salud. La concentración máxima de nitratos en el agua para consumo humano recomendados por la norma oficial mexicana (NOM) es de 10 mg L⁻¹ de N-NO₃, niveles por encima de este valor debe ser motivo de preocupación por su posible efecto detrimental en la salud humana, principalmente al reducir el transporte de oxígeno en sangre (metahemoglobina). Este trabajo tiene como objetivo principal analizar los niveles de nitratos, en agua de consumo humano en comunidades del municipio de Guasave Sinaloa. Para el análisis se utilizaron dos métodos: el método de la Brucina y el método de análisis de nitratos Merckoquant. Los resultados demuestran que las concentraciones de nitratos en redes públicas de agua potable y plantas purificadoras esta por arriba de los niveles críticos (10 mg L⁻¹ de N-NO₃) en diferentes comunidades; la mayor concentración (22.7 mg L⁻¹ de N-NO₃) fue en Estación Bamoa, conocido por su actividad hortícola donde se encontraron concentraciones por arriba de la NOM-127-SSA1-1994.

Palabras clave: Nitratos, metahemoglobina, agua potable, agricultura.

SUMMARY

The practice of intensive farming in Guasave Sinaloa, Mexico, promotes the application of high amounts of fertilizer in vegetable crops and grains, nitrates are the best known inorganic contaminants, they pollute ground water, and are perhaps the ones of most health hazard. The concentration maximum of nitrates in drinking water recommended by the official Mexican standard (NOM) is 10 mg L⁻¹ of N-NO₃, levels above this value should be of concern for their possible detrimental effect on human health, mainly by reducing levels of oxygen in blood (methemoglobin). The main objective of this work is to analyze the levels of nitrates in drinking water in communities of Guasave Sinaloa. The analysis was performed using two methods: the Standard Test Methods for Nitrate Ion in Water and the Merckoquant Nitrate Analysis Method. The results show that nitrate concentrations in public drinking water networks and treatment plants is above critical levels (10 mg L⁻¹ de N-NO₃) in different communities; the highest concentration was in Bamoa Station (22.7 mg L⁻¹ of N-NO₃), known for its horticultural activity with concentrations up to NOM-127-SSA1-1994.

Key words: Nitrates, methemoglobin, drinking water, farming.

INTRODUCCIÓN

El municipio de Guasave, Sinaloa es conocido como el corazón agrícola de México por la gran diversidad de cultivos que se siembran y por la superficie dedicada a la agricultura, la cual es la principal actividad económica en la región, los cultivos que destacan por su superficie sembrada son; el maíz como cultivo de grano y el tomate en hortalizas por su importancia en la generación de empleo. Estos cultivos son a los que se aplican mayor cantidad de fertilizantes, cantidades de 350 y 400 kg de nitrógeno por hectárea en maíz y tomate respectivamente (INIFAP, 2003). La eficiencia de la fertilización nitrogenada es considerada baja en su uso, por los cultivos, misma que puede ser menor del 50% (Keeney, 1982), el fertilizante que no es tomado por la planta va impactar de manera adversa en el medio ambiente, tal como contaminación de mantos acuíferos con nitratos (NO₃⁻), eutrofización, lluvia ácida y calentamiento global (Ramanathan, *et al.*, 1985).

Los mantos freáticos y acuíferos son la fuente de agua para consumo humano en la región, ya sea por la red de agua potable municipal o por plantas purificadoras las cuales tienen alta demanda en el municipio. Se ha demostrado la potencial contaminación de la agricultura, observándose una relación positiva entre el aumento de la actividad agrícola y la contaminación de aguas por nitratos (Lucey y Goolsby, 1993; Richards *et al.*, 1996; Weil *et al.*, 1990; Bauder *et al.*, 1993). Según

algunos autores es el contaminante inorgánico más conocido y el que quizás genera mayor preocupación.

Debido a las altas cantidades de fertilizantes utilizada en la agricultura que se practica en Sinaloa y que cualquier fuente de nitrógeno utilizado se transforma en nitratos el cual es soluble en agua, hace que esta anión puede lixivarse fácilmente al presentar una gran movilidad en el perfil del suelo por efecto del agua de lluvia o riegos, para llegar rápidamente al agua del subsuelo, pudiendo permanecer allí por décadas y en proceso de acumulación (Nolan, 1999).

El consumo de agua contaminada con nitratos produce la acumulación de metahemoglobina en sangre. La metahemoglobinemia es una enfermedad, que se define como un producto de la oxidación de la hemoglobina que no está disponible para unirse al oxígeno molecular (Cruz, 1994; Cecil, 1996; Larios, 2009). La metahemoglobina se caracteriza por inhibir el transporte de oxígeno en la sangre. Aunque la formación de metahemoglobina es un proceso reversible, puede llegar a provocar la muerte, siendo los más propensos, los bebés menores de tres meses, las mujeres embarazadas, los pacientes de cáncer y los pacientes con acidez estomacal reducida (Knobeloch *et al.*, 2000; Fernícola, 1989; Leanza y Parent, 2005).

El consumo de agua con concentraciones elevadas de nitratos aumenta la frecuencia de abortos espontáneos (Nolan, 1999), existen evidencias que el consumo prolongado con estas aguas puede provocar cáncer (Sasson *et al.*, 1993). Además los nitratos pueden formar nitrosaminas y nitrosamidas compuestos que pueden ser cancerígenos y no se puede descartar que afecte a los adultos, con problemas cardiovasculares (Baccaro *et al.*, 2006).

Existe otra manera de reportar la concentración de nitratos (NO_3) en el agua, que es la forma de nitrógeno-nítrico (N-NO_3) lo cual se presta a confusión en los límites reportados como apta para consumo humano la equivalencia es $\text{NO}_3/4.4=\text{N-NO}_3$, así la concentración de 50 mg L^{-1} de NO_3 es la máxima que recomienda la Organización Mundial de la Salud y equivale, a 11.3 mg L^{-1} de N-NO_3 (OMS, 1984) en E.E.U.U., se ha establecido un valor crítico de concentración de nitrógeno en forma de nitratos (N-NO_3) en agua que es de 10 mg L^{-1} (USEPA, 1986). Este nivel crítico es también muy similar al valor de 11.3 mg L^{-1} de N-NO_3 establecido por la Comunidad Económica Europea (Smith *et al.*, 1996). La norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994 establece como límite permisible 10 mg L^{-1} de N-NO_3 .

En España el valor máximo permitido de nitratos en el agua potable se ha establecido durante los primeros meses de 2003 en 50 mg L^{-1} de NO_3 , acogiendo finalmente la normativa española los criterios establecidos en la Directiva comunitaria de 1998 sobre la materia, y cuyos límites propuso ese mismo año la Organización Mundial de la Salud (OMS) para prevenir el denominado «síndrome del bebé azul» o metahemoglobinemia, atendiendo a que el grupo de población más vulnerable eran los bebés menores de tres meses alimentados con leche artificial o fórmulas preparadas con agua contaminada.

Es común recomendar hervir el agua para mejorar su calidad, sobre todo cuando se sospecha de patógenos, pero se ha demostrado, que hervir el agua durante 10 minutos multiplica por 2.4 la concentración de nitratos, de modo que agua potable con 23 mg L^{-1} de NO_3 al hervirla superaría los 50 mg L^{-1} (valor máximo tolerable), con lo que habría un riesgo adicional de metahemoglobinemia (Vitoria, 2001).

Al cocinar los alimentos, especialmente los caldos, aumenta la concentración de nitratos, por tanto es recomendable que las personas incluidas en los grupos de riesgo (bebés menores de tres meses y mujeres embarazadas) eviten utilizar agua con contenido de nitratos que al hervir el agua pueda rebasar el límite crítico. Algunas de las tecnologías aplicables para la remediación de la contaminación por nitratos en el agua pueden ser electrodiálisis, destilación, intercambio iónico, ósmosis inversa, biodesnitrificación (Bill, 1998). Sin embargo no todas son viables a nivel

económico siendo la solución inmediata para bajar los límites de concentración su dilución con agua no contaminada, siempre que sea posible su obtención.

La concentración de nitratos en el agua para consumo humano, por arriba de los niveles recomendados por organismos nacionales e internacionales, debe ser motivo de preocupación por su efecto adverso en la salud humana, principalmente al reducir los niveles de transporte de oxígeno en sangre y otras enfermedades, razón por la cual este trabajo tiene como objetivo principal: Analizar los niveles de nitratos, en agua de consumo humano en diferentes comunidades del municipio de Guasave Sinaloa, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron análisis químicos de nitratos en 40 muestras de agua para consumo humano de 14 comunidades del municipio de Guasave. Inmediatamente a su recolección en envases de plásticos, las muestras de agua fueron refrigeradas a 4 °C y llevadas al laboratorio para su análisis, utilizando la técnica de análisis (ASTM, 1986) del Standard Test Methods for Nitrate Ion in Water, en el cual el ión nitrato reacciona con brucina en solución de ácido sulfúrico desarrollando color amarillo. El color amarillo es debido a un producto de oxidación de la brucina, la cacotelina, y sirve de base para la determinación espectrofotométrica de nitrato. La determinación de iones nitrato fue realizada por medio de un espectrofotómetro de luz UV visible a 410 nm. En cada serie de análisis se incluyó como testigo una muestra de agua desionizada.

Se compararon los resultados con el método de Merckoquant 10020/10050 test de nitratos, por ser método sencillo y rápida para determinación de semicuantitativa de nitratos. Este método consiste en reducir el nitrato en nitrito. En presencia de un tampón ácido, el nitrito formado se convierte en ácido nitroso, que diazocia una amina aromática. La reacción con N-(1-naftil) etilendiamina da un colorante azoico de color violeta rojizo. La concentración de nitratos se determina de manera semi cuantitativa por comparación visual de la zona de reacción de la varilla de ensayo con las zonas de una escala calorimétrica.

El modo de empleo es el siguiente:

- 1) Sacar varilla y cerrar inmediatamente el envase.
- 2) Sumergir las zonas indicadoras durante aproximadamente un segundo en la solución a examinar de manera que las zonas reactivas queden completamente impregnadas.
- 3) Sacar la varilla indicadora, sacudir el líquido en exceso y al cabo de un minuto comparar la zona reactiva con la escala de colores

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La concentración de nitratos en el agua para consumo humano, analizadas en el municipio de Guasave varió de 0 a 22.7 mg L⁻¹ de N-NO₃, de las 14 comunidades analizadas tres presentaron niveles de nitratos por encima del límite crítico que determina la Norma Oficial Mexicana que es de 10 mg L⁻¹ de N-NO₃, estas comunidades fueron: Estación Bamoa conocida también como campo Wilson, El Burrión y Cubilete. La comunidad de Estación Bamoa, se formó por la necesidad de mano de obra para la hortaliza en el “campo Wilson”, que es un campo hortícola de mayor tiempo establecido en el Norte de Sinaloa, este presentó la concentración más alta de nitratos 22.7 mg L⁻¹ de N-NO₃ en la red de agua potable, el Burrión con una concentración de 11.36 mg L⁻¹ de N-NO₃, en la red de agua potable y El Cubilete con 11.36 mg L⁻¹ de N-NO₃ en una planta purificadora, estas dos últimas comunidades se caracterizan por estar rodeados de campos dedicados a la producción de granos, principalmente maíz (Cuadro 1).

Es importante señalar que existen tres fuentes de agua con concentraciones de nitratos de 5.68 mg L⁻¹ de N-NO₃, que están por debajo del límite crítico, pero cuando se utiliza en la cocina, para hervir caldos como el frijol que es común hervirlo por más de 10 minutos para posteriormente guisarlo, superaría los límites críticos de nitratos de acuerdo con Vitoria, (2001). Estas fuentes de

agua son una planta purificadora en la ciudad de Guasave, otra en Estación Bamoá y la red de agua potable de Cofradía.

La aplicación de fertilizantes nitrogenados se hace en mayor cantidad en las hortalizas que en los cultivos de granos, razón por la cual en Estación Bamoá (Campo Wilson) se encontró mayor concentración de nitratos en el agua potable de 22.7 mg L^{-1} de N-NO_3 .

El método de la brucina para determinar nitratos en laboratorio y el método de análisis de nitratos Merckoquant, no presentaron diferencia por lo que este último puede ser utilizado de manera sencilla y semi cuantitativa sin necesidad de llevar las muestras al laboratorio para monitorear la concentración de nitratos en las fuentes de agua utilizadas para consumo humano en las diferentes comunidades.

Cuadro 1. Concentración de nitratos en agua para consumo humano, en diferentes comunidades del municipio de Guasave Sinaloa.

Muestra	Localidad	Fuente de agua	N-NO_3 (mg L^{-1})
1	La Entrada	Planta purificadora	1.13
2	Chupa Rosa	Planta purificadora	2.27
3	San Fernando	Planta purificadora	1.13
4	Est. Bamoá	Planta purificadora	2.27
5	Est. Bamoá	Red de agua potable	22.7
6	Est. Bamoá	Planta purificadora	5.68
7	Bamoá	Planta purificadora	2.27
8	Verdura	Planta purificadora	1.13
9	Guasave	Red de agua potable	1.13
10	Guasave	Planta purificadora	1.13
11	Guasave	Planta purificadora	1.13
12	Guasave	Planta purificadora	5.68
13	Guasave	Planta purificadora	2.27
14	Guasave	Planta purificadora	2.27
15	Guasave	Planta purificadora	0
16	Guasave	Planta purificadora	0
17	Guasave	Planta purificadora	1.13
18	Guasave	Planta purificadora	0
19	Guasave	Planta purificadora	2.27
20	Guasave	Planta purificadora	0
21	Guasave	Planta purificadora	0
22	Juan José Ríos	Planta purificadora	0
23	Juan José Ríos	Planta purificadora	0
24	Juan Jose Ríos	Planta purificadora	0
25	Juan José Ríos	Planta purificadora	0
26	Juan José Ríos	Planta purificadora	0
27	Juan José Ríos	Red de agua potable	0
28	Ruiz Cortines	Planta purificadora	0
29	Ruiz Cortines	Planta purificadora	0
30	Ruiz Cortines	Red de agua potable	0
31	Burrión	Planta purificadora	0
32	Burrión	Red de agua potable	11.36
33	La Cofradía	Red de agua potable	5.68
34	La Cuestona	Planta purificadora	0
35	Tamazula	Planta purificadora	0
36	Tamazula	Planta purificadora	0
37	Tamazula	Red de agua potable	2.27
38	Cubilete	Planta purificadora	0
39	Cubilete	Planta purificadora	11.36
40	Cubilete	Red de agua potable	2.27

CONCLUSIONES

Existe contaminación por nitratos en el agua para consumo humano en Estación Bamoa (22.7 mg L⁻¹ de N-NO₃), El Burrión (11.36 mg L⁻¹ de N-NO₃) y Cubilete (11.36 mg L⁻¹ de N-NO₃) del municipio de Guasave, Sinaloa, con valores por arriba del nivel crítico (10 mg L⁻¹ de N-NO₃) de la NOM-127-SSA1-1994.

Existe una relación entre la cantidad de fertilizante aplicada a los cultivos en las diferentes comunidades del municipio de Guasave, Sinaloa y la alta concentración de nitratos presentes en el agua. Esto se atribuye a la infiltración de nitratos por el agua de riegos o lluvia hasta el agua del subsuelo. El método de análisis de nitratos Merckoquant, demostró ser efectivo en la determinación de nitratos como el método de la Brucina en laboratorio.

Las plantas purificadoras de agua no garantizan agua por debajo de los límites críticos establecidos por la norma oficial mexicana, por lo que se recomienda hacer un análisis y reducir el contenido de nitratos al purificar el agua por osmosis inversa.

LITERATURA CITADA

- Baccaro, K., Degorgue M., Lucca M., Picone L., Zamuner E. y Andreoli. 2006. **Calidad de agua para consumo humano y riego en muestras del cinturón hortícola de mar de plata**. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires Argentina. RIA Revista de investigaciones agropecuarias. 35(3): 95-110.
- Bauder, J. W.; Sinclair, K.N., and Lund, R.E. 1993. **Physiographic and land use characteristics associated with nitrate-nitrogen in Montana groundwater**. J. Environ. Qual. 22: 255-262.
- Bill, P. E. 1998. **Water conditioning and purification**. pp. 42-45.
- Cecil, L. 1996. **Tex Book of medicine**. 20th ed. Washington DC: Mc GrowHill Interamericana. 875-876.
- Cruz, H. M. 1994. **Tratado de Pediatría**. 7ª ed. España: Editorial Publicaciones Médicas Barcelona, España. 2044 p.
- Fernicola, N. A. 1989. **Infantile methemoglobinemia caused by nitrates**. Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana. 106(1): 32-40.
- INIFAP, 2003. **Guía para la asistencia técnica agrícola para el área de influencia del Campo Experimental Valle del Fuerte, Sinaloa**. Agenda Técnica, Sexta Edición. Juan José Ríos, Guasave, Sinaloa, México. 280 p.
- Keeney, D. R. 1982. **Nitrogen management for maximum efficiency and minimum pollution**. Farmed soils, fertilizer, agroecosystems. Agronomy. A series of monographs-Americans Society of Agronomy. (22):605-649.
- Knobeloch, L., Salna B., Hogan A., Postle J. and Anderson H. 2000. **Blue babies and nitrate-contaminated well water**. Environmental Health Perspectives. 108(7): 675-678.
- Larios, O. L. 2009. **Metahemoglobinemia en niños: situación actual**. Archivo Médico de Camagüey, Centro Provincial de Ciencias Médicas de Camagüey, Cuba. 13(3): 1-9
- Leanza, L. N. y Parent Jorge R. 2005. **Nitratos y Nitritos en agua subterránea—Aspectos Generales**. 1ª edición, pp.7-8. Dirección Nacional del Derecho de Autor Expediente N° 419105.
- Lucey, K. J. and Goolsby, E. 1993. **Effect of climatic variations over 11 years on nitrate-nitrogen concentrations in the racoon river, Iowa**. J. Environ. Qual. 22: 38-46.
- Nolan, B. T. 1999. **Nitrate behavior in ground waters of the southeastern USA, Reston**. J. Environ. Qual. 28: 1518-1527.
- OMS, 1984. **Guidelines for Drinking-Water Quality**. Volume 2. *Health criteria and other supporting information*. Organización Mundial de la Salud Ginebra.
- OMS, 1989. **Health Guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture**. Report of Scientific group meeting. Technical Report Series No. 778, Organización Mundial de la Salud, Ginebra.
- Ramanathan, V., Cicerone, R. J., Singh, H. B. y Kiehl. 1985. **Trace gas trends and their potential role in climate change**. J. Geophys. Res. 90: 5547-5566.
- Richards, R. P.; Baker, D. B.; Creameer, N. L.; Kramer, J. W.; Ewing, .E.; Merryfield, B. J. and L. K.Wallrabenstein. 1996. **Well water quality, well vulnerability, and agricultural contamination in the midwestern United States**. J. Environ. Qual. 25:384-402.
- Sasson, A. 1993. **La alimentación del hombre del mañana**. UNESCO. Reverté S.A

- Smith, J. U., Bradbury, N.J. and Adiscott, T.M. 1996. **Sundial: A PC-based system for simulating nitrogen dynamics in arable land**. Agron. J. 88: 38-43.
- USEPA. 1986. **Maximum contaminant levels subpart B of part 141, National interim primary drinking water regulations**. In: *U.S. Code of Federal Regulations*. Title 40, Parts 100 to 149, Revised as 1 July 1986, pp. 524-528 and 567-568. USEPA, Washington, DC, USA.
- Vitoria M I. 2001. **¿Hay qué hervir el agua potable durante diez minutos para preparar biberones?**. (En línea). Disponible en: URL. <http://db.doyma.es/cgiin/wdbcgi.exe/doyma/mrevista.fulltex? pident=10021757>.
- Weil, R. R.; Weismiller, R. A. and Turner, R. S. 1990. **Nitrate contamination of ground water under irrigated coastal plain soils**. J. Environ. Qual. 19: 441-448.

Adolfo Dagoberto Armenta Bojórquez

Doctorado y Maestría en Edafología en el Colegio de Postgraduados, Montecillos, México. Licenciatura en agronomía por la Universidad Autónoma de Sinaloa. Profesor Investigador del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional del Instituto Politécnico Nacional (CIIDIR-IPN) Unidad Sinaloa.

Jesús Ricardo Camacho Báez

Maestría en ciencias por el CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa, especialidad en Recursos Naturales y Medio Ambiente, Ingeniero Agrónomo Especialista en Parasitología en la Escuela Superior de Agricultura (UAS) Culiacán, Sinaloa. Profesor Investigador CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa.

Cipriano García Gutiérrez

Doctorado en Ciencias (especialidad en Ingeniería y Biotecnología) Instituto Tecnológico de Durango, Maestría en Ciencias con especialidad en Entomología y Acarología, Colegio de Postgraduados. Biólogo de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas I.P.N. Profesor Investigador CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI Nivel II).

Manuel Mundo Ocampo

Doctorado en Fitopatología con especialidad en Nematología. Universidad de California, Riverside. Maestría en Fitopatología, Colegio Superior de Agricultura Tropical (CSAT-SARH). Licenciatura en Biología Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México. Profesor Investigador CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI Nivel I).

Julián Alberto Galaviz Lara

Licenciado en Biología por la Universidad de Occidente, Sinaloa. Técnico docente del CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa.

Carolina Cervantes Medina

Estudiante de Ingeniería Química del Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON), Obregón, Sonora.

Ra Ximhai

Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo
Sustentable

Ra Ximhai
Universidad Autónoma Indígena de México
ISSN: 1665-0441
México

2012

BIOPLAGUICIDAS: UNA OPCIÓN PARA EL CONTROL BIOLÓGICO DE PLAGAS

Eusebio Nava-Pérez; Cipriano García-Gutiérrez; Jesús Ricardo Camacho-Báez y Elva
Lorena Vázquez-Montoya

Ra Ximhai, septiembre - diciembre, año/Vol. 8, Número 3

Universidad Autónoma Indígena de México

Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. pp. 17-29.



e-revist@s

BIOPLAGUICIDAS: UNA OPCIÓN PARA EL CONTROL BIOLÓGICO DE PLAGAS

BIOPESTICIDES: AN OPTION FOR THE BIOLOGICAL PEST CONTROL

Eusebio Nava-Pérez¹; Cipriano García-Gutiérrez¹; Jesús Ricardo Camacho-Báez¹; Elva Lorena Vázquez-Montoya²

¹Profesor investigador. CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa. Blvd. Juan de Dios Bátiz Paredes 250, Col. San Joaquín Guasave, Sinaloa. Tel 01 (687) 872 96 25 y 26 ext. 87666. enavap@ipn.mx. ²Estudiante. Maestría en Recursos Naturales y Medio Ambiente. CIIDIR-Sinaloa IPN.

RESUMEN

Se señala el uso indiscriminado de los plaguicidas sintéticos y los problemas que causan para la salud humana, la agricultura y el medio ambiente, y se presentan aspectos generales de los bioplaguicidas y su empleo en el control biológico de plagas. Por su naturaleza, estos productos pueden usarse con seguridad en una agricultura sustentable, y un ejemplo de esto es el uso de los plaguicidas botánicos cuyo ingrediente activo son los terpenos, alcaloides y compuestos fenólicos con efecto insecticida para diversas plagas agrícolas, además son menos costosos, son biodegradables y seguros para el ser humano y el medio ambiente, aunque tienen poca residualidad. Los plaguicidas microbianos están siendo introducidos con éxito en el control de plagas de cultivos como café, caña de azúcar, frijol y maíz. Estos productos son elaborados a base de bacterias, hongos, virus o nematodos entomopatógenos. Sin embargo, pocos agentes entomopatógenos se han desarrollado como agentes de biocontrol efectivo, uno de ellos es la bacteria *Bacillus thuringiensis* (Berliner) para el control del gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda* (J. E Smith) abarcando cerca del 74% del mercado, los hongos 10%, los virus 5% y otros el 11%. Otro caso sobresaliente es el uso del hongo *Beauveria bassiana* (Balsamo) contra el gorgojo del frijol *Acanthoscelides obtectus* (Say). Los bioplaguicidas anteriores han demostrado que al ser utilizados en forma adecuada en el control biológico de plagas favorecen la práctica de una agricultura sustentable, con menor dependencia de insecticidas químicos.

Palabras clave: Control biológico, bioplaguicidas, agricultura sustentable, pesticidas.

SUMMARY

The indiscriminate use of synthetic pesticides and the problems that its cause to human health, agriculture and the environment is comment, this paper also present general aspects about of biopesticides, and their uses in the biological pest control. By the nature these can be safely used in a sustainable agriculture. An example is the use of botanical pesticides whose active ingredient are the terpenes, alkaloids and phenolics, these have insecticide effects for many agriculture pests; also its are less expensive, are biodegradable and safe for humans and the environment, however have little residuality. Microbial pesticides are being introduced successfully to pests control in important crops such as; coffee, sugar cane, beans and corn. These products contain bacteria, fungi, viruses or nematodes. However, few entomopathogenic agents have been developed as effective biocontrol agents, one of them is the bacterium *Bacillus thuringiensis* (Berliner) for control of armyworm *Spodoptera frugiperda* (J.E Smith) covering about 74% of the market, fungus 10%, viruses 5% and 11% others. Other upstanding case is the use of the fungus *Beauveria bassiana* (Balsamo) against bean weevil *Acanthoscelides obtectus* (Say). Biopesticides have shown that when are used properly in the biological pest control its favor the practice of a sustainable agriculture, with less dependence of chemical insecticides.

Key words: Biological control, biopesticides, sustainable agriculture, pesticides.

INTRODUCCIÓN

En la agricultura moderna se ha consensado que la practica actual enfrenta una crisis ambiental. En relación a esto, algunos investigadores abordan la sustentabilidad a largo plazo en los sistemas de producción agrícola. Es evidente que aún cuando el sistema agrícola vigente aplica en forma intensiva capital y tecnología, para ser altamente productivo y competitivo, acarrea también una sucesión de problemas de tipo económico, social y ambiental (Conway y Pretty, 1991).

La disminución del rendimiento debido a las plagas alcanza entre un 20-30% en la mayoría de los cultivos, a pesar del incremento substancial en el uso de plaguicidas (cerca de 500 mil de toneladas de ingrediente activo a nivel mundial) esto es un síntoma de la crisis ambiental que afecta a la agricultura. Por otro lado, las prácticas agrícolas modernas afectan negativamente a los enemigos naturales de las plagas, los que a su vez no encuentran las condiciones necesarias para reproducirse y así poder suprimir biológicamente a las plagas en los monocultivos. Debido a esta ausencia de controles naturales, los agricultores estadounidenses invierten anualmente cerca de 40 billones de dólares en plaguicidas, y se estima que el ahorro en pérdidas por plagas es de 16 billones de dólares. Sin embargo, el costo indirecto del uso de plaguicidas por los daños al medio ambiente y a la salud pública debe ser balanceado contra estos beneficios (Altieri y Nicholls, 2000).

Los costos ambientales (impacto sobre la vida silvestre, polinizadores, enemigos naturales, peces, calidad de agua y suelo) y el costo social (envenenamiento de trabajadores, etc.), asociados al uso de plaguicidas, alcanza cerca de 8 billones de dólares cada año (Pimentel y Lehman, 1993). La intensificación de diversos cultivos es la causa principal de este aumento, el cual incluye plaguicidas tóxicos, muchos de los cuales se pueden vincular con problemas de cáncer (Liebman, 1997). De acuerdo a la OMS, entre 500,000 y 1 millón de personas se intoxican con plaguicidas químicos anualmente y entre 5,000 y 20,000 pierden la vida. Más del 50 % de los que fallecen son trabajadores agrícolas, los demás son envenenamientos por consumo de alimentos contaminados. Entre los dos grupos la mortalidad alcanza la cantidad de 220 mil muertes al año (OMS, 1990; Eddleston *et al.*, 2002).

En los países subdesarrollados se tiene un gran número de fallecimientos debido a envenenamiento por plaguicidas sintéticos. Este tipo de intoxicación es un problema, principalmente por la aplicación de estos productos sin protección e inadecuada manipulación y se agrava, debido al analfabetismo y la pobreza de las comunidades agrícolas. Los plaguicidas clasificados como extremada o altamente peligrosos por la FAO y la OMS, incluidos los prohibidos, se siguen utilizando en los países en desarrollo. Muchos agricultores siguen expuestos a los plaguicidas, ya sea al almacenarlos o por estar cerca de los lugares donde se aplican.

Los efectos del consumo y manipulación inadecuada de los plaguicidas químicos pueden ser agudos como: vómitos, abortos, cefaleas, somnolencia, alteraciones en el comportamiento, convulsiones, coma e inclusive la muerte y están asociados a accidentes donde una dosis alta es suficiente para provocar alteraciones que se manifiestan rápidamente y también crónicas como el cáncer. De igual manera, se han encontrado malformaciones congénitas, neuropatías periféricas y dolores indistintos, asociados a exposiciones repetidas de este tipo de productos químicos. Los síntomas de este tipo de problemas surgen después de un largo período de exposición, lo que hace difícil su detección debido a que su biotransformación es lenta y provoca efectos acumulativos en las personas (Potti *et al.*, 2003; Martínez y Gómez, 2007).

Los bioplaguicidas

Los biopesticidas son derivados de materiales naturales como animales, plantas, microorganismos y minerales. Los bioplaguicidas son altamente específicos contra las plagas objetivo y generalmente representan poco o ningún riesgo para las personas o el medio ambiente. Los pesticidas tradicionales, por el contrario, en general son materiales sintéticos, que no sólo afectan a la plaga objetivo, sino también organismos no deseados, tales como insectos benéficos, la vegetación circundante y la vida silvestre. (EPA, 2010). Sin embargo, existen algunos inconvenientes en cuanto al uso de los bioinsecticidas, por ejemplo estos pueden ser dañinos para otros organismos que no son el objetivo, o si se trata de un organismo bioregulador, este elimine a otro que es importante en la cadena trófica de un ecosistema, lo que repercutiría en la población de individuos que se alimentan del insecto plaga que se está tratando de regular (Simberloff, 2012; Kehrli y Wratten, 2011). Por lo tanto debemos tener cuidado cuando se quiera utilizar algún bioinsecticida o introducir algún organismo para este fin.

Los bioplaguicidas son eficaces en el control de plagas agrícolas, sin causar daños graves al ambiente o empeorar la contaminación del medio ambiente. La investigación y el desarrollo de su aplicación práctica en el campo se enfocan a mitigar la contaminación ambiental causada por residuos de plaguicidas químicos, aunque por su naturaleza biológica también promueven el desarrollo sustentable de la agricultura. El desarrollo de nuevos bioplaguicidas estimula la modernización de la agricultura y sin duda, va a reemplazar gradualmente a una cantidad de los plaguicidas químicos. En la producción agrícola, en ambientes libres de contaminación, los bioplaguicidas son sustitutos ideales para sus homólogos químicos tradicionales (Leng *et al.*, 2011).

Los bioplaguicidas se dividen en general en dos grandes grupos: agentes o plaguicidas microbianos, que incluyen las bacterias, hongos, virus y protozoos, y agentes o plaguicidas

bioquímicos, que comprenden los atrayentes, hormonas, reguladores del crecimiento de plantas e insectos, enzimas y sustancias de señalización química, muy importantes en la relación planta-insecto (Alfonso, 2002).

Plaguicidas botánicos

Los plaguicidas botánicos son derivados de algunas partes o ingredientes activos de las plantas. En los últimos años, la aplicación de varios productos de plantas medicinales ha llamado mucho la atención como alternativas efectivas a los pesticidas sintéticos. Estos productos vegetales son muy eficaces, menos costosos, biodegradables y más seguros que sus equivalentes sintéticos, los cuales son altamente persistentes en el medio ambiente y tóxico para los organismos no blanco, incluidos los humanos a los cuales le causan muchas de las enfermedades no identificadas después de la bioacumulación (Singh *et al.*, 1996; Leng *et al.*, 2011).

Se ha demostrado que estos compuestos afectan a las poblaciones de insectos, disminuyen la supervivencia de desarrollo y la tasa de reproducción (Singh y Jain, 1987; Carlini y Grossi, 2002). Varias plantas que pertenecen a diferentes familias contienen una serie de fitoquímicos tales como saponinas, taninos, alcaloides, di y triterpenoides, entre otros, los cuales presentan alta actividad insecticida. El efecto nocivo de los extractos de plantas o sus compuestos puros contra los insectos se puede manifestar de diversas maneras, incluyendo la toxicidad, la mortalidad, inhiben el crecimiento, la supresión de comportamiento reproductivo y reducen la fertilidad y la fecundidad (BenJannet *et al.*, 2001).

Siguiendo el criterio de organismos internacionales como la Comunidad Económica Europea, la Agencia para la Protección del Ambiente de los Estados Unidos de Norteamérica (EPA) y la FAO, las diferencias fundamentales con los plaguicidas químicos convencionales consisten en su modo de acción, que no es por la vía de toxicidad directa, sino la pequeña concentración en el material vegetal, y su especificidad para la especie a combatir (EPA, 1988). Existen muchas estructuras diferentes de metabolitos secundarios, que superan a las de los primarios. Entre los más comunes podemos citar:

Terpenos. Son los principales componentes de los aceites esenciales, provocan repelencia, inapetencia y evitan la oviposición.

Fenoles. Son compuestos hidroxilados que pueden actuar como antialimentarios; otros como los taninos actúan como barrera por su sabor amargo, y las cumarinas inhiben el crecimiento de hongos y son tóxicas para nemátodos, ácaros e insectos.

Alcaloides. Son el grupo con mayor diversidad en cuanto a metabolitos secundarios, tiene una gran variedad de efectos tóxicos; un ejemplo de ellos es la nicotina.

Glicósidos cianogénicos. Liberan cianuro cuando se hidrolizan, por lo que son tóxicos y repelentes.

Compuestos azufrados. Los más importantes son los tiofenos, los cuales tiene acción insecticida y nematocida.

Flavonoides. Son compuestos que proporcionan color a las plantas y flores, por ejemplo, la rotenona. Actúan como inhibidores enzimáticos y tienen actividad repelente.

La Agricultura Orgánica promueve el equilibrio entre el desarrollo agrícola y los componentes del agroecosistema, y por esto los plaguicidas botánicos, aplicados tanto preventivamente como para controlar un ataque severo de plagas, respetan este principio, porque además de su efecto tóxico y/o repelente, se descomponen rápidamente y no causan resistencia. En el Cuadro 1, se presentan diferentes plantas que se utilizan como bioinsecticidas (Alfonso, 2002).

Cuadro 1. Plantas que contienen metabolitos con propiedades bioinsecticidas.

Familia y especie	Nombre Común	Parte planta	Actividad biológica	Compuestos
Euphorbiaceae <i>Jatropha curcas</i>	Piñón botija	Semillas, aceite	Insecticida, molusquicida	Triterpenos, quinonas, glucósidos cianogénicos, flavonoides
Apocynaceae <i>Nerium oleander</i>	Adelfa, rosa francesa	Hojas	Insecticida, alelopática, molusquicida	Cardiotónicos, flavonoides, esteroides-triterpenos
Asteraceae <i>Bidens pilosa</i>	Romerillo Blanco	Flores, planta entera	Insecticida	Alcaloides

Continuación...

Familia y especie	Nombre Común	Parte planta	Actividad biológica	Compuestos
<i>Parthenium hysterophorus</i>	Escoba amarga	Hojas, planta entera	Insecticida, fungicida	Alcaloides
<i>Tagetes erecta</i>	Flor de muerto	Flores, planta entera	Nematicida, insecticida, acaricida	Tiofenos, fenoles, flavonoides, cumarinas
<i>Tagetes patula</i>	Damasquina	Flores, planta entera	Nematicida, insecticida, acaricida	Tiofenos, fenoles flavonoides, cumarinas
<i>Cichorium intybus</i>	Achicoria dulce	Planta entera	Insecticida	Flavonoides, fenoles
<i>Conyza aegyptiaca</i>	Cola de caballo	Planta entera	Insecticida	Flavonoides, fenoles
<i>Sonchus oleraceus</i>	Cerraja, Endivia	Planta entera	Insecticida	Flavonoides, fenoles
<i>Bacharis glutinosa</i>	Batamote, jarilla	Planta entera	Insecticida	Flavonoides, fenoles
Cannaceae <i>Canna edulis</i>	Canna, achira	Hojas, rizomas	Insecticida, Molusquicida	Fenoles, triterpenos esteroides, cumarinas
Meliaceae <i>Azadirachta indica</i>	Árbol del nim, Margosa	Semillas, hojas aceite	Insecticida, antialimentario, fungicida	Triterpenos, azadiractina
<i>Guarea guarea</i>	Yamao, guarea	Hojas	Insecticida	Terpenos, aceites volátiles, taninos, fenoles
<i>Melia azedarach</i>	Paraíso	Fruto,	Insecticida,	Triterpenos, alcaloides

		aceite, hojas	antialimentario	
Fabaceae				
<i>Canavalia ensiformis</i>	Nescafé	Semillas	Insecticida molusquicida	Aminoácidos, antocianidinas, poliurónidos
<i>Canavalia gladiata</i>	Frijol machete	Semillas	Insecticida molusquicida	Taninos, triterpenos, esteroides, saponinas, aminoácidos
Solanaceae				
<i>Brugmansia candida</i>	Campana	Flores, hojas	Insecticida, acaricida	Alcaloides
<i>Datura stramonium</i>	Chamico	Flores, hojas	Nematicida, insecticida	Alcaloides, flavonoides
<i>Lycopersicon esculentum</i>	Tomate	Hojas, frutos	Insecticida	Alcaloides, fenoles, cumarinas
<i>Solanum globiferum</i>	Güirito espinoso	Frutos	Molusquicida, antiviral	Alcaloides esteroidales
<i>Solanum mammosum</i>	Güirito de pasión, Pechito	Frutos	Molusquicida	Alcaloides esteroidales
Rutaceae				
<i>Zanthoxylum cubense</i>	Ayúa blanca	Planta entera	Fungicida, bactericida	Alcaloides, quinonas, taninos, fenoles, flavonas
<i>Zanthoxylum fagara</i>	Amoroso, Limoncillo	Planta entera	Fungicida, insecticida bactericida	Alcaloides, quinonas, taninos, fenoles, saponinas
<i>Citrus aurantifolia</i>	Lima, limón dulce	Cáscara de la fruta	Insecticida	Flavonoides, fenoles

Continuación...

Familia y especie	Nombre Común	Parte planta	Actividad biológica	Compuestos
Myrtaceae				
<i>Eucalyptus globulus</i>	Eucalipto	Fruto, hoja	Insecticida Repelente Fungicida	Terpenos, flavonoides, fenoles
Piperaceae				
<i>Piper nigrum</i>	Pimienta	Semilla	Insecticida	Taninos, alcaloides
Punicaceae				
<i>Punica granatum</i>	Granada	Cáscara de la fruta	Insecticida, bactericida	Flavonoides, fenoles
Salicaceae				
<i>Salix safsaf</i>	Sauce	Hojas	Insecticida	Fenoles

(Alfonso, 2002; Nava *et al.*, 2010; Mansour *et al.*, 2012).**Plaguicidas microbianos**

El costo de producción de los bioplaguicidas está en función de los precios de la mano de obra y de la tecnología a utilizar, los cuales varían constantemente. Los medios de cultivo que usan ingredientes baratos, como los cereales producidos localmente, reducen considerablemente los costos de producción (Hoti y Balaraman, 1990). Los patógenos que se utilizan en la formulación de un plaguicida microbiano deben ser efectivos y tener una alta especificidad y patogenicidad contra

una o más plagas de un cultivo de importancia económica o social, lo cual permite asegurar un buen mercado (García-Gutiérrez *et al.*, 2006a).

La investigación con este tipo de productos empezó buscando productos que controlaran las plagas pero que al mismo tiempo no afectaran a los enemigos naturales como lo hacen los plaguicidas químicos. La mayoría de los insecticidas microbianos son degradados rápidamente después de su aplicación, aunque algunos tienen la capacidad de reproducirse en condiciones de campo (Van Driesche *et al.*, 2007a). El grupo de microorganismos entomopatógenos es variado y diverso. Entre ellos se encuentran un amplio grupo de virus, bacterias, nematodos y hongos entre otros (Cuadro 2). Cada uno de estos subgrupos se compone de un número de organismos que varían en su manera de infectar, el sitio en que se replican, y el mecanismo patogénico. Mientras que algunos patógenos presentan rangos de hospederos muy amplios, la mayoría prefieren ciertas especies de insectos. También difieren en cuanto a su patogenicidad selectiva de acuerdo a las diferentes etapas de desarrollo del insecto huésped (Aronson *et al.*, 1998).

Cuadro 2. Microorganismos y agentes patógenos de insectos.

Grupo	Especies representativas	Insectos susceptibles
Virus	<i>Virus de la poliedrosis nuclear</i>	Lepidóptera, Hymenóptera, Coleóptera, Díptera, Neuróptera, Ortóptera, Trichoptera, Hemíptera, y otros
	<i>Adoxophyes orana granulovirus (GV) + Homona magnanima GV</i>	Algunas polillas (<i>Adoxophyes honmai</i> y <i>Homona magnanima</i>)
	Virus de la granulosis	
	Virus de la poliedrosis nuclear de la mosca de la sierra del pino	Corta hojas de la vid (<i>Byctiscus betulae</i>), Palomilla de la manzana (<i>Cydia pomonella</i>)
	Virus de la poliedrosis nuclear	Mosca de la sierra del pino (<i>Diprion similis</i>)
Continuación....		
Grupo	Especies representativas	Insectos susceptibles
Virus	Virus de la poliedrosis nuclear de <i>Heliothis virescens</i>	Gusano bellotero (<i>Heliothis virescens</i>)
	Virus de la poliedrosis nuclear de la polilla <i>Gypsi</i> sp.	Polilla gitana asiática (<i>Lymantria dispar</i>)
	Virus de la poliedrosis nuclear de la polilla Tussok	Polilla del montecillo de hierba del douglas-abeto (<i>Orgyia pseudotsugata</i>)
	Virus de la poliedrosis nuclear de la polilla <i>Mamestra brassicae</i>	Gusano falso medidor (<i>Trichoplusia ni</i>), Gusano del fruto (<i>Heliothis suflexa</i>), Polilla de gusano bellotero del algodón (<i>Diparopsis cactanea</i>), Palomilla de la papa (<i>Phthorimaea operculella</i>)
		Gusano soldado (<i>Spodoptera exigua</i>)
	Virus de <i>Spodoptera exigua</i>	
Rickettsia	<i>Rickettsiella melolonthae</i>	Coleóptera, Díptera, Ortóptera
Hongos	<i>Beauveria bassiana</i>	Lepidóptera, Homóptera, Himenóptera, Coleóptera, Díptera (Trips, mosca blanca)
	<i>Metarhizium anisopliae</i>	Lepidóptera, Homóptera, Himenóptera, Coleóptera, Díptera (Trips, mosca blanca,

	<i>M. flavoviride</i>	cucarachas)
	<i>Verticillium lecanii</i>	Cucarachas
	<i>Isaria fumosorosea</i>	Mosca blanca (<i>Bemisia tabaci</i>)
	<i>Lecanicillium longisporum</i>	Áfidos, mosca blanca (<i>Bemisia tabaci</i> y <i>Trialeurodes vaporariorum</i>)
	<i>Lagenidium giganteum</i>	Áfidos
		Mosquitos
Bacterias	<i>Bacillus popillae</i>	Escarabajos
	<i>B. thuringiensis</i>	Lepidóptera, Díptera
	<i>Bacillus thuringiensis</i> var. <i>kurstaki</i>	Larvas de lepidópteros
	<i>Bacillus thuringiensis</i> var. <i>aizawai</i>	Larvas de lepidópteros
	<i>B. sphaericus</i>	Mosquitos
	<i>B. thuringiensis</i> var. <i>aizawai</i>	<i>Galleria mellonella</i>
	var. <i>israelensis</i>	Larvas de dípteros (mosquitos, mosca negra)
	var. <i>kurstaki</i>	Larvas de lepidópteros
	var. <i>xentari</i>	Larvas de coleópteros (escarabajos)
	var. <i>tenebrionis</i>	Larvas de coleópteros
	<i>Clostridium malacosome</i>	<i>Malacosoma</i> spp.
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Patógenos oportunistas con especies susceptibles en los taxones de insectos más importante
	<i>P. fluorescens</i>	Lepidópteros (orugas), Escarabajo de la papa (<i>Leptinotarsa decemlineata</i>)
	<i>P. fluorescens</i> + <i>B.t.</i> <i>kurstaki</i> toxin	Lepidópteros (orugas)
	<i>P. fluorescens</i> + <i>B.t.</i> San Diego toxin	Escarabajo de la papa (<i>Leptinotarsa decemlineata</i>)
	<i>P. fluorescens</i> + <i>B.t.</i> toxin	
	<i>Xenorhabdus nematophilus</i>	Piral del maíz (<i>Ostrinia nubilalis</i>)
		Los insectos susceptibles al nematodo <i>Steinernema felsiae</i> (amplio rango de hospederos)
Nemátodos	<i>Steinernema carpocapsae</i>	Los gorgojos, gusano cortador negro, gusano cortador común, polilla del melocotón
	<i>Steinernema glaseri</i>	Gusanos blancos, gorgojos, gusano cortador negro, Gusano azul, gusano cortador de césped
		Gusano cogollero (<i>S. frugiperda</i>)
	<i>Heterorhabditis bacteriophora</i>	
Protozoo	<i>Nosema locustae</i>	Saltamontes, langostas

Tomado de: (Aronson *et al.*, 1998; Fernández y Juncosa, 2002; Andaló, *et al.*, 2010; Leng *et al.*, 2011).

Plaguicidas bacterianos

En los últimos años, varias especies de bacterias patógenas han sido aisladas, se han desarrollado como pesticidas y utilizadas con éxito en el control biológico de insectos en todo el mundo (Demir *et al.*, 2012). Las bacterias más patogénicas se introducen a los hospederos cuando estos comen alimento contaminado. Estas bacterias se multiplican en el aparato digestivo de los insectos, produciendo algunas enzimas (como la lecitinasa y las proteinasas) y toxinas, las cuales dañan las células del intestino medio y facilitan la invasión del hemocoele del insecto. Los pasos que siguen a la infección varía según el tipo de bacterias. Habitualmente, una vez que invaden el hemocoele, se multiplican y matan al hospedero por septicemia, por la acción de toxinas o por ambos. En numerosos casos, antes de morir, el insecto huésped pierde el apetito y deja de alimentarse. En otras ocasiones los hospederos infectados pueden defecar o vomitar, distribuyendo con esto el

organismo entomopatógeno. Los insectos que fallecen por una infección bacteriana, generalmente se tornan oscuros y su cuerpo se pone flácido. Los tejidos pueden hacerse viscosos y tener olor a podrido. Algunas bacterias infectan a la progenie de los insectos ya sea en los huevos o dentro de estos tal como el caso de *Serratia marcescens* Bizio en la langosta café *Locustana pardalina* (Van Driesche *et al.*, 2007b).

Desde su descubrimiento como un insecticida microbiano *B. thuringiensis* ha sido ampliamente utilizado para controlar plagas de insectos importantes en la agricultura, la silvicultura y la medicina. La gran variedad de formulaciones a base de cristales complejos de esporas destinados a ser ingeridos por el insecto objetivo, son el resultado de muchos años de investigación. El desarrollo de una gran variedad de matrices del complejo espора- cristal permite mejoras, tales como un aumento de la actividad tóxica, mayor palatabilidad a los insectos, o tiempos más largos de conservación. Estas matrices utilizan productos químicos, vegetales o animales, que están constituidos de tal manera que favorecen el contacto entre los cristales y los insectos, sin dañar a los seres humanos o el medio ambiente. Las empresas de biotecnología tienen la tarea de la producción de este tipo de bioinsecticidas no sólo deben proporcionar formulaciones adaptadas a determinados cultivos y plagas de insectos, sino que también deben buscar y producir bioinsecticidas basados en las nuevas cepas de alta potencia y que sean originarias de los agroecosistemas donde se van a aplicar. Se espera que los nuevos productos que aparezcan en el mercado, proporcionen un espectro de mayor actividad que impacten en un número mayor de plagas en otros cultivos y puedan ayudar a desarrollar una agricultura sustentable (Rosas, 2009). La especificidad estricta de *B. thuringiensis* (*Bt*), para ciertas especies de insectos se considera como una gran ventaja para su uso agrícola, ya que los efectos sobre los insectos no blanco, incluidos los depredadores y parasitoides, son mínimos (García-Gutiérrez *et al.*, 2006a; Dror *et al.*, 2009).

Plaguicidas virales

La familia Baculoviridae es la más numerosa y estudiada de los virus entomopatógenos. Esta familia agrupa a virus de ADN de doble cadena cuyos viriones están característicamente incluidos en una matriz proteínica llamado poliedro o cuerpo de inclusión (OB del inglés *occlusion body*) (Theilmann *et al.*, 2005). Los baculovirus como insecticidas microbianos son herramientas ideales en el manejo integrado de plagas (MIP), ya que son altamente específicos con sus insectos huésped, por lo tanto es seguro para el medio ambiente, los seres humanos, plantas, y enemigos naturales (Yasuhisa, 2007; Ahmad *et al.*, 2011). Se han utilizado más de 50 productos de baculovirus para controlar diferentes plagas de insectos en todo el mundo. El uso del nucleopoliedrovirus de *Anticarsia gemmatilis* NPV (AgMNPV) para controlar *A. gemmatilis* en soya en Brasil fue un programa exitoso y fue considerado como el más importante en el mundo (Ahmad *et al.*, 2011; Moscardi, 1999).

Este virus fue utilizado en cerca de 2 millones de hectáreas durante la temporada 2003-2004 en Brasil, aproximadamente el 10% de la superficie de cultivo de soya en el país (Moscardi, 2007). En China, el nucleopoliedrovirus de *Helicoverpa armigera* SNPV (HaSNPV), se aplica en algodón, soya, maíz y cultivos de tomate, después de que se autorizó por primera vez como insecticida microbiano comercial en 1993. Hasta la fecha, por lo menos 24 insecticidas a base de baculovirus han sido o son actualmente utilizados en China, 12 de los cuales no están registrados. Sin embargo, la prevención química sigue siendo la principal medida para el manejo de las plagas de insectos en China (Sun y Peng, 2007).

Se requieren programas y políticas eficaces de parte del gobierno, tanto en el campo como en el ámbito educativo de los agricultores y la población en general, para extender el uso de los insecticidas virales, así como para el posterior desarrollo de los sistemas de producción y el uso de estos insecticidas (Yang *et al.*, 2012).

La utilidad y efectividad de los baculovirus para el control de las plagas, tanto en cultivos agrícolas como en ecosistemas forestales, han sido ampliamente demostradas (Cherry y Williams, 2001). Actualmente se comercializan más de treinta bioinsecticidas basados en baculovirus contra algunas

de las plagas más importantes en el ámbito mundial. En algunas partes del mundo, se ha demostrado que la utilización de bioinsecticidas basados en baculovirus puede reducir de forma significativa el consumo de plaguicidas químicos (Moscardi, 1999).

Los bioinsecticidas a base de baculovirus son agentes de control ideales para ser usados en los programas de manejo integrado de plagas y su acción insecticida es útil: 1) contra aquellas especies fitófagas que han desarrollado resistencia múltiple o cruzada a los insecticidas químicos de síntesis y 2) en los programas de control donde se incluyen agentes biológicos de control susceptibles a la acción de los insecticidas químicos (Rodgers, 1993).

Micoinsecticidas

Los micoinsecticidas (productos formulados con hongos entomopatógenos) constituyen una pequeña fracción de los biopesticidas. Sin embargo, el incremento en el costo de producción de los pesticidas químicos, la resistencia desarrollada por las plagas y la presión que existe por reducir la contaminación en el ambiente han asegurado el creciente interés en estrategias alternativas para el manejo de plagas incluyendo a los hongos entomopatógenos (Butt *et al.*, 2001). Existen más de 700 especies en 100 géneros en el mundo, pero pocos son estudiados intensivamente. Este tipo de microorganismos se encuentran asociados con insectos que viven en diversos hábitats, como el agua, suelo y partes aéreas; por su forma característica de infección, son los microorganismos más importantes que infectan insectos chupadores como áfidos, mosquita blanca, escamas, chicharritas y chinches (Alatorre, 2007).

El hongo invade la hemolinfa, por lo que la muerte del insecto se debe a una combinación de daños mecánicos producidos por el crecimiento del hongo, desnutrición y por la acción de los metabolitos secundarios o toxinas que el hongo produce (Chul *et al.*, 1999). Durante el proceso de invasión, se producen cuerpos hifales y protoplastos que carecen de una pared celular, por lo que no son detectados por los hemocitos del insecto, lo que provoca que el hongo se disperse en el insecto para adquirir nutrientes, ocasionándole la muerte (Pell *et al.*, 2001).

Para seleccionar o aislar una raza se debe tomar en cuenta la susceptibilidad del insecto y el estado de desarrollo del huésped. La patogenicidad de un organismo es un término cualitativo y se refiere a la calidad o capacidad potencial de producir una enfermedad en otro organismo (Shapiro *et al.*, 2005; García-Gutiérrez *et al.*, 2006b; Rodríguez del Bosque, 2007). Algunos hongos patógenos de insectos han restringido el rango de hospederos, mientras que otras especies de hongos tienen un amplio rango de hospederos, por ejemplo, *Metarhizium anisopliae*, *M. flavoviridae*, *Paecilomyces farinosus*, *Beauveria bassiana* y *B. brongniartii* (Alatorre, 2007). En el Cuadro 3 se presentan algunos productos comerciales a base de hongos entomopatógenos que ya se encuentran en el mercado.

Cuadro 3. Bioinsecticidas a base de hongos entomopatógenos.

Agente biológico	Nombre comercial	Huéspedes	País
<i>Beauveria bassiana</i>	BEA-SIN	Lepidópteros	México-Sinaloa
<i>B. bassiana</i>	AGO BIOCONTROL	Coleóptera/ Hemíptera/ Lepidóptera/ Díptera	Colombia
<i>B. bassiana</i>	OSTRINIL	<i>Ostrinia nubilalis</i>	Francia
<i>B. bassiana</i>	MYCOTROL WP Y ES BOTANICAL GARD ES, CORNGARD ES	Hemíptera/ Heteróptera/ Coleóptera/ Ortóptera/ Lepidóptera	E.U.A.
<i>B. bassiana</i>	BOTANI GARD	Trips, mosca blanca, polilla dorso de diamante	Japón

<i>B. bongniartii</i>	ENGERLINGSPILZ	<i>Melolontha melolontha</i>	Suiza
<i>B. brongniartii</i>	AGO-BIOCONTROL BEAUVERIA 50	Coleóptera/ Hemíptera/ Díptera	Colombia
<i>Beauveria</i> y <i>Metarhizium</i>	<i>Beauveria</i> Schweizer <i>Metarhizium</i> Schweizer	Insectos/pastos	Suiza
<i>Lagenidium giganteum</i>	LAGINEX	Mosquitos	E.U.A.
<i>M. anisopliae</i>	SALTGREEN	<i>Aneolamia</i> spp, <i>Prosapia</i>	México-Córdoba
<i>M. anisopliae</i>	BIOGREEN	<i>Adoryphouse couloni</i>	Australia
<i>M. anisopliae</i>	FITOSAN	<i>Phyllophaga</i> spp.	México-Guanajuato
<i>M. anisopliae</i>	GREEN MUSCLE	<i>Locusta pardalina</i> y otras langostas y chapulines	Sudáfrica
<i>Isaria fumosorosea</i>	AGO-BIOCONTROL PAECILOMYCES 50	Coleóptera/ Nematodos	Colombia
<i>P. fumosoroseus</i>	PAE-SIN	Mosquita blanca	México-Sinaloa
<i>P. fumosoroseus</i>	PREFERD	Mosquita blanca, áfidos	Japón
<i>Nomurea rileyi</i>	AGO-BIOCONTROL NOMUREA 50	Lepidóptera	Colombia
<i>Verticillium lecanii</i>	APHIN	<i>Brevycorine brassicae</i>	México
<i>V. lecanii</i>	VERTALEC	Áfidos	Suiza
<i>V. lecanii</i>	MYCOTAL	Mosquita blanca/ trips	Holanda/Suiza
<i>Lecanicillium longisporum</i>	VERTALEC	Áfidos	Japón

(Tomado de: Leng, *et al.*, 2011 y Alatorre, 2007).

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

La información presentada en este documento muestra 12 familias y más de 20 especies de plantas las cuales tienen propiedades insecticidas. Se menciona también una gran variedad de plaguicidas microbianos entre los cuales se mencionan 17 a base de bacterias, 7 de hongos, 5 de virus, 3 de nematodos, uno de protozoos y uno de rickettsia. También se mencionan 19 marcas o nombres comerciales de bioplaguicidas a base de hongos entomopatógenos.

Los bioinsecticidas mencionados en este trabajo son una alternativa viable para ser utilizados dentro de esquemas de control biológico de plagas en los principales cultivos agrícolas. Su uso permite mantener la productividad del campo sin contaminarlo y sin poner en riesgo la salud de la población que entra en contacto directo o en forma indirecta con estos insumos. Sin embargo, es necesario realizar estudios de impacto ambiental del lugar donde se utilicen, ya que si el agente biológico que se está utilizando no es originario de la región donde se esté aplicando, se corre el riesgo de la introducción de nuevas cepas u organismos que pueden en algunos casos, traer consigo un desplazamiento de las especies que ya están establecidas. Por otro lado, estos productos han demostrado que al ser utilizados en forma adecuada favorecen la práctica de una agricultura sustentable con menos empleo de insecticidas químicos.

LITERATURA CITADA

- Ahmad, I., Ahmd, F., Pichtel, J. 2011. **Microbes and microbial technology: agricultural and environmental applications**. Springer Science Business Media LLC. pp. 415-430.
- Alatorre, R. R. 2007. **Hongos entomopatógenos**. pp. 127-143. En: L. A. Rodríguez del-Bosque y H. C. Arredondo-Bernal (eds.). *Teoría y Aplicación del Control Biológico*. Sociedad Mexicana de Control Biológico, México. 303 p.
- Alfonso, M. 2002. **Los plaguicidas botánicos y su importancia en la agricultura orgánica**. *Agricultura Orgánica* 2. 26-30 pp.
- Altieri, M., Nicholls C. I. 2000. **Agroecología: Teoría y práctica para una agricultura sustentable**. Serie textos básicos para la formación ambiental. Primera edición. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe. 250 p
- Andaló, V., Santos, V., Moreira, G., Moreira, C., Moino Junior, A., 2010. **Evaluation of entomopathogenic nematodes under laboratory and greenhouses conditions for the control of *Spodoptera frugiperda***. *Ciência Rural*. 40, 1860-1866.
- Aronson, A. I., Beckman, W. and Dunn, P. 2011. ***Bacillus thuringiensis* and related insect pathogens**. *Microbiological reviews*. 1-24 pp.
- BenJannet, H., Skhiri, F., Mighri, Z., Simmonds, M. S. J., Blaney, W. M. 2001. **Antifeedant activity of plant extracts and of new natural diglyceride compounds isolated from *Ajuga pseudoiva* leaves against *Spodoptera littoralis* larvae**. *Ind. Crop. Prod.* 4: 213-222.
- Butt, T. M., C. Jackson., N. Magan. 2001. **Introduction-fungal biological control agents: progress, problems and potential**. En: *Fungi as biocontrol agents progress, problems and potential*. T. M. Butt, C. Jackson y N. Magan (eds.). CABI, Wallingford, Oxon. 1-8 pp.
- Carlini, C. R., Grossi-de Sa, M. F. 2002. **Plant toxic proteins with insecticidal properties a review on the potentialities as bioinsecticide**. *Toxicon*. 40: 1515-1539.
- Cherry, A.; Williams, T. 2001. **Control de insectos plaga mediante baculovirus**. pp. 389-452. En: Caballero, P.; López Ferber, M.; Williams, T. (Eds.). *Los baculovirus y sus aplicaciones como bioinsecticidas en el control biológico de plagas*. Phytoma-España, S. L., Valencia, España. p. 518.
- Chul Kang, S., S. Park., D. Gyu-Lee. 1999. **Purification and characterization of a novel chitinase from the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae***. *Journal of Invertebrate Pathology*. 73: 276-281.
- Conway, G. R., Pretty, J. N. 1991. **Unwelcome Harvest: agriculture and pollution** Earthscan, Island Press London UK.
- Demir, I., Eryüzlü, E. and Demirbağ, Z., 2012. **A study on the characterization and pathogenicity of bacteria from *Lymantria dispar* L. (Lepidoptera: Lymantriidae)**. *Turk J Biol.* (36) 459-468
- Dror, A., Haviva, E., Menachem, K., Noam, R., Michal, S., Baruch, S. and Aviah, Z., 2009. **The *Bacillus thuringiensis* delta-endotoxin Cry1C as a potential bioinsecticide in plants**. *Plant Sci.* 176: 315-324.
- Eddleston, M., Karalliedde, L., Buckley, N., Fernando R., Hutchinson, G., Isbister G., Konradsen, F., Murray D., Piola, J.C., Senanayake, N., Sheriff, R., Singh, S., Siwach, S. B. and Smit, L. 2002. **Pesticide poisoning in the developing world-a minimum pesticides list**. *The Lancet* 360. 1163-1167.
- EPA. 1988. **Code of Federal Regulation 40, parts 150 to 189**. (En línea). Disponible en: Washington, DC U.S. Environmental protection agency. 718 p. <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/CFR-2010-title40-vol23/pdf/CFR-2010-title40-vol23-part152.pdf>.
- EPA. 2010. **Biopesticide demonstration grant program**. (En línea). Disponible en: Washington, DC U.S. Environmental Protection Agency. Office of Pesticide Programs (7511P) EPA 731-F-10-004. US Environmental Protection Agency. http://www.epa.gov/pest/publications/biodemo/bdp_brochure.pdf.
- Fernández, C., Rafael Juncosa, R. 2002. **Biopesticidas: ¿La agricultura del futuro?** *Phytoma* 141: 14-19.
- García-Gutiérrez, C., P. Tamez Guerra, H. Medrano Roldán y M. B. González Maldonado. 2006a. **Mercado de bioinsecticidas en México**. En: *Biotecnología Financiera Aplicada a Bioplaguicidas*. Cipriano García Gutiérrez e Hiram Medrano Roldán (Eds). 17-40 pp.
- García-Gutiérrez C., Hernández-Velázquez V. M. y M. B. González-Maldonado. 2006b. **Procesos biotecnológicos de producción de bioplaguicidas: hongos entomopatógenos**. En: *Biotecnología Financiera Aplicada a Bioplaguicidas*. Cipriano García Gutiérrez e Hiram Medrano Roldán (Eds). 91-118 pp.
- Hoti, S. I., K. Balaraman. 1990. **Utility of cheap carbon and nitrogen sources for the production of a mosquito pathogenic fungus, *Lagenidium***. *Indian Journal of Medical Research, Section A, Infectious Diseases*. 91: 67-69.

- Kehrli, P., Wratten, S. D. 2011. **A perspective on the consequences for insect herbivores and their natural enemies when they share plant resources.** International scholarly research network. Article ID 480195, 6 pages doi:10.5402/2011/480195.
- Leng, P., Zhang, Z., Pan G., Zhao, M. 2011. **Applications and development trends in biopesticides.** African Journal of Biotechnology. 10(86): 19864-19873.
- Liebman, J. 1997. **Rising toxic tide: pesticide use in California. 1991-1995.** PAN North America/ Californians for Pesticide Reform, San Francisco, US, 1997.
- Mansour, S.A., Bakr, R.F.A, Hamouda, L.S., Mohamed, R.I., 2012. **Adulticidal activity of some botanical extracts, commercial insecticides and their binary mixtures against the housefly, *Musca domestica* L.** Egypt. Acad. J. Biolog. Sci., 5(1): 151-167
- Martínez, V. C. y Gómez, A. S. 2007. **Riesgo genotóxico por exposición a plaguicidas en trabajadores agrícolas.** Rev. Int. Contam. Ambient. 23 (4) 185-200.
- Moscardi, F. 1999. **Assessment of the application of baculoviruses for control of Lepidoptera.** Ann. Rev. Entomol. 44: 257-289.
- Moscardi, F. 2007. **A nucleopolyhedrovirus for control of the velvetbean caterpillar in Brazilian soybeans.** In: *Biological Control: A Global Perspective.* eds. C. Vincent MS. Goethel and G Lazarovits, Oxfordshire, UK, and Cambridge, USA: CAB International. pp. 344-352.
- Nava, P. E., Gastelum, H.P., Camacho, B.J.R., Valdéz, T.B., Bernal, R.C.R., Herrera, F.R., 2010. **Utilización de extractos de plantas para el control de gorgojo pardo *acanthoscelides obtectus* (Say) en frijol almacenado.** Ra Ximhai 6.(1), 37-43.
- OMS. 1990. **Plaguicidas.** Informe Técnico No. 12. Organización Mundial de la Salud. Ginebra.
- Pell, J., Eilenberg, J., Hajek, A., Steinkraus, D.C. 2001: **Exploring the potential of entomophthorales in pest management.** In: Butt T.M., Jackson C., Magan N. (eds): *Fungi as biocontrol agents: Progress, problems and potential.* CABI, Wallingford, pp. 71-153.
- Pimentel, D., Lehman, H. 1993. **The pesticide question.** Chapman and Hall, N.Y. N.
- Potti, A., Panwalkar A., Langness E. 2003. **Prevalence of pesticides exposure in young males with adenocarcinoma of the prostate.** J. Carcinogenesis. 2, 4-5.
- Rodgers, P. B. 1993. **Potential of biopesticides in agriculture.** Pesticide Science. 39: 117-129.
- Rodríguez del Bosque, L. A. 2007. **Terminología sobre control biológico.** pp. 277-303. En: Rodríguez-del-Bosque, L. A. y Arredondo-Bernal, H. C. (eds.). *Teoría y aplicación del control biológico.* Sociedad Mexicana de Control Biológico, México. 303 p.
- Rosas, G. N. M. 2009. **Biopesticide production from *Bacillus thuringiensis*: An environmentally friendly alternative.** *Recent Patents on biotechnology.* 3, 28-36.
- Shapiro Ilan, D. I., J. R. Fuxa, L. A. Lacey, D. W. Onstad, and H. K. Kaya. 2005. **Definitions of pathogenicity and virulence in invertebrate pathology.** Journal of Invertebrate Pathology. 88: 1-7.
- Simberloff, D. 2012. **Risks of biological control for conservation purposes.** BioControl. 57: 263-276.
- Singh, M. B., Jain, D. C. 1987. **Relative toxicity of various organic solvents generally used in screening plant product for insecticidal activity against house fly (*Musca domestica* L.).** Ind. J. Exp. Biol. 25: 560-570.
- Singh, A., Singh, D.K., Mishra, T.N., Agarwal, R.A. 1996. **Molluscicides of plant origin.** Biol. Agri. Horti. 13: 205-252.
- Sun, X.L., Peng, H. 2007. **Recent advances in biological pest insects by using viruses in China.** Virol. Sin. 22:158-162.
- Theilmann, D. A., Blissard, G. W., Bonning, B., Jehle, J. A., O'reilly, D. R., Rohrmann, G. F., Thiem, S. and Vlak, J. M. 2005. **Baculoviridae.** pp. 177-185. En: Fauquet, C. M.; Mayo, M. A.; Maniloff, J.; Desselberger, U.; Ball, L. A. (Eds.). The Eighth report of the international committee on taxonomy of viruses. Elsevier, San Diego, California. 1259 p.
- Thiery, I., Frachon, E. 1997. **Idendification, isolation, culture and preservation of enthomopathogenic bacteria.** pp. 55-73. In: Lacey A. L. (ed.). *Manual of techniques in insect pathology.* Academic Press, London.
- Van Driesche, R. G., Hoddle, M. S., Center, T. D. 2007a. **Plaguicidas microbiales: problemas y conceptos.** En: *Control de plagas y malezas por enemigos naturales.* Sección IX. Capítulo 23. 431-442.
- Van Driesche, R. G., Hoddle, M. S., Center, T. D. 2007b. **Uso de patógenos de artrópodos como plaguicidas.** En: *Control de plagas y malezas por enemigos Naturales.* Sección IX. Capítulo 24. 443-466.
- Yang, M. M., Li, M. L., Zhang Y., Wang, Y. Z., Qu, L. J., Wang, Q. H., Ding, J.Y., 2012. **Baculoviruses and insect pests control in China.** African Journal of Microbiology Research. 6(2): 214-218.
- Yasuhisa, K. 2007. **Current status and prospects on microbial control in Japan.** J. Invertebr. Pathol. 95: 181-186.

Eusebio Nava Pérez

Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Facultad de Ciencias Químico Biológicas de la Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS). Ingeniero Bioquímico en el Instituto Tecnológico de los Mochis. Profesor Investigador del Departamento de Biotecnología Agrícola CIIDIR (COFAA) IPN Unidad Sinaloa.

Cipriano García Gutiérrez

Doctorado en Ciencias (especialidad en Ingeniería y Biotecnología) Instituto Tecnológico de Durango. Maestría en Ciencias con Especialidad en Entomología y Acarología Colegio de Postgraduados. Biólogo en Escuela Nacional de Ciencias Biológicas I.P.N. Profesor Investigador del Departamento de Biotecnología Agrícola CIIDIR (COFAA) IPN Unidad Sinaloa. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI Nivel II).

Jesús Ricardo Camacho Báez

Maestría en Ciencias por el CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa, especialidad en Recursos Naturales y Medio Ambiente. Ingeniero Agrónomo Especialista en Parasitología en la Escuela Superior de Agricultura (UAS) Culiacán, Sin. Profesor Investigador del Departamento de Biotecnología Agrícola CIIDIR (COFAA)-IPN Unidad Sinaloa.

Elva Lorena Vázquez Montoya

Licenciada en Biología. Universidad de Occidente

Estudiante de Maestría. Maestría en Recursos Naturales y Medio Ambiente. CIIDIR Sinaloa IPN.

Ra Ximhai

Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo
Sustentable

Ra Ximhai
Universidad Autónoma Indígena de México
ISSN: 1665-0441
México

2012

USO DE BIORRACIONALES PARA EL CONTROL DE PLAGAS DE HORTALIZAS EN EL NORTE DE SINALOA

María Berenice González-Maldonado¹; Cipriano García-Gutiérrez²

Ra Ximhai, septiembre - diciembre, año/Vol. 8, Número 3

Universidad Autónoma Indígena de México

Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. pp. 31-45.



e-revist@s

USO DE BIORRACIONALES PARA EL CONTROL DE PLAGAS DE HORTALIZAS EN EL NORTE DE SINALOA

USE OF BIORATIONAL FOR THE VEGETABLE PEST CONTROL IN THE NORTH OF SINALOA

María Berenice **González-Maldonado**¹ y Cipriano **García-Gutiérrez**²

¹Profesora Investigadora. CIIDIR-IPN COFAA, Sigma 119, Fracc. 20 de noviembre II. C.P. 34220. Durango, Dgo. mbgonzalez@ipn.mx.

²Profesor Investigador. CIIDIR-IPN, COFAA, Unidad Sinaloa, Blvd. Juan de Dios Bátiz Paredes No. 250, C.P. 81101. Guasave, Sinaloa, cgarcia@ipn.mx.

RESUMEN

En Sinaloa la producción de hortalizas y cucurbitáceas es una de las actividades agrícolas más importantes, por lo que cada año se usa un gran volumen de insecticidas químicos para el control de las plagas que atacan a estos cultivos. En el presente trabajo se dan a conocer a las principales plagas en la región, haciendo también un análisis sobre los insecticidas biorracionales que se utilizan para el control efectivo de las mismas. Se encontró que para el combate de *Bemisia argentifolii* Bellows & Perring (Hemiptera: Aleyrodidae) se utiliza el aceite de Neem al 0.2%, para ninfas de *Bactericera cockerelli* Sulc. (Homoptera: Psyllidae) guanábana *Annona muricata* L. (Annonales: Annonaceae) a dosis de 2500-5000 mg/L., para *Liriomyza trifolii* Burgess (Diptera: Agromyzidae) semillas de neem al 2%, y para *Myzus persicae* Sulzer (Hemiptera: Aphididae), aceite de colza a dosis de 920g/L (2% v/v), para *Frankliniella occidentalis* Pergande (Thysanoptera: Thripidae) spinosad (conserve®) a 48-60 mg/L., para *Phthorimaea operculella* Zeller (Lepidoptera: Gelechiidae) el virus de la granulosis (10⁵ CO/mL) combinado con neem (aceite emulsificable DalNeemTM y NeemAzalTM-T/S a dosis de 8 mg/L, cada uno). El uso de estos productos y las dosis dependen del tipo de plaga y del cultivo. En general estos productos causan mortalidades de insectos superiores al 95%, además de que tienen baja toxicidad sobre enemigos naturales, por lo que pueden usarse de manera individual o en combinación, en esquemas de control integrado de plagas de hortalizas e insectos vectores de enfermedades en el Norte de Sinaloa.

Palabras clave: Hortalizas, cucurbitáceas, biorracionales, azaridactina.

SUMMARY

In Sinaloa the vegetable and cucurbits production are important agricultural activities, so each year a high volume of chemical insecticides are applied to pest control that attack these crops. This paper present the main pests insects in the region, as well as an analysis about effects of biorational insecticides on these pests. Was found that for control of *Bemisia argentifolii* Bellows & Perring (Hemiptera: Aleyrodidae) is used Neem oil 0.2%, for kill nymphs of *Bactericera cockerelli* Sulc. (Homoptera: Psyllidae) soursop *Annona muricata* L. (Annonales: Annonaceae) at doses of 2500-5000 mg/L., for *Liriomyza trifolii* Burgess (Diptera: Agromyzidae) neem seeds 2%, to *Myzus persicae* Sulzer (Hemiptera: Aphididae) rapeseed oil at doses 920 g/L (2% v/v), to *Frankliniella occidentalis* Pergande (Thysanoptera: Thripidae) spinosad (Conserve®) 48-60 mg/L., and for *Phthorimaea operculella* Zeller (Lepidoptera: Gelechiidae) granular viruses (10⁵ OBs/mL) combined with neem (DalNeemTM emulsifiable oil and NeemAzalTM-T/S at doses of 8 mg/L, everyone). The use of these products and the dose depends on the type of pest and crop. In general these products cause insect mortality greater than 95%, besides having low toxicity on natural enemies, so that these can be used individually or in combination in integrated pest control schemes against vegetable pests, and also for disease vectors insects in the northern of Sinaloa.

Key words: Vegetables, cucurbits, biorational, azaridactina.

INTRODUCCIÓN

El Estado de Sinaloa es el principal productor y exportador de granos, hortalizas y cucurbitáceas; cuenta con una superficie cultivada de 300,000 ha, de estas 85,000 ha se dedican cada año a cultivos hortícolas, siendo los municipios del Norte del Estado (Choix, El Fuerte, Sinaloa de Leyva, Guasave y Ahome) las áreas donde se produce la mayor cantidad de hortalizas (48,321 ha) (CESAVESIN, 2010).

Por su importancia económica y superficie sembrada, las principales hortalizas que se producen en Sinaloa son: tomate *Lycopersicon esculentum* (Mill.), chile (*Capsicum annum* L.) y tomatillo *Physalis ixocarpa* Brot., de las cuales se siembran en promedio 7,055 ha de cucurbitáceas [calabacita (*Cucurbita*

pepo L.), melón (*Cucumis melo* L.), pepino (*Cucumis sativus* L.) y sandía *Citrillus lanatus* (Thumb)] (Félix-Gástelum *et al.* 2005); estos cultivos regularmente se ven afectados por insectos plaga, dentro de los que destacan: mosquita blanca, paratrioza, minador de las hojas, áfidos y trips, los cuales pueden ser insectos vectores capaces de transmitir virus, fitoplasmas y toxinas (Garzón-Tiznado, *et al.*, 2009); a nivel mundial se han reportado 32 virus para cucurbitáceas, en los cuales predominan los virus transmitidos por áfidos, dentro de ellos *Mizus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) es el más importante, por ser transmisor de más de 100 tipos de virus en casi 30 familias de plantas (CABI, 2000).

Una alternativa al uso de insecticidas químicos para el combate de plagas, y por consecuencia para evitar la propagación de enfermedades que transmiten son los insecticidas biorracionales, los cuales son definidos como sustancias producidas por microorganismos, plantas o minerales, que se descomponen en pocas horas después de aplicarlos y son específicos para la plaga que se desea controlar (O'Farrill, 2008). Los productos biorracionales se utilizan en el control de plagas debido a que sus principios activos tienen el efecto de repeler o matar a los insectos; los extractos vegetales constituyen una opción, ya que no causan daño al ambiente; en el campo se usan diluciones de hojas de plantas con actividad insecticida o sus aceites esenciales a diferentes concentraciones, dependiendo de la severidad de la plaga y del cultivo a tratar, dentro de ellos destaca el neem *Azadirachta indica* A. Juss., que contiene diversos componentes con actividad insecticida, de los cuales el más importante es la azadiractina, un tetranortriterpenoide natural (Esparza-Díaz, *et al.*, 2010), el cual tiene la ventaja de degradarse rápidamente en el medio ambiente, con baja toxicidad para humanos, además de que no crea resistencia debido a la presencia de diferentes compuestos con actividad insecticida, actúa por contacto o por ingestión (Valle-Pinheiro, 2009).

También se han utilizado insecticidas químicos en conjunto con biorracionales (virus de la granulosis, extractos de plantas-lechugilla, jaboncillo, rabanillo, papaya, guanábana, neem, jabones, aceites), dentro de los sistémicos el Imidacloprid®, se usa para el control de mosquita blanca, paratrioza, áfidos y otros insectos en E.U.A., está compuesto por un cloronicotinil, el cual ataca al sistema nervioso y provoca que el insecto deje de alimentarse, en el caso de paratrioza disminuye la transmisión de *Candidatus liberibacter psyllaureus* (Butler *et al.*, 2011). Así mismo, la bifentrina es un producto piretroide con propiedades insecticidas y acaricidas que ha sido recomendado para el control de mosquita blanca en los cultivos de algodónero y hortalizas (Martínez-Fernández, 2009).

Debido a lo anterior, y a que en el Norte de Sinaloa se cuenta con poca información sobre las principales plagas y productos biorracionales para su control, se realizó el presente trabajo con el objetivo de contribuir al conocimiento de las plagas primarias y secundarias, así como hacer una revisión sobre los productos biorracionales que se pueden utilizar para el control exitoso de éstas plagas, desde el punto de vista de toxicidad y disponibilidad en el mercado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Identificación de insectos plaga

La colecta de insectos (plaga, enemigos naturales, parasitoides) se realizó en el ciclo otoño-invierno, de octubre del 2009 a mayo del 2010 en la región Norte de Sinaloa, que comprende los municipios de Guasave, El Fuerte, Sinaloa de Leyva y Ahome (en el caso particular de la sandía); en los diferentes cultivos hortícolas como papa, tomatillo, tomate y chile, y en cucurbitáceas: sandía, calabacita y pepino.

Se ubicaron dos lotes en cada uno de estos cultivos, en localidades distintas, donde no se aplicaron medidas de control, ni químico, ni biológico para fomentar la presencia de insectos. Los muestreos

respectivos se realizaron de forma manual y con red entomológica, además se utilizaron trampas amarillas y con jabón, estos se realizaron cada semana durante todo el ciclo del cultivo. Se dieron 100 redazos en un sistema cinco de oros, cubriendo cada lote del cultivo, además se revisaron 100 plantas al azar de cada uno de los cultivos, con la finalidad de observar los daños a plantas y tallos ocasionados por insectos plaga.

Los insectos colectados en los muestreos se trasladaron al laboratorio de Entomología del INIFAP Valle del Fuerte, Sinaloa, se colocaron en frascos viales de vidrio con capacidad de 50 mL, debidamente etiquetados, con alcohol al 70%, para su resguardo y posterior procesamiento para su identificación. Los insectos fueron identificados con ayuda de claves taxonómicas (Borror *et al.*, 1954, 1989; Bautista y Vejar, 1998; Peña, 1992, González, *et al.*, 2001 y 2003). Una vez identificados, estos se ubicaron por familia, por cultivo y de acuerdo a sus hábitos en: plagas principales, plagas secundarias y enemigos naturales (parasitoides o depredadores).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presenta la descripción, hábitos y tipo de daños de las principales plagas encontradas en hortalizas y cucurbitáceas por diversos autores, así como de aquellas que se colectaron en la región de estudio en el Norte de Sinaloa.

Plagas primarias

Mosquita blanca

***Bemisia argentifolii* Bellows & Perring (biotipo "B" o "*Poinsettia*") (Hemiptera: Aleyrodidae)**

B. argentifolii es el nombre que ahora se aplica a los individuos previamente conocidos como *Bemisia tabaci* "biotipo B o biotipo algodón". Actualmente, *B. argentifolii* es la especie más importante en diversas especies de hortalizas en México. Se ha informado de su presencia en 15 Estados de la República Mexicana: Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa, Chihuahua, Coahuila, Tamaulipas, Nuevo León, Durango, Jalisco, Colima, Distrito Federal, Morelos, Oaxaca y Chiapas (Montealegre-Lara, 1996).

En el Valle de El Fuerte, Sinaloa, durante el verano de 1994, atrajo la atención una especie de mosca blanca morfológicamente similar a *B. tabaci*, pero con características fisiológicas y comportamiento similar a *Bemisia argentifolii*, la cual es mucho más agresiva. Se presenta en los cultivos de soya, frijol, algodón, tomate, chile, berenjena, pepino, calabaza y sandía, principalmente, y en un amplio rango de especies de malezas. Aunque tiene semejanzas morfológicas con *Bemisia tabaci*, es genéticamente distinta.

Diferencias entre *B. tabaci* y *B. argentifolii*. Según Ramírez-Villapudua (2006), *B. argentifolii* carece de cópula interespecífica y difiere en diversas características fisiológicas y morfológicas. Las proyecciones marginales cerosas de los pliegues torácicos traqueales posteriores; en *B. argentifolii* estas proyecciones cerosas son angostas, con los filamentos cerosos cortos y débiles; en *B. tabaci* son más anchos y robustos. La segunda diferencia es la presencia de la seta submarginal anterior, SSA4, en *B. tabaci*, la cual casi siempre está ausente en *B. argentifolii*. *B. argentifolii* también puede distinguirse de *B. tabaci* mediante diferencias de distancias migratorias de la enzima esterasa y por su capacidad de inducir alteraciones fitotóxicas en calabaza, tomate, brócoli y zanahoria. *B. tabaci* es más grande, menos fecunda, con un rango de plantas hospederas más estrecho, una capacidad menor para producir mielecilla y no causa desórdenes en las plantas

Descripción. Los huevos de *B. argentifolii* son de forma alargada, en forma de diente de ajo, el extremo basal es de forma redonda y la parte superior es más aguda. Recién depositados son

transparentes y brillantes, miden 0.186 mm de largo por 0.089 mm de ancho, a medida que se torna su eclosión se vuelven de color obscuro. La ninfa es ovalada, blancuzca y blanda. Vista dorsalmente, su cuerpo es más ancho en la parte anterior que en la posterior y son aplanadas, como escamas. Un extremo de la pupa pende de la superficie de la hoja y posee escasos y cortos filamentos cerúleos en su perímetro (comparada con otras ninfas de mosca blanca tiene numerosos filamentos). Las ninfas del primer instar presentan patas y antenas. Son de tamaño ligeramente mayor al de los huevecillos y de color blanco traslúcido. Las ninfas del último instar miden cerca de 1 mm de largo; son de color amarillo, con dos puntos de color rojo obscuro, que son los ojos del adulto próximo a emerger. *Adultos* las moscas adultas son más pequeñas (siendo las hembras de alrededor de 0.96 mm y los machos de 0.82 mm). Son de color amarillo más intenso que otras moscas blancas. Mantienen las alas a un ángulo de 45°, lo que les da la apariencia de ser más delgadas. Los adultos emergen de la cutícula del último instar ninfal o pupa, a través de una ruptura en forma de “T”.

La cópula inicia a las 12 a 20 hrs después de la emergencia. Puede ocurrir en diversas ocasiones en el periodo de vida, en las hembras puede ser de 60 días y de 9 a 17 días para los machos. Las hembras depositan cientos de huevecillos generalmente en el envés de las hojas. La duración del ciclo de vida, de huevecillo a adulto y de cada etapa fenológica, difiere de acuerdo a la temperatura ambiental. La fase de huevecillo a adulto transcurre de 5 a 9 días; los tres primeros ínstares ninfales duran de 2 a 4 días y el último instar transcurre en 6 días, lo que depende de la temperatura.

Daños. Las plantas infectadas presentan menos vigor y las hojas están cubiertas con mielecilla. La mosca blanca se alimenta del tejido de las hojas, extrayendo la savia de la planta lo cual entorpece su crecimiento. Las hojas se vuelven amarillentas y se caen en las plantas infectadas. Se desarrolla un hongo semejante a hollín en las hojas cubiertas del rocío viscoso producido por la mosca blanca.

Psílido de la papa

***Paratrioza cockerelli* (Sulc) (= *Paratrioza cockerelli*)**

Sobre este insecto Becerra (1989) y Garzón-Tiznado (2002) mencionan lo siguiente:

Descripción. Los huevos son de forma ovoide, color anaranjado-amarillento brillante, presentan en uno de sus extremos una coloración naranja y en éste un pedicelo con el que se adhieren a las hojas. Las ninfas del *primer estadio* son de color naranja, presenta antenas con los segmentos basales cortos y gruesos, los cuales se adelgazan hasta finalizar en un pequeño segmento con dos setas sensoras; los ojos son de color rojo o naranja. Durante este estadio no se observan paquetes alares; las patas presentan una segmentación poco visible al igual que el abdomen. *Segundo estadio* se observa claramente la constricción entre el cuerpo, cabeza y abdomen. La cabeza es de color amarillento, las cabezas son filiformes con un par de setas sensoras en la parte apical, los ojos son de color anaranjado obscuro, el tórax es de color verde amarillento, se observan los paquetes alados, se presenta la segmentación en las patas. Tanto tórax y abdomen son de mayor tamaño, así como las estructuras en cada uno de ellos; el abdomen es de color amarillo y presenta un par de espiráculos en los cuatro primeros segmentos. *Tercer estadio* se definen perfectamente las constricciones del cuerpo, la cabeza es de color amarillo, las antenas se adelgazan en la parte media para terminar con dos setas sensoras, la coloración de los ojos es rojiza, se observa en el tórax con mucha facilidad los dos pares de alas en el mesotórax y metatórax, éste es de color amarillento, el abdomen es de color amarillo y es más redondo inmediatamente abajo del segundo par de alas. *Cuarto estadio* la cabeza es de color amarillo, los ojos son de color rojo obscuro, las antenas continúan con las mismas características, la segmentación de las patas se encuentra tan definida que se puede apreciar en la parte terminal de las tibias posteriores tres espuelas, así como dos segmentos tarsales y un par de uñas. *Quinto estadio* la cabeza y el abdomen son de color verde claro, el tórax con una tonalidad más oscura, las antenas están divididas en dos partes por una hendidura muy marcada, la parte basal es gruesa y la apical es filiforme, presentan seis placoides sencillas muy visibles, los ojos se tornan de color guinda, presentan tres espuelas en la parte

terminal de las tibiales posteriores y dos segmentos tarsales y un par de uñas, el abdomen es de forma semicircular. *Adulto* al emerger el adulto presenta una coloración verde-amarillenta; es inactivo, alas blancas, que al paso de 3 a 4 horas, se tornan transparentes. La coloración del cuerpo pasa de ligeramente ámbar a café oscuro o negro, el cambio se presenta los primeros 7 a 10 días de alcanzar este estadio, considerando que la coloración obscura es característica de aquellos insectos que ya copularon.

Aunque el ciclo de vida de éste psílido fue reportado por Knowlton y Janes en 1931, éste se definió basándose en días; no obstante los insectos por ser poiquilotérmicos, es decir que su velocidad de desarrollo está determinada en gran parte por la temperatura, su edad fisiológica debe definirse en base a grados día o unidades calor (Byerly, *et al.* 1998). En función de lo anterior, se determinó que la temperatura mínima del umbral de desarrollo es de 7 °C y se confirmó que temperaturas mayores a 35 °C afectan su desarrollo. Su ciclo biológico bajo las anteriores condiciones de desarrollo se completó de huevecillo a adulto en 356 unidades calor ($T\text{ °C min} + T\text{ °C max}/2 - 7\text{ °C}$); a primer instar 72 UC; a segundo 54 UC; a tercero 48 UC; a cuarto 54 UC; a quinto 48 UC y adulto 80 UC.

Daños. *Directos* originados por la toxina, la toxina de paratíoxa es una sustancia que daña a las células que producen clorofila en las hojas de las plantas y que le dan el color verde, lo que ocasiona que las hojas se pongan amarillas o con un aspecto raquítrico. *Indirectos* originados por el fitoplasma que transmite, el fitoplasma es un organismo infeccioso, submicroscópico más grande que un virus y tiene forma de huevo estrellado. Causa la enfermedad “permanente del tomate”, lo que ocasiona aborto de la flor, hojas quebradizas y enrolladas hacia arriba, actualmente también se reporta en los Estados de Morelos, Nayarit y Sinaloa, regiones con climas cálidos. Además puede transmitir *Candidatus Liberibacter solanacearum* a papa, lo cual es asociado con la enfermedad “Zebra chip” (Butler *et al.* 2011).

Palomilla de la papa

***Phthorimaea operculella* Zeller (Lepidoptera: Gelechiidae)**

Descripción. La larva recién emergida es de color blanco cremoso, para luego tornarse rosada en el dorso, y ventralmente de color azul verdoso, mide 16 mm de longitud. La pupa es de color marrón y casi negra antes de la emergencia del adulto. El adulto es una palomilla de color marrón de 7-9 mm de longitud, con tres manchas o estigmas muy visibles.

Las hembras viven 20 días y los machos 16, siendo los siete primeros días los de mayor oviposición. Colocan en promedio 200 huevos durante su vida. El ciclo de vida está influenciado principalmente por la temperatura, a 15 °C el ciclo total es de 94 días y a los 25 °C, de 41 días. La polilla puede pupar en el suelo, cajas y huecos en almacén, en sacos e incluso dentro del mismo tubérculo, son de actividad nocturna.

Daños. Su daño en el follaje se caracteriza por galerías que produce la larva en las hojas y tallos lo cual reduce el área fotosintética y la eficiencia de la planta. El daño más grave lo produce en los tubérculos ya que el insecto adulto deposita los huevos en los ojos de los tubérculos al consumir el parénquima y al eclosionar los huevos, las larvas inician la perforación y formación de túneles en el interior del mismo, contaminándolo con sus excreciones.

Picudo del chile

***Anthonomus eugenii* Cano (Coleoptera: Curculionidae)**

Descripción. Los huevos son de color blanco cuando son depositados, posteriormente se tornan de color amarillo, tienen forma oval y miden entre 0.53 mm de longitud y 0.39 de ancho. Las larvas son blancas con cabeza color café. Las larvas pasan por 3 estadios (1, 1.3 y 1.9 mm de largo,

aproximadamente) con un tiempo de desarrollo de 1.7, 2.2 y 8.4 días, respectivamente. En la pupa la celda o envoltura pupal es frágil y se localiza dentro de las flores o frutos del cultivo de chile. La pupa se asemeja en la forma a la de los adultos, sin embargo, sus alas no están completamente desarrolladas, las setas se encuentran distribuidas entre el protórax y el abdomen. Cuando comienza su formación es de color blanco, posteriormente se torna amarillenta, con ojos marrones, la duración promedio de esta etapa es de 4.7 días (Capinera, 2008). El cuerpo del adulto es ovalado, negro lustroso con pelos ralos de color canela a gris, mide unos 2 a 3 mm de longitud y entre 1.5 a 1.8 mm de ancho. El cuerpo es arqueado y posee un largo pico característico de esta especie. El tórax y élitros se encuentran cubiertos por escamas. Posee antenas largas y ampliamente notables en la punta. El fémur tiene cada uno un diente afilado. La alimentación comienza inmediatamente después de la emergencia. Los machos producen una feromona que les permite atraer a ambos sexos (Eller *et al.* 1994).

La oviposición inicia a los dos días del apareamiento. Los huevos son depositados por separado en orificios de capullos y brotes de la planta o en la base de los chiles inmaduros. Las hembras depositan entre 5 y 7 huevecillos/día, logrando una fecundidad de 341 a 600 huevecillos en algunos individuos. El período de incubación promedio es de 4.3 días, con un rango de tres a cinco días. El último estadio larval contiene un periodo prepupal de 4.9 días, durante el cual la larva crea una celda pupal de secreciones anales. Requiere de 20 a 30 días para completar una generación y pasa por 3 a 5 generaciones/año.

Daños. Las hembras adultas inician la ovipostura en orificios que ellas mismas practican en capullos y en frutos inmaduros, y luego sellan las cavidades con un fluido marrón. Las larvas, que se alimentan en la cavidad de las semillas o en las paredes del fruto, son responsables de la mayor parte del daño. Las infestaciones pueden pasar desapercibidas hasta que los tallos de los chiles jóvenes se vuelven amarillentos y se marchitan, o tiene lugar la caída del fruto de forma prematura. Los picudos adultos se alimentan de frutos y brotes de hojas. Los frutos más desarrollados permanecen en la planta, dando por resultado la contaminación del cultivo. Otra consecuencia importante de esta plaga es que los orificios creados en los frutos favorecen la penetración de hongos como *Alternaria alternata* (Fries) Keissler.

Minador de las hojas

***Liriomyza trifolii* (Burgess) (Diptera: Agromyzidae)**

Descripción. Los huevos son de forma ovalada y pequeños, miden aproximadamente 1.00 mm de largo y 0.2 mm de ancho, al principio son claros traslúcidos y posteriormente se tornan grisáceos. La larva pasa por 3 estadios larvales, alcanza una longitud de 2.25 mm, al principio las larvas son incoloras, después adquieren un tono verdoso y finalmente amarillo, presenta esqueleto céfalo-faringeal evidente en todos los estadios. La pupa de forma cilíndrica, ligeramente aplanado ventralmente de 1.3 a 2.3 mm de largo y 0.5 a 0.75 mm de ancho, su color varía de naranja a amarillo pálido, a menudo se oscurece, toma un tono marrón dorado (Parella, 1987). El estado adulto presenta combinación de colores: amarillo con negro, frente y órbitas completamente amarillas, con dos pares de cerdas fronto-orbitales superiores, así como dos pares de cerdas fronto-orbitales inferiores, dos pares de cerdas verticales que emergen sobre una cutícula color amarilla, la antena presenta todos sus segmentos amarillo brillante, en ambos sexos los ojos son glabros, el mesonoto presenta 3+1 pares de cerdas dorsocentrales, también se observan cuatro hileras de sedas, las alas del macho tienen una longitud de 1.25 mm, mientras que la hembra mide 1.46 mm, la vena costa se extiende hasta la M_{1+2} en ambos sexos.

Los huevecillos son depositados en la parte media de la planta, tanto en la parte adaxial como abaxial de la superficie de las hojas, el adulto parece evitar las hojas inmaduras. Insectos altamente polífagos. La larva vive en la minería de las hojas, pasan por tres instares larvales. Una vez completamente desarrolladas, la larva corta a media luna la parte superior de la epidermis de las hojas, y se escapa, generalmente pupa en el suelo, en el caso de una infestación severa, el pupario puede permanecer en la

hoja cerca de la entrada de la galería. La duración del ciclo varía en función de la temperatura y de la planta huésped. La fase larval del ciclo es muy breve en la temperatura óptima: 4 días a 30 °C y 7 a 8 días a 20 °C. Los adultos pueden vivir de 5 a 30 días, las hembras viven más que los machos. La temperatura óptima está alrededor de los 25 °C.

L. trifolii difiere en que tiene el tórax cubierto de pelos traslapados que le proporcionan un color gris plateado; la porción de la cabeza detrás de los ojos es amarilla. Estas especies tienen una actividad similar: insertan los huevecillos en las hojas y las larvas se alimentan entre las superficies de las hojas, lo que crea una mina u horadación sinuosa. Los huevecillos, de cerca de 0.2 mm de largo, son en ocasiones visibles a través de la epidermis superior de la hoja. Las larvas amarillentas y las pupas marrones, semejantes a semillas de estas especies, son muy similares y difíciles de distinguir en el campo.

La máxima emergencia de los adultos ocurre antes del medio día, los machos emergen primero que las hembras, el apareamiento puede presentarse 24h después y una sola cópula es suficiente para fertilizar a todos los huevecillos, después de este evento la hembra hace picaduras en las hojas del hospedero provocando heridas que sirven para ovipositar, aunque también provoca heridas para su alimentación, en ambos casos utiliza su ovipositor, los huevos son depositados bajo la superficie de las hojas, el número varia dependiendo de la temperatura y de la planta hospedera.

Los adultos viven máximo entre 13 y 18 días, los machos solo de 2 a 3 días, posiblemente porque se alimentan menos que las hembras, ya que son incapaces de generar picaduras en los tejidos vegetales.

Daños. El adulto hembra causa daños al alimentarse del mesófilo de los folíolos y ovipositar. Las larvas al alimentarse originan galerías o minas en la hoja. Esto puede causar un daño al aspecto del cultivo, las hojas se secan o incluso se caen prematuramente. Esto último puede afectar a la cosecha. Las hembras adultas realizan picaduras en la hoja, de las que se alimentan. Esto causa un daño al aspecto de la planta. Se produce un daño indirecto cuando hongos o bacterias contaminan estas picaduras de alimentación.

***Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae)**

Descripción. Huevecillos miden aproximadamente 0.6 mm de longitud por 0.3 mm de ancho, son de forma elíptica. Los huevecillos inicialmente son de color amarillo o verde, posteriormente se tornan negros. *Ninfas* son de color verdoso al inicio, después se tornan amarillentas. Los áfidos vivíparos pasan por 4 estadios, con una duración promedio de 2.0, 2.1, 2.3 y 2.0. La tasa diaria de reproducción promedio es de 1.6 ninfas por hembra. *Adulto* su tamaño oscila entre 1.6 y 2.4 mm y son de color amarillo pálido a verde. Los áfidos alados tienen la cabeza y el tórax negro, abdomen verde amarillento. Los áfidos ápteros miden aproximadamente 1.7 a 2.0 mm de longitud, los cornículos son moderadamente grandes, apéndices pálidos.

La mortalidad de los huevecillos es bastante alta. *M. persicae* puede invernar en forma partenogenética sobre hospederos secundarios tanto silvestres como cultivados en lugares donde las temperaturas invernales lo permiten. Esta forma de reproducción (anholociclo) se ve favorecida en gran medida por el cultivo en invernadero dando lugar a sucesivas generaciones durante todo el año, casi sin interrupciones. Dada su polifagia, una gran cantidad de plantas, entre ellas crucíferas, albergan poblaciones poco numerosas de áfidos que se reproducen durante la temporada otoño-invierno y desde las cuales pueden expandirse y colonizar otros vegetales en la siguiente estación. Completa su ciclo de vida de 10 a 12 días, pasa por 20 generaciones anuales. La reproducción está directamente relacionada con la temperatura. Las hembras primero generan áfidos ápteros, los machos son atraídos por hembras

ovíparas por medio de feromonas. La hembra ovípara deposita de 4 a 13 huevecillos. La hembra ovípara tiene un rango entre 1.5 a 2.0 mm de longitud y es de color rosado (Capinera, 2005).

Daños. Se alimentan punzando las hojas y succionando la savia. Como resultado, las hojas se enrollan hacia abajo y se arrugan; prosigue el marchitamiento y la decoloración de la hoja. El daño es más frecuente en las hojas jóvenes del centro de la planta. Su acción ocasiona la reducción de la calidad y de la cantidad del fruto. Las plantas gravemente infestadas se vuelven de color café y mueren. Los áfidos tienden a extenderse rápidamente de un cultivo a otro transmitiendo una variedad de enfermedades virales entre las que se incluyen varios tipos de mosaico.

***Frankliniella occidentalis* Pergande (Thysanoptera: Thripidae)**

Descripción. Huevecillos de tono amarillo no se pueden ver ya que son depositados en el tejido de la planta. Adultos insectos alados, de 1.5 mm de largo, sus ojos tienen un pigmento rojo. El color de la hembra varía de amarillo hasta café oscuro, mientras el macho siempre es de color amarillo pálido. Las larvas pasan por 2 estadios, 1º pequeño, de color blanco o amarillo pálido; 2º tamaño parecido al de los adultos y amarillo dorado. Las hembras insertan los huevos de forma aislada dentro de hojas, pétalos flores y tallos. Estadios ninfales inmóviles preferentemente en el suelo. El ciclo de vida depende de la temperatura. Los trips se desarrollan más rápido a 30 °C. Gran rapidez de desarrollo, a una temperatura de 25 °C, el tiempo transcurrido en completar un ciclo es de 13 a 15 días.

Daños. En el envés de las hojas aparecen manchas pequeñas, generalmente angulares y húmedas al principio, que luego se hacen circulares e irregulares, con márgenes amarillos, translúcidas y centros pardos posteriormente apergaminados. Las hojas severamente afectadas con manchas pueden amarillear y caerse. En el tallo se forman pústulas negras o pardas y abultadas. Los trasplantes infectados en el campo normalmente pierden todas las hojas a la vez, menos las superiores. Transmite el virus del bronceado del tomate, conocido como TSWV, el cual ocurre en regiones templadas y subtropicales. *F. occidentalis* es el principal y más eficaz vector del virus del bronceado del tomate (*Tomato spotted wilt virus*, TSWV), el virus es un tospovirus de la familia Bunyviridae. Los tospovirus tienen partículas casi esféricas de 85 nm de diámetro con una envuelta lipoprotéica, el virus es transmitido por insectos de la familia Thripidae, en particular por *F. occidentalis* (Adam y Kegler, 1994).

El virus se reconoce mejor por los síntomas del fruto. Tanto el fruto verde y como el rojo pueden ser infectados. En el fruto verde (inmaduro), aparecen pequeñas manchas irregulares. El fruto rojo exhibe manchas redondas de color amarillo que nunca se vuelven rojas. Otros síntomas del fruto son manchas cloróticas y necróticas, en ocasiones anillos concéntricos y la deformación. Los síntomas foliares son: anillos cloróticos/necróticos y líneas sinuosas de color más claro sobre el fondo verde. Las plantas infectadas en una etapa temprana se atrofian severamente. Particularmente problemático en producción en invernadero (Vargas y Ubillo, 2005).

En el Cuadro 1, se presentan las plagas encontradas en hortalizas y cucurbitáceas, dependiendo del cultivo. Así como un listado de los insecticidas biorracionales que se utilizan actualmente para su control (Cuadro 2), su dosis, número de aplicaciones y su disponibilidad en el mercado.

Cuadro 2. Biorracionales para el control de plagas de hortalizas y cucurbitáceas.

Plagas	Insecticida biorracional	Dosis	Mortalidad (%)	Cultivo	Distribuidor	País
<i>B. argentifoli</i>	Sunspray® (aceite mineral)	0.5-2.0% (vol. vol)	Adultos: 85.0 LC ₅₀ = 0.29 g i.a/L LC ₉₅ = 1.18 Huevecillos: 63.6 Ninfas jóvenes: >90 LC ₅₀ = 0.032 LC ₉₅ = 0.594	Invernadero (tomate)	Safer Incorporated Newton, MA	Florida, E.U.A. (Tong and Stansly, 1995)
	<i>B. bassiana</i>			Invernadero (melón)	(Mycotech, Butte, MT)	Florida, E.U.A. (Tong and Meister, 2001)
	Mycotrol WS	1.12 kg i.a/ha	3 adultos/hoja			
	Naturalis-L +	1.12 kg i.a/ha			Troy Bioscience, Phoenix, AZ)	
	Imidacloprid (Admire®)	0.14 kg i.a/ha				
	Jabón líquido			Invernadero (nochebuena)		México (Martínez-Fernández <i>et al.</i> , 2009)
	Dial®	2%	92.63			
	Bifenthrin Talstar® + Dial®	0.12 g i.a/ha	95.93			
	Azadiractina	1, 3 y 5 días de edad	100	Invernadero (tomate)	NeemAzal-T/S™	Alemania (Kumar and Poehling, 2007)
	Abamectina		100			Brasil (Valle-Pinheiro <i>et al.</i> , 2009)
	Nim (aceite)	0.2%	95.5 (2o. estadio)	Laboratorio (frijol)		
<i>B. cockerelli</i>	Azadiractina (3.2%)	31.2 g/L	14 (adultos)	Laboratorio	Plant Health Care®	México (Luna-Cruz <i>et al.</i> , 2011)
	Spinosad (1.2%)	120.0 g/L	32 (adultos)		Dow AgroScience®	
	Imidacloprid (30.2%)	350.0 g/L	100 (adultos)		Bayer®	
	Abamectina (95%)	18.0 g/L	100 (ninfas y adultos)		Syngenta Agro®	
	<i>Annona muricata</i> L.	2500 mg/L	98 (ninfas)	Laboratorio		México (Flores-Dávila <i>et al.</i> , 2011)
	Azadiractina	5000 mg/L	100			
		2500 mg/L	91			
		5000 mg/L	100			
<i>L. trifolii</i>	Semillas nim	2%	58 (larvas)	Laboratorio (plantas frijol)	Neem Azal-S	Egipto (Dinetti <i>et al.</i> , 1995)
			sobrevivencia			
<i>P. operculella</i>	Virus de la granulosis +	10 ⁵ CO/mL		Laboratorio		Brasil (Mascarin <i>et al.</i> , 2012)
	DalNeem™	8 mg/L	91.4		Dalquin industria e Comercio Ltda., Itajaí, SC, Brasil	
	NeemAzal™	8 mg/L	85.3		Trifolio-M GmbH, Lahnau, Germany	
<i>M. persicae</i>	Acetates			Laboratorio (chile)		España (López <i>et al.</i> , 2003).
	Mineral Sunspray®	1.5%	90.2		Agrichem S. A.	
	Soya		74.6			
	Colza		89.4			
	Pescado		88.0			
	Acete de colza (Ogriol®)	920 g/L (2% v/v)	97 (7-14 d) 86.9 (8 d)	Campo (chile) Invernadero (chile)	Pinus TKI, Slovenia	Serbia (Marcic <i>et al.</i> , 2009)
<i>F. occidentalis</i>	Spinosad (Conserve®)	48-60 mg/L	98-100	Invernadero (Pepino)	Dow AgroScience®	Canadá
	Endosulfan (Thiodan®)	50-1500 mg i.a/L	7-51 (larvas y adultos)		Bayer CropScience®	(Jones <i>et al.</i> , 2005)

i.a = Ingrediente activo, CO = Cuerpos de oclusión.

Plagas secundarias

González y García (2010 a, b, c) han confirmado la presencia de *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidóptera: Noctuidae), *Trichoplusia ni* Hübner (Lepidóptera: Noctuidae), *Agrotis ipsilon* (Hufnagel) (Lepidóptera: Noctuidae), *Estigmene acrea* (Drury) (Lepidóptera: Arctiidae), *Epitrix cucumeris* Harris (Coleóptera: Chrysomelidae), *Diabrotica balteata* Le Conte (Coleóptera: Chrysomelidae), *Empoasca fabae* Harris (Homóptera: Cicadellidae), *Macrosiphum euphorbie* Thomas (Homóptera: Aphididae), *Aphis gossypii* Glover (Homóptera: Aphididae), *Lygus lineolaris* (Palisot de Beauvois) (Homóptera: Miridae).

Estas plagas son secundarias, dependiendo del cultivo y de la densidad poblacional de la plaga, aunque su estatus puede cambiar si superan el umbral de daño económico y de algunos otros factores como: temperatura, precipitación, etc.

Cuadro 1. Principales insectos plaga en hortalizas y cucurbitáceas en el Norte de Sinaloa.

Cultivo	Plaga
Papa, chile, tomate, tomatillo, calabacita, sandía, pepino	Mosquita blanca
Papa	Palomilla de la papa
Tomate, chile, sandía	Gusano soldado
Chile	Picudo del chile
Chile, tomate, papa, tomatillo	Paratrioza
Papa, chile, tomate, tomatillo, calabacita, sandía, pepino	Áfido del duraznero
Papa, chile, tomate, tomatillo, calabacita, sandía, pepino	Trips de las flores
Papa, chile, tomate, tomatillo, calabacita, sandía, pepino	Minador de las hojas
Papa	Pulgón del algodón o del melón

Biorracionales

Mosquita blanca

En relación a mosquita blanca el biorracional que más se ha estudiado es el aceite de neem, debido a sus atributos antiecdisteroidales, siendo mas efectivo en los primeros estadios ninfales (I-III, a una conc. del 1%), a los 2-5 días después de la aplicación, las ninfas del IV estadio presentan menor susceptibilidad al aceite de neem debido probablemente a su capa cuticular, la cual no permite el contacto con las hojas donde se aplica éste producto, o debido a que éste estadio se alimenta solo en el primer subestadio y estas presentan 3 subestadios, evitando el efecto del aceite por ingestión (Valle-Pinheiro *et al.*, 2009).

Se han utilizado diferentes formulaciones de azaridactina, líquida (neema®) y en forma de pellets (neema-plus®) para el control de mosquita blanca, cuando larvas de mosquita blanca fueron alimentadas en laboratorio con 5 o 10 mg/mL de estos productos se redujo la oviposición, eclosión de huevecillos y emergencia de adultos (23.1, 53.2 y 26.6%, respectivamente), siendo más efectivos los productos formulados que el extracto sin formular (Mar *et al.*, 2010).

Para el control de mosquita blanca en México se han utilizado diferentes tipos y formulaciones de jabones con resultados satisfactorios, entre ellos New Day®, con éste producto la DL₅₀ en tomate fue de 0.076%; Áviles (1996) evaluó Vel Rosita® a dosis de 2.0 l/ha, Foca® 1.5 kg/ha y Suavitel® 2.0 l/ha con mortalidades de 63.12%, 56.6% y 53.65%, respectivamente, también en tomate. También se ha

utilizado: Tide® (90.7%), Palmolive® (87.36%), Tepeyac® (87.21%) y Zote® (83.61%) (Martínez-Fernández *et al.*, 2009).

El aceite mineral (Sunspray®) es persistente y altamente tóxico a todos los estadios ninfales de mosquita blanca; sin embargo, éste tipo de aceite (ultra fino) causa mortalidad en insectos benéficos como *Crysoperla rufilabris* Burmeister y *Encarsia pergandiella* Howard (Tong y Stansly, 1994).

Paratrioza

Se ha utilizado el extracto natural de la guanábana *Annona muricata* L., la cual ha resultado efectivo para el control de ninfas de *B. cockerelli* con altos porcentajes de mortalidad (98% a dosis de 2500 mg/L), además puede utilizarse papaya *Carica papaya* L., flor verde de pascua *Euphorbia dentate* Michx, tuya occidental *Thuja occidentalis* L., jaboncillo *Sapindus saponaria* L., y neem *Azadirachta indica* A. Juss. (Flores-Dávila, *et al.*, 2011).

Otros extractos que se han utilizado son: *Ambrosia artemisiifolia* L., *Melia azedarach* L., *Ricinus communis* L., y *Raphanus raphanistrum* L., así como los productos comerciales: Spintor 12SC (Spinosad) y la formulación BioDie (acaricida botánico) para el control de *B. cockerelli*, extraídos mediante maceración alcohólica, los mejores tratamientos fueron *M. azedarach* y *R. communis*, alcanzando un 80 % de efectividad para ninfas del V estadio y presentando una efectividad biológica de 90 y 100 % para ninfas de IV instar, respectivamente. Para ninfas de IV estadio los mejores tratamientos a dosis bajas (80 %) fueron Spintor 12SC con un 88.85 % y BioDie con un 86.02 % y a dosis alta (100 %) con un 92.5 % y 90 % de mortalidad, respectivamente; por lo que estos productos comerciales se pueden utilizar para el manejo del estadios ninfales de *B. cockerelli*. En estado adulto estos productos presentaron un 95 y 82.5 % para la dosis alta y dosis baja, resp. (Granados-Echegoyén, 2010).

El biorracional azaridactina (14%) y los insecticidas sistémicos como: spinosad (32%), imidaclopid (100%) y abamectina (100%) han resultado tóxicos para adultos de *B. cockerelli*, pero también para su parasitoide *Tamarixia triozae* (Burks) (Hymenoptera: Eulophidae), abamectina (100%), spinosad (90%), dependiendo de la dosis, causando reducciones en la emergencia, incluyendo a la azaridactina (12%). Se observó que las ninfas del psílido fueron más tolerantes a los insecticidas que los adultos y la toxicidad se incrementó cuando los insectos se sumergieron directamente en los productos. De acuerdo a la International Organization of Biological Control IOBC, la abamectina y el spinosad fueron los productos más tóxicos (categoría 3), mientras imidaclopid y azadiractina presentaron niveles bajos de toxicidad (categoría 1) (Luna-Cruz *et al.*, 2011).

Para el control de paratrioza se ha usado además aceite mineral, pero los resultados de mortalidad han sido bajos al compararlos con insecticidas sistémicos como la abamectina y la bifentrina (+ aceite) con mortalidades superiores a 80%; los aceites minerales presentan efectos repelentes y reducen la oviposición de *B. cockerelli* sobre tomate, en conjunto con la azaridactina pueden ser efectivos cuando se usan en combinación con otros agentes de control biológico dentro de un MIP (Page, *et al.*, 2011).

Palomilla de la papa

Cuando se utiliza el virus de la granulosis en combinación con neem, la mortalidad de larvas de *P. operculella* es directamente proporcional a la concentración de ambos productos, la mortalidad fue alta cuando se aplicó DalNeem™ (4 mg/L) con el virus de la granulosis (10^4 CO/mL), que cuando fueron aplicados de manera individual, esto debido probablemente a el insecto hospedero, a la concentración del ingrediente activo, al tipo y composición del producto formulado, siendo más efectivo cuando el neem es formulado en talco que en suspensiones acuosas, combinado con concentraciones bajas o medias del virus (Mascarín, *et al.*, 2012).

Minador de las hojas

Al usar semillas de neem (1 y 2% del producto Neem Azal-S), éste causa malformaciones en pupas de *L. trifolli*, y cuando se usan concentraciones bajas (0.5, 0.25 y 0.125%) no causa malformaciones, pero retarda la emergencia de adultos (Dimetry *et al.*, 1995).

Áfidos

Para áfidos se utilizan diferentes aceites, entre los que destacan el de soya, colza, pescado y el aceite mineral (Sunspray®, sol. conc. 85% p/v) siendo el más efectivo; el principal modo de acción de los aceites es por asfixia, teniendo además la ventaja de ser de origen natural, lo cual brinda protección a los cultivos, en áfidos alados se ha observado que estos evitan alimentarse de cultivos tratados con aceites, esta repelencia fue más táctil que olfativa (López *et al.*, 2003).

En pruebas de campo el aceite de colza ha sido un pesticida eficiente para el control de *M. persicae* (>97%), así como en invernadero (89.6%), así mismo éste aceite no permite que el áfido transmita el virus del mosaico del pepino en chile, es recomendable utilizar éste aceite 1%) con bajas dosis de imidacloprid (a 1/5 de la dosis recomendada por el fabricante) para reducir la presión de selección y bajar la evolución de la resistencia (Marcic *et al.*, 2009).

Lowery *et al.* (2005) evaluaron la toxicidad que pudiera tener el extracto y el aceite de neem (semilla), a tres concentraciones (0.5, 1.0 y 2.0%) hacia los enemigos naturales de *M. persicae*, aplicados tópicamente, el cual en laboratorio redujo la eclosión de adultos de *Coccinella undecimpunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae) y la de adultos de sírfidos, la velocidad de parasitismo de *Diaretella rapae* McIntosh (Hymenoptera: Braconidae) a *M. persicae* no fue afectada, pero la emergencia de parasitoides adultos de las momias del áfido (parasitadas) se redujo significativamente, en campo el producto no tuvo efectos negativos en el número de áfidos parasitados.

Trips

Cuando se aplicó spinosad (Conserve®) y endosulfán (Thiodan), por contacto directo y residual, estos productos fueron moderadamente tóxicos a *Orius insidiosus* Say (Hemiptera: Anthocoridae) (51-75%), enemigo natural de *F. occidentalis*, y altamente tóxicos para el parasitoide *Encarsia formosa* Gahan (Hymenoptera: Aphelinidae) (>75%), por lo que pueden ser utilizados con reservas dentro de un manejo integrado de trips en pepino establecido en invernadero, es importante rotar los productos usados cada 4 a 6 semanas (Jones *et al.*, 2005). En Canadá aún no está registrado el uso de spinosad en invernaderos, por lo que en nuestro país se deberían adoptar estas mismas recomendaciones cuando los productos no son completamente seguros a enemigos naturales.

CONCLUSIONES

En este trabajo se encontró que existen siete plagas primarias y diez plagas secundarias de 4 cultivos de hortalizas y 3 de cucurbitáceas en la región Norte de Sinaloa.

La elección del tipo de insecticida biorracional para el combate de plagas en hortalizas y en particular en cucurbitáceas depende de la plaga, el tipo cultivo y el método de su aplicación. Al diseñar un sistema de MIP para un cultivo determinado, se debe de considerar si la plaga es primaria o secundaria y de ahí seleccionar los productos compatibles con otros insecticidas o bien el uso de la línea de productos biorracionales que se presentan en este trabajo, esto con la finalidad de lograr controlar a una plaga en particular de manera efectiva e impactar a la vez de menor forma en sus enemigos naturales.

Por la efectividad del neem y debido a que actualmente es el extracto que más se utiliza para el control de plagas de hortalizas y cucurbitáceas, es importante fomentar su uso a partir de bio- preparados de sustancia activa en aceite o solución acuosa, este biorracional se puede preparar y usar para el control de áfidos, mosquita blanca, paratrioza, minador de las hojas, donde su éxito pudiera estar relacionado con la dosis y número de aplicaciones, así como con el tipo de semilla. De acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación de extractos alcohólicos comparándolo con los de extracción acuosa, cuando se realiza la maceración de especies vegetales con solventes de polaridad intermedia se presentan mejores porcentajes de mortalidad de insectos, esto debido a que estos productos tienen mayor arrastre de los compuestos secundarios de las especies vegetales.

El presente trabajo es una contribución al conocimiento de las plagas primarias y secundarias de estos cultivos y de los biorracionales que se pueden utilizar para su control en el Norte de Sinaloa.

LITERATURA CITADA

- Adam, G., Kegler, H. 1994. **Tomato spotted wilt virus and related tospovirus (Abstr.)**. Archives of phytopathology and Plant Protection. 28(6): 483-504.
- Áviles, J. M., 1996. **Evaluación de diferentes jabones para el control de mosquita blanca en el cultivo de tomate en el Valle de Culiacán, Sinaloa**. V Taller Latinoamericano sobre moscas blancas y geminivirus. Acapulco, Gro. México. 102 p.
- CABInternational. 2000. **Crop protection compendium**. Wallingford. UK: CAB International.
- Capinera, J. L. 2005. **Green peach aphid, *Myzus persicae* (Sulzer) (Insecta: Hemiptera: Aphididae)**. Institute of Food and Agricultural Sciences, Universidad de Florida. EENY222. 1-10 pp.
- Capinera, J. L. 2008. **Pepper weevil, *Anthonomus eugenii* Cano (Insecta: Coleoptera: Curculionidae)**. Institute of Food and Agricultural Sciences. Universidad de Florida. EENY-278 (IN555). 1-6 pp.
- CESAVESIN, 2010. **4ta. Megaconvención internacional en sistemas de producción agrícola**. (En línea). Disponible en: <http://www.cesavesin.gob.mx/mega/invitacion.pdf>.
- Bautista, M. N. y G. Vejar C. 1998. **Lepidópteros más comunes en las hortalizas**. En: *Plagas y enfermedades de las hortalizas en México*. Editorial Trillas, México.
- Becerra, A. F. 1989. **Biología de *Paratrioza cockerelli* (Sulc.) y su relación con la enfermedad permanente del tomate en el Bajío**. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Querétaro. Ciencias Químicas. 55 p.
- Borror, D. J.; De Long, D. M.; Triplehorn, C. A. 1954. **An introduction to the study of insects**. Holt, Rinehart and Wilson. New York.
- Borror, D.; D. DeLong and C. Thriplehorn. 1989. **An introduction to study of insects**. New York, Saunders College Publishing, 6th ed., 827p.
- Butler, C. D., F. Byrne., M. Karemane., R. F. Lee., T. Trumble. 2011. **Effects of Insecticides on Behavior of Adult *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae) and Transmission of *Candidatus Liberibacter psyllae***. J. Econ. Entomol. 104(2): 586-594.
- Byerly M. K., Martínez-Carrillo, J. L. y Nava-Camberos, U. 1998. **Manejo integrado de plagas**. En: *Temas selectos para el manejo integrado de la mosquita blanca*. Memoria científica. No. 6. México. INIFAP-SAGAR. 155 p.
- Dimetry, N. Z., A. A. Bakar., E. F. Abdalla., H. E. El-Metwallya and M. E. Abd El-Salam. 2011. **Evaluation of two neem seed kernel extracts against *Liriomyza trifolii* (Burg.) (Dipt. Agromyzidae)**. Anz. Schidlingskde., Pflanzenschutz, Umwehchutz 68, 39-41.
- Eller F. J., Bartelt R. J., Shasha B.S., Schuster D.J., Riley D.G., Stansly P.A., Mueller T.F., Shuler K.D., Johnson B., Davis J.H., Sutherland C.A. 1994. **Aggregation pheromone for the pepper weevil, *Anthonomus eugenii* Cano (Coleoptera: Curculionidae): identification and field activity**. Journal of Chemical Ecology. 20: 1537-1555.
- Esparza-Díaz, G., J. López-Collado, J. A. Villanueva-Jiménez, F. Osorio-Acosta, G. Otero-Colina, E. Camacho-Díaz. 2010. **Concentración de azadiractina, efectividad insecticida y fitotoxicidad de cuatro extractos de *Azadirachta indica* A. Juss.** Agrociencia. 44: 821-833.

- Félix-Gastelum, R., M. A. Apodaca-Sánchez., M. del C. Martínez-Valenzuela., S. Espinosa-Matías. 2005. **Podosphaera (Sect. Sphaerotheca) Xanthi (Castagne) U. Brawn y N. Schishkoff en cucurbitáceas en el Norte de Sinaloa, México.** Revista Mexicana de Fitopatología. 23(2): 162-168.
- Flores-Dávila, M., R. González-Villegas., E. Guerrero-Rodríguez., R. Mendoza-Villarreal., A. Cárdenas-Elizondo., E. Cerna-Chavez and Luis Aguirre-Urbe. 2011. **Insecticidal effect of plant extracts on *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Psyllidae) nymphs.** Southwestern Entomologist. 36 (2): 137-144.
- Garzón-Tiznado, J. A. 2002. **Asociación de *Paratrioza cockerelli* Sulc. con enfermedades en papa (*Solanum tuberosum*) y tomate (*Lycopersicon lycopersicum* Mill). Ex. Fawnl) en México.** In: *Memoria del Taller sobre Paratrioza cockerelli (Sulc.) como plaga y vector de fitoplasmas en hortalizas.* Culiacán, Sinaloa, México. pp: 79-87.
- Garzón-Tiznado, J. A., O. G. Cárdenas-Valenzuela., R. Bujanos-Muñiz., A. Marín-Jarillo, A. Becerra-Flora., S. Velarde-Félix., C. Reyes-Moreno., M. González-Chavira y J. L. Martínez-Carrillo. 2009. **Asociación de Hemiptera: Triozidae con la enfermedad permanente del tomate en México.** Agric. Téc. Méx. 35(1): 61-72.
- Granados Echegoyén, C. A. 2010. **Alternativas biorracionales para el control de paratrioza *Bactericera cockerelli* Sulcer (Hemiptera: Psyllidae) en laboratorio.** Tesis de maestría en conservación y aprovechamiento de recursos naturales. CIIDIR-IPN Unidad Oaxaca. 95 p.
- González-Hernández, A., and Woolley, J. B. 2001. **Identificación y distribución de los géneros de Encyrtidae (Hymenoptera: Chalcidoidea) en México.** Universidad Autónoma de Nuevo León.
- González-Hernández, A., Wharton, R. A., Sánchez-García, J. A., López-Martínez, V., Lomelí-Flores, J. R., Figueroa de la Rosa, I., y Delfín-González, H. 2003. **Catálogo ilustrado de Braconidae (Hymenoptera: Ichneumonoidea) en México.** Universidad Autónoma de Nuevo León. ISBN 970-694-114-2.
- González-Maldonado, M. B., C. García Gutiérrez. 2011a. **Insectos plaga y entomófagos asociados a sandía, pepino y calabacita en el Norte de Sinaloa.** XXXIV Congreso Nacional de Control Biológico. 9-11 de Noviembre del 2011, Monterrey Nuevo León.
- González-Maldonado, M. B., C. García Gutiérrez. 2011b **Monitoreo de insectos vectores asociados a enfermedades de cultivos de hortalizas en el Norte de Sinaloa.** XLVI Congreso Nacional de Entomología. 26-29 de Junio del 2011, Riviera Maya Cancún Quintana Roo. 366-369 pp.
- González-Maldonado M. B., C. García Gutiérrez. 2011c. **Principales insectos plaga en papa *Solanum tuberosum* L. en el Norte de Sinaloa.** XVI Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas, A. C. 10 al 14 de Abril del 2011. Culiacán, Sinaloa. 222 p.
- González-Maldonado M. B. y C. García Gutiérrez. **Principales insectos plaga en tomate *Lycopersicon esculentum* Mill cultivado en el Norte de Sinaloa.** 2011d. XVI Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas, A. C. 10 al 14 de Abril del 2011. Culiacán, Sinaloa. 147 p.
- Jones, T., C. Scott Dupree., R. Harris., L. Shipp and B. Harris. 2005. **The efficacy of spinosad against the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*, and its impact on associated biological control agents on greenhouse cucumbers in southern Ontario.** Pest Manag Sci. 61:179-185.
- Kumar, P. and H. M. Poehling. 2007. **Effects of azadirachtin, abamectin, and spinosad on sweetpotato whitefly (Homoptera: Aleyrodidae) on tomato plants under laboratory and greenhouse conditions in the humid tropics.** Journal of Economic Entomology 100(2):411-420.
- Lowery, D. T., M. B. Isman. 1995. **Toxicity of neem to natural enemies of aphids.** Phytoparasitica. 23(4): 297-306.
- Luna-Cruz, A., J. R. Lomeli-Flores., E. Rodríguez-Leyva. 2011. **Toxicidad de cuatro insecticidas sobre *Tamarixia triozae* (Burks) (Hymenoptera: Eulophidae) y su hospedero *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae).** Acta Zoológica Mexicana (n.s.). 27(3): 509-526.
- Mar, L. O., S. Jae Kyoung., K. Jang-Eok., L. Kyeong-Yeoll. 2010. **Effects of azadirachtin and neem-based formulations for the control of sweetpotato whitefly and root-knot nematode.** J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem. 53(5), 598-604.
- Marcic, D., P. Reric., M. Prijovic., I. Ogurlic. 2009. **Field and greenhouse evaluation of rapeseed spray oil against spider mites, green peach aphid and pear psylla in Serbia.** Bulletin of Insectology. 62 (2): 159-167.
- Mascarín, G. M., I. Delalibera. 2012. **Insecticidal activity of the granulosis virus in combination with neem products and talc powder against the potato tuberworm *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae).** Neotrop Entomol. 9 p.

- Martínez-Fernández, E., J. C. García-Montalvo., P. Martínez-Jaimes, A. Alvear- García. 2009. **Efecto de algunos productos sobre las ninfas de mosquita blanca (*Trialeurodes vaporariorum* Westwood) en plantas de nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Willd. Ex Klotzch.** Investigación Agropecuaria. 6(2): 228-232.
- Montealegre-Lara, A. L. 1996. **Situación actual de la mosca blanca en México.** En: Simposium de Control Biológico de Mosquita Blanca y 19 Congreso Nacional de Control Biológico 1996, Culiacán, Sinaloa, México. Memorias. 1-33 pp.
- Ramírez-Villapudua J. 2006. **Manejo Integrado de la mosquita blanca de la hoja plateada.** Agrobiologica S.A de C.V. Producción y comercialización de productos orgánicos. <http://www.agrobiologica.com/template2/noticias.htm?process=d%B4%C4%BF%BD%7FVd%60>
- O' Farrill, N. H. 2008. **Insecticidas biorracionales.** (En línea). Disponible en: <http://academic.uprm.edu/ofarrill/HTMLobj-323/biorational.pdf>.
- Page, W., L. E. Jamieson., A. Chhagan., P. G. Connolly., C. Curtis. 2011. **Efficacy of insecticides against the tomato/potato psyllid (*Bactericera cockerelli*).** New Zealand Plant Protection. 64: 276-281.
- Parella, M. 1987. **Biology of Liriomyza.** Ann. Rev. Entomol. 32:201-224.
- Peña-Martínez, R. 1992. **Biología de áfidos y su relación con la trasmisión de virus.** pp. 11-35. In: Urias, M. C., R. Rodríguez-M. y T. Alejandro-A. (Eds). *Áfidos como vectores de virus en México.* Volumen 1. Contribución a la ecología y control de áfidos en México. Centro de Fitopatología.
- Tong X. L., P. A. Stansly. 1995. **Toxicity of biorational insecticides to *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) on tomato leaves.** J. Econ. Entomol. 88(3): 564-568.
- Tong X. L. and Ch. W. Meister. 2001. **Managing *Bemisia argentifolii* on spring melons with insect growth regulators, entomopathogens and imidacloprid in South Texas.** Subtropical Plant Science. 53: 44-48.
- Valle-Pinheiro, P., E. Dias Quintela., J. Pereira de Oliveira y J. C. Seraphin. 2009. **Toxicity of neem oil to *Bemisia tabaci* biotype B nymphs reared on dry bean.** Pesq. agropec. bras., Brasília, 44 (4): 354-360.
- Vargas R. M. y A. Ubillo. 2005. **Susceptibilidad de *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) a insecticidas en la zona central de Chile.** Agricultura Técnica. Chile. 65(4):437-441.

María Berenice González Maldonado

Ingeniero Químico y Maestro en Ciencias en Ingeniería Bioquímica por el Instituto Tecnológico de Durango. Profesor Investigador Titular del CIIDIR-IPN Unidad Durango, líneas de investigación: Control biológico de plagas agrícolas, Producción de bioinsecticidas y Entomología agrícola. Responsable del laboratorio de Entomología.

Cipriano García Gutiérrez

Licenciatura en Biología por la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN y Maestría en Ciencia en Entomología y Acarología por el Colegio de Posgraduados. Doctor en Ciencias en Ingeniería Bioquímica con especialidad en Biotecnología. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel II y miembro honorífico del Sistema Sinaloense de Investigadores. Profesor Investigador Titular en el Dpto. de Biotecnología Agrícola del CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa.

Ra Ximhai

Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo
Sustentable

Ra Ximhai
Universidad Autónoma Indígena de México
ISSN: 1665-0441
México

2012

INSECTICIDAS BIORRACIONALES PARA EL CONTROL DE MOSQUITOS Y MOSCAS NEGRAS EN SINALOA

Cipriano García-Gutiérrez; Rosa L. Gómez-Peraza; Claudia E. López Aguilar y
Arturo León-Váldez

Ra Ximhai, septiembre - diciembre, año/Vol. 8, Número 3
Universidad Autónoma Indígena de México
Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. pp. 47-55.



e-revist@s

INSECTICIDAS BIORRACIONALES PARA EL CONTROL DE MOSQUITOS Y MOSCAS NEGRAS EN SINALOA

BIORATIONAL INSECTICIDES FOR CONTROL OF MOSQUITOES AND BLACK FLIES IN SINALOA

Cipriano **García-Gutiérrez**¹; Rosa L. **Gómez-Peraza**¹; Claudia E. **López Aguilar**²; Arturo **León-Váldez**²

¹Profesor investigador, ²Técnico de laboratorio. Departamento de Biotecnología Agrícola. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR-IPN, COFAA) Unidad Sinaloa. Boulevard Juan de Dios Bátiz Paredes #250, Guasave, Sinaloa. Teléfonos: 687 8729625 y 8729626. garciaciprian@hotmail.com.

RESUMEN

En Sinaloa México la presencia de mosquitos es un problema importante de salud, ya que cada temporada de primavera-verano se presentan diversas especies entre las que destacan: *Aedes aegypti* (Linneus), *Anopheles albimanus* (Wiedemann), *Culex quinquefasciatus* (Say) y moscas negras de la familia Simuliidae. El combate de larvas y adultos de estos insectos se realiza comúnmente con insecticidas químicos, por lo que el uso de insecticidas biorracionales para el control de estos insectos es novedoso, debido a que tienen un bajo impacto en el ambiente. En este trabajo se dan a conocer a los diferentes insecticidas biorracionales y su efecto biológico (inhibidor, repelente, larvicida, adulticida) que pueden ser utilizados para el combate de las diferentes etapas del desarrollo de estos insectos. Además se muestran los avances de un estudio sobre la efectividad de extractos de neem, ajo, canela, albahaca y cipermetrina a bajas dosis (0.25, 0.5 y 1ml/L) para el control de simúlidos en el municipio de El Fuerte Sinaloa. Por su modo de acción, los biorracionales que se pueden utilizar para el control de estos insectos son; el Spinosad y *Bacillus thuringiensis* (Berliner) var. *israeliensis* para larvas, y para adultos Spinosad y *Beauveria bassiana* (Vuill.); así como los extractos de ajo, neem, canela y albahaca para ambas etapas. Los resultados preliminares del estudio de efectividad de biorracionales demostraron que la aplicación de cipermetrina a bajas dosis y los extractos acuosos de las plantas, lograron bajar los índices de larvas en criaderos y la infestación poblacional de mosquitos y moscas negras en sitios turísticos, disminuyendo las molestias causadas por estos insectos en el lugar de estudio.

Palabras clave: Biorracionales, control biológico, *A. aegypti*, *A. albimanus*, *C. quinquefasciatus* y simúlidos.

SUMMARY

In Sinaloa Mexico the presence of mosquitoes is a important health problem, and each spring-summer season appear several species which include: *Aedes aegypti* (Linneus), *Anopheles albimanus* (Wiedemann), *Culex quinquefasciatus* (Say) and black flies of the Simuliidae family. The control of larvae and adults of these insects are usually performed with chemical insecticides, so the use of biorational insecticides for control of these insects is novel, due to that have low environment impact. The objective of this work is to give known to the different biorational insecticides and their biological effects (inhibitor, insect repellent, larvicide, adulticide), that can be used to combat to different development stages of these insects. As well as show the progress of a study on the effectiveness of neem extracts, garlic, cinnamon, albahaca and cypermethrin at low doses (0.25, 0.5 and 1ml/L), for control of larvae and adults of black flies in the municipality of El Fuerte, Sinaloa. By the mode of action, the biorational that can doing use for the control of these insects were: Spinosad, and *Bacillus thuringiensis* (Berliner) var. *israeliensis* for larvae control, Spinosad and *Beauveria bassiana* (Vuill.) for adults; as well as extracts of neem, garlic, cinnamon and albahaca for both stages. The preliminary results of the study showed that the effectiveness application in tourist sites, through aerial spraying of cypermethrin at low doses and the plants extracts, allow low the index of larvae and infestation of mosquitoes and black flies, decreasing the discomfort caused by these insects in the place of study.

Key word: Biorational, biological control, *A. aegypti*, *A. albimanus*, *C. quinquefasciatus* and Simulium.

INTRODUCCIÓN

En Sinaloa la presencia de mosquitos es un problema que en los últimos años se ha venido agudizando, ya que cada temporada de primavera-verano se presentan diversas especies entre las que destacan *Aedes aegypti* (Linneus), *Anopheles albimanus* (Wiedemann), *Culex quinquefasciatus* (Say) y moscas negras de la familia Simuliidae., este grupo de insectos hematófagos tiene importancia médica y pecuaria, ya que toman su alimento del hombre, otros mamíferos y aves. El principal problema es su potencial como agentes transmisores de enfermedades como la malaria, la fiebre amarilla, el dengue y algunas filariasis (Harding *et al.*, 2007). Las hembras adultas de los diferentes mosquitos son las que están implicadas en la propagación de enfermedades infecciosas (Arrivillaga y Barrera, 2004). Las características de los mosquitos vectores pueden variar de

acuerdo a las particularidades del hábitat en cada localidad. La única forma de evitar epidemias de estas enfermedades es a través del control del insecto vector, por lo que es necesario estudiar su biología, comportamiento y los principales factores ambientales que determinan su dispersión.

Importancia médica y pecuaria de los mosquitos

El principal vector para la transmisión del Dengue en América es *Aedes (Stegomyia) aegypti*, esta enfermedad presenta cuatro serotipos que se expresan en cuadros clínicos conocidos como fiebre del Dengue (DF), fiebre del Dengue hemorrágico (DH) y síndrome de choque por Dengue (SCD) (Periago y Guzmán, 2007). La especie de *A. albimanus* tiene distribución en los lugares bajos de las vertientes del Pacífico, del Golfo y en la península de Yucatán. Los criaderos típicos de estos insectos se encuentran en los márgenes de lagos, lagunas y pequeños arroyos. Por otro lado, dentro de los culícidos la especie más importante es *C. quinquefasciatus*, considerada como un mosquito peri-doméstico adaptado para desarrollarse en aguas con alto contenido de materia orgánica.

Criaderos de mosquitos

En las zonas urbanas y suburbanas los criaderos proliferan en sitios con poco drenaje y vegetación de plantas acuáticas que emergen del agua, se encuentran presentes en gran número cuando las condiciones para el criadero son favorables. En estos lugares se lleva a cabo la fase acuática, en general para *A. aegypti* estos son producidos por el hombre y ubicados dentro o cerca de las casas, el tamaño puede variar e ir desde la tapa de un envase de refresco hasta una cisterna, pueden ser artificiales (plástico, metal, madera y cemento) o naturales (los árboles, plantas o los pequeños encharcamientos de los terrenos accidentados (Badii *et al.*, 2007).



Figura 1. Criadero de Mosquitos en el Fuerte Sinaloa.

Simúlidos o moscas negras

Los simúlidos son una familia de unas 1,200 especies en el que se encuentran los géneros *Simulium* y *Cnephia*, en el Norte de Sinaloa la especie más prolifera es *Simulium haematopotum* (Malloch) (Mc Call *et al.*, 1997a), estas son moscas pequeñas (1-5 mm) picadoras y de las cuales sólo las hembras chupan sangre (Fig. 2); los huevecillos son colocados sobre la vegetación que emerge de ríos y arroyos de corrientes de agua rápida, estos son pálidos y blanquecinos, oscurecen gradualmente de color café a negro y miden de 0,1 a 0,4 mm de largo, son de forma más o menos triangular y están rodeados por una pared lisa cubierta por una sustancia pegajosa (Rodríguez *et al.*, 2003 y Mc Call *et al.*, 1997b). La larva mide de 4 a 12 mm de largo, la cabeza es negra y el cuerpo es cilíndrico, ligeramente segmentado y de color blanquecino, pero puede oscurecer o volverse verdoso. Debajo de la cabeza tiene un pequeño pseudópodo armado con pequeños ganchos, dura de 7 a 12 días, no nada y permanece sedentaria por largos periodos sumergida en la vegetación; una

vez que emerge el adulto sube rápidamente a la superficie en una burbuja protectora de aire (Schulz, *et al.*, 1986).



Figura 2. Ciclo de vida y hábitat de *S. haematopotum*.

Métodos de control de mosquitos y moscas negras

El combate de estos mosquitos se realiza comúnmente con insecticidas químicos, siendo este el método que más utiliza la Secretaría de Salud, el Fondo Nacional al Turismo (FONATUR) y las compañías privadas, en este caso los insecticidas más utilizados son el temefos (abate) y malatión (ditiofosfato de O, O-dimetilo y de S-(1,2- dietoxicarboniletilo), los cuales se dirigen al control de larvas y adultos, respectivamente. Sin embargo, a menudo ocasionan problemas de contaminación en el ambiente y la resistencia del insecto al producto, debido a que cada vez se requieren dosis altas. Otros productos utilizados para el control de insectos vectores son: aceites de petróleo, nicotina, piretros, rotenona, azufre y diesel.

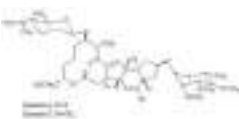
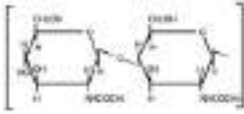
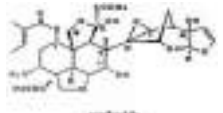
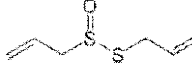
Biorracionales

Desde el punto de vista de sustancias activas, estos productos son en general derivados de microorganismos, plantas o minerales, también son moléculas sintéticas y análogas a las naturales, las cuales se caracterizan por tener algún efecto favorable en las plantas en las que se usan y un efecto desfavorable en insectos plaga y patógenos que causan enfermedades (insecticida, repelente, disuasivo, inhibición, retardo en el desarrollo) (Eiras y Resende, 2009). Pero invariablemente deben tener toxicidad muy baja toxicidad en humanos y otros vertebrados.

El estudio sobre el uso de biorracionales en el combate de estos insectos se encuentra en desarrollo, ya que mediante la elaboración de diferentes formulaciones naturales y de síntesis; diseñadas para un tipo de insecto en particular, permiten lograr su control efectivo. Por esta razón, algunos de estos productos son una alternativa para prescindir en forma gradual del uso de productos químicos (Eiras y Resende, 2009; Polack y Mitidieri, 2002).

El uso de biorracionales en la agricultura y en el control de insectos vectores se ha incrementado debido a su bajo impacto ambiental y en algunos casos estos productos constituyen la principal herramienta de control de plagas y enfermedades (García y Tamez, 2012). En este sentido es importante seleccionar cuidadosamente el producto más adecuado para solucionar cada problema de plaga.

Cuadro1: Insecticidas biorracionales para el combate de mosquitos y moscas negras.

Grupo	Biorracional	Mecanismo de Acción	Estructura Química	Etapa de Desarrollo
Grupo de Síntesis y Microbiales	a) Piretroides (Cipermetrina)	Los piretroides afectan tanto el sistema nervioso central como el periferal del insecto. Inicialmente ellos estimulan las células nerviosas a que produzcan descargas repetitivas y eventualmente causan parálisis.		Adultos de: <i>A. aegypti</i> , <i>A. albimanus</i> , <i>C. quinquefasciatus</i> y simúlidos (Guglielmone et al., 2001).
	b) Spinosad (Spinosinas A y D)	Es particularmente efectivo como material de amplio espectro, tiene actividad tanto de contacto como estomacal contra larvas.		Adultos y Larvas de: <i>A. aegypti</i> , <i>A. albimanus</i> , <i>C. quinquefasciatus</i> . (Bond, et al., 2004)
	c) <i>Beauveria bassiana</i> (Quitina)	Su modo de acción es mecánico, destruyendo la cutícula de los insectos, lo que provoca su deshidratación y absorbiendo los nutrientes del interior de sus células.		Larvas de: <i>A. aegypti</i> , <i>A. albimanus</i> , <i>C. quinquefasciatus</i> (Badii et al. 2007)
	d) <i>Bacillus thuringiensis</i> Var. israelensis (Bti), (contiene 4 toxinas Cry y 2 toxinas Cyt el plásmido pBtoxis)	Actúa causando un desequilibrio en el balance osmótico y abrasión de la pared intestinal del insecto.		Larvas de: <i>A. aegypti</i> , <i>A. albimanus</i> , <i>C. quinquefasciatus</i> y simúlidos (Lacey, 2007).
Extractos Vegetales	e) Neem (Azadirachtín)	Causa disrupción en el crecimiento y reproducción del insecto. Efecto anti-alimentario y Bloquea la Síntesis de Ecdisona		Adultos y Larvas de: <i>A. aegypti</i> , <i>A. albimanus</i> , <i>C. quinquefasciatus</i> y simúlidos (Abdelouahab et al. 2009).
	f) Ajo (Alicina)	Ajo: Actúa por ingestión, causando ciertos trastornos digestivos y el insecto deja de alimentarse.		Larvas de: <i>A. aegypti</i> , <i>A. albimanus</i> , <i>C. quinquefasciatus</i> y simúlidos (Fenwick et al., 1985).

Piretroides

Son insecticidas orgánicos sintéticos considerados venenos axónicos, compuestos por sustancias estables en presencia de luz solar y generalmente son efectivos contra la mayoría de los insectos plagas de la agricultura y se usan a dosis muy bajas, funcionan manteniendo abiertos los canales de sodio en las membranas de las neuronas; los piretroides tipo I tienen un coeficiente de temperatura negativa, en contraste en el tipo II donde hay un coeficiente de temperatura positiva, se muestra un aumento de la mortalidad con el aumento de la temperatura ambiente. Los piretroides afectan tanto el sistema nervioso central como el periferal del insecto, estimulan las células nerviosas a que produzcan descargas repetitivas y eventualmente causan parálisis. Tales efectos son causados por su acción sobre el canal de sodio, un diminuto hueco que le permite a los iones de sodio entrar al axón para causar excitación y muerte (Guglielmone et al., 2001).

Spinosad

Es un insecticida de origen natural producido por la fermentación de la bacteria actinomiceto *Saccharopolyspora spinosa*, el compuesto activo es una neurotoxina compuesta por una mezcla de las spinosinas A y D (de ahí spinosAD), los cuales son compuestos tetracíclicos de macrólidos que actúan sobre los receptores post-sinápticos de la acetilcolina nicotínica y los receptores GABA; son muy activos por ingestión y menos por contacto, han demostrado ser muy efectivos para el control de plagas de lepidópteros, dípteros, coleópteros, termitas, hormigas y trips (Williams et al., 2008).

Bacillus thuringiensis (Berliner) var. *israeliensis* (Bti)

Es una bacteria específica para mosquitos y simúlidos (Lacey, 2007). Esta bacteria forma cristales tóxicos (delta endotoxina) compuestos por varias proteínas cristalizadas (protoxinas) que son sintetizadas durante la esporulación, minutos después que las larvas ingieren a los cristales, estos reaccionan con el pH y las enzimas formando subunidades activas lo que provoca una parálisis en la pared del intestino medio, esto causa un desequilibrio en el balance osmótico y abrasión de la pared intestinal, lo que provoca la muerte de la larva un periodo de 2 a 12 horas. Su uso para el combate de estos insectos se ha incrementado en las últimas décadas debido a que no afecta a insectos benéficos, vida acuática, pájaros, vegetación, animales en general, ni tampoco al hombre, además es un buen sustituto de los larvicidas químicos convencionales (García *et al.*, 1980 y Badii *et al.*, 2007).

Hongos entomopatógenos

Uno de los hongos más importantes es *Beauveria bassiana* (Vuill.) su modo de acción es destruyendo la cutícula de los insectos y causando septicemia, es por lo tanto adecuado para reducir los riesgos de resistencia adquirida que presentan los piretroides y la bacteria *Bt*. Por otro lado, estudios recientes en laboratorio han confirmado su potencial adulticida, debido a que afectan a la reproducción y prole de mosquitos (García y Tamez, 2012).

Plantas con sustancias activas para el combate de insectos

En el Cuadro 2, aparecen algunas plantas y el efecto que tienen sus sustancias activas con propiedades insecticidas.

Neem (*A. indica*)

Es un árbol originario de la India, reconocido por sus propiedades insecticidas; suelen crecer en las zonas tropicales y subtropicales de Asia, pero hoy en día se cultiva también en regiones cálidas de México. Provoca una variedad de efectos en los insectos, tales como antialimentaria, retraso del crecimiento, reducción de la fecundidad, trastornos en la muda, defectos morfológicos y cambios de comportamiento (Gajmer *et al.*, 2002; Banchio *et al.*, 2003; Wandscheer *et al.*, 2004). Está demostrado que los extractos vegetales crudos o parcialmente purificados son mas eficaces para el control de mosquitos que los compuestos purificados o extractos (Jang *et al.*, 2002; Cavalcanti *et al.*, 2004). Las concentraciones de 0,35 mg/L de neem afectaron el desarrollo y la duración de las larvas de culícidos, también se redujo la fecundidad de las hembras y pocos adultos sobrevivieron, fue menor la duración de los estadios larvales y el tiempo de desarrollo del insecto (Abdelouaheb *et al.*, 2009).

Cuadro 2. Plantas con sustancias activas para el control de plagas y enfermedades.

Planta	Nombre común	Efecto (García y Tamez, 2012)
<i>Azadirachta indica</i> (A. Jus)	Neem	Insecticida
<i>Allium sativum</i> (L.)	Ajo	Repelente
<i>Cinnamom verum</i> (L.)	Canela	Larvicida
<i>Nicotina tabacum</i> (L.)	Tabaco	Fungicida, insecticida y repelente
<i>Ocimum basilicum</i> (L.)	Albahaca	Repelente

Ajo (*A. sativum*)

La obtención de esencias y extractos del ajo, el deshidratado, enlatado y congelación llevan a la formación de productos con diferentes características fisicoquímicas y propiedades biológicas; por ejemplo, la alicina tiene una vida media de horas hasta días en función del disolvente de extracción utilizado y del pH del medio, en condiciones ácidas la alicina, enzima responsable de la formación de alicina se inactiva, en Asia Central, se ha encontrado que en el ajo existen diferentes compuestos que presentan efectos en la actividad antimicrobiana, antiinflamatoria, antiasmática, fúngica y larvicida (Malkeja *et al.*, 1990).

Cheng *et al.* (2009) estudiaron la composición química de los aceites esenciales de hojas de seis especies de *Cinnamomun osmophloeum* (canela) junto con su actividad larvica sobre tres especies de mosquitos (*A. albopictus*, *C. quinquefasciatus* y *Armigeres subalbatus*) encontrando diferencias en la mortalidad de los insectos a las 24 y a las 48 h, el principio activo trans-cinnamaldehído presente en el aceite esencial de canela posee capacidad larvica y posee alta actividad repelente contra *Anopheles stephensi* (Liston), *A. aegypti* y *C. quinquefasciatus* (Prajapati *et al.*, 2005). También se ha reportado su eficacia contra larvas y adultos de *A. pharoensis* (Theobald) y larvas de *Musca domestica* (L), bajo condiciones controladas de laboratorio (Halim., 2008).

Tabaco (*N. tabacum*)

Es utilizado en diferentes regiones del país gracias a su acción fungicida, insecticida, repelente y acaricida; propiedades atribuidas a su principal componente; la nicotina, metabolito que actúa como una sustancia tóxica de contacto e ingestión, también se han aislado otros constituyentes como N-cafeoliputrescina, tricloroetanol. Planta de tabaco mostraron efecto insecticida contra *C. quinquefasciatus* (Say) (Pérez e Iannacone, 2008) y contra varias especies de insectos. El efecto antiparasitario del tabaco se debe a la presencia de nicotina, la cual muestra afinidad por los receptores colinérgicos-nicotínicos, a los que estimula generando parálisis sostenida y muerte (Fuentes *et al.*, 2007).

Albahaca (*O. basilicum*)

Es una planta de la familia Lamiaceae conocida popularmente como albahaca morada. Su empleo es muy común en la medicina tradicional como hipoglicemiante, antiasmático y antiinflamatorio, repelente de insectos, etc. En estudios de tamizaje fitoquímico se ha identificado la presencia de aminas, flavonoides, leuco-antocianinas, esteroides y triterpenos (Laakso *et al.* 1990).

DISCUSIÓN

Los productos biorracionales (organismos y sustancias naturales y de síntesis), mencionados en este trabajo se vislumbran como alternativas para el control de los mosquitos: *A. aegypti*, *A. albimanus*, *C. quinquefasciatus* y simúlidos. Al respecto, Guglielmone *et al.* (2001) mencionan el uso de piretroides (cipermetrina) a bajas concentraciones (1, 0.5 y 0.25 ml/L) logrando, mediante aspersiones terrestres, contrarrestar la presencia de mosquitos adultos. Resultados similares fueron observados en El Fuerte Sinaloa al dirigir aplicaciones terrestres de Cipermetrina a esta dosis, sola y en combinación con extractos de canela, ajo y albahaca, dirigidos al control de adultos y larvas en criaderos cerrados y dos sitios turísticos abiertos.

La utilización de hongos entomopatógenos dirigidos al control de adultos causa un efecto de retraso en el desarrollo y fecundidad de adultos, mismos que tienden a ser infértiles (Tamez-Guerra, 2012; com. Personal). Por lo que su uso es promisorio para implementarlo en aspersiones contra simúlidos en la misma área de estudio.

En el caso de las bacterias *Bti*, la utilización de cepas nativas y su aplicación en aguas estancadas son una buena estrategia para bajar el nivel de infestación en los criaderos de larvas de los mosquitos, tal como lo señalan García *et al.* (1980), Badii *et al.* (2007) y Williams *et al.* (2008) quienes probaron concentraciones de 0,5 a 1,5 kg/ha encontrando efectos tóxicos contra larvas de *Aedes*, culícidos y simúlidos. Por otro lado, Abdelouaheb *et al.* (2009) usaron Neem (azadiractina) a concentraciones de 0,35 y 1,28 mg/L, teniendo un efecto directo en la fecundidad de mosquitos adultos y reduciendo notablemente a la población; respecto al ingrediente activo del ajo (alicina) se tiene evidencia de que tiene efecto larvica en los mosquitos: *A. aegypti*, *A. albimanus*, *C. quinquefasciatus* y simúlidos (García y Tamez, 2012).

CONCLUSIONES

El uso de los productos biorracionales incluidos en este trabajo: Spinosad, *Beauveria bassiana* y *Bacillus thuringiensis* var. *Israeliensis*; los extractos de neem, ajo, canela y albahaca, y la cipermetrina a bajas dosis, se consideran productos efectivos, quedando por evaluar su dosis y número de aplicaciones, para lograr el control en la proliferación de mosquitos y moscas negras.

Por otro lado, dado que en Sinaloa la sequía está influyendo en la población de mosquitos, y en particular favoreciendo el aumento de la población de simúlidos, estos insectos se están destacando como un problema público de salud, por lo que a través del uso permanente y sistemático de estos productos es posible su combate evitando disminuir los problemas de picaduras y futuros riesgos epidemiológicos.

Debido a que en el período de lluvias se presenta mayor abundancia y aparición de criaderos de mosquitos, es recomendable la limpieza y eliminación de las plantas subacuáticas en las que se encuentran las larvas, aunado a la aplicación intensiva de productos biorracionales, cipermetrina a baja dosis y extractos de neem, ajo, canela y albahaca, adicionados a los cuerpos de agua estancada y mediante aspersiones aéreas o terrestres contra los adultos, como una estrategia de complemento al control biológico de estos insectos con la bacteria *Bti*.

Es importante mencionar que con algunos de los biorracionales utilizados hasta el momento en el Fuerte Sinaloa, es posible disminuir la infestación y molestias causadas por los mosquitos; no obstante, ninguno de estos productos debe aplicarse al río o agua corriente, para evitar problemas de contaminación e impacto negativo sobre organismos no blanco.

LITERATURA CITADA

- Abdelouaheb, A., Nassima R., Noureddine S. 2009. **Larvicidal activity of a neem tree extract (Azadirachtin) against mosquito larvae in the Republic of Algeria.** Biological Sciences. 2: 15-22.
- Arrivillaga, J. y R. Barrera. 2004. **Food as a limiting factor for *Aedes aegypti* in water-storage containers.** Vector Ecology. 29(1): 11-20.
- Badii, M. H., J. Landeros, 2007. **Ecología e historia del dengue en las Américas.** Good Conscience. 2(2): 309-333.
- Banchio, E., Valladares G., Defago M., Palacios S., Carpinella C. 2003. **Effects of *Melia azedarach* (Meliaceae) fruit extracts on the leafminer *Liriomyza huidobrensis* (Diptera: Agromyzidae): assessment in laboratory and field experiments.** Ann. Appl. Biol. 143, 187-193.
- Bond, J.G., Marina C.F. y Williams, T. 2004. **The naturally derived insecticide spinosad is highly toxic to *Aedes* and *Anopheles* mosquito larvae.** Medical and Veterinary Entomology 18, 50-56.
- Cavalcanti, E., de Moraes S., Ashley A., William P. 2004. **Larvicidal activity of essential oils from brazilian plants against *Aedes aegypti* L.** Memórias do Instituto Oswaldo Cruz 99, 541-544.
- Eiras, A. E. y M. C. Resende. 2009. **Preliminary evaluation of the "Dengue-MI" technology for *Aedes aegypti* monitoring and control.** Cad. Saúde Pública 25(1): S45-S58.
- Fenwick, G. R., Hanley A. B. 1985. **The genus *Allium*.** Part 1. CRC Crit Rev Food Sci Nutr. 22:199-271.
- Fuentes-Contreras, E., Basoalto E., Sandoval C., Pavez P., Leal C., Burgos R. 2007. **Evaluación de la eficacia, efecto residual y de volteo de aplicaciones en pretrasplante de insecticidas nicotinoides y mezclas de nicotinoide-piretroide para el control de *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) en tabaco.** Agricultura Técnica. 67(1):16-22.
- Gajmer, T., Singh R., Saini R.K., Kalidhar S.B. 2002. **Effect of methanolic extracts of neem (*Azadirachta indica* A. Juss) and bakain (*Melia azedarach* L.) seeds on oviposition and**

- egg hatching of *Earias vittella* (Fab.) (Lepidoptera: Noctuidae).** J. Appl. Entomol. 126, 238-243.
- García, G. C. y Tamez, G. P. 2012. **Mercado de bioinsecticidas en México.** Curso de agricultura orgánica y sustentable. Fundación Produce Sinaloa. pp: 99-114.
- García, R., B.A. Federice., I. M. May., M. S. Mulla and C. H. Schaefer. 1980. ***Bti* a potent new biological weapon.** Calif. Agric. 34 (3): 18-19.
- Guglielmone, A., Castelli, M., Volpogni, M., Medus, P., Anziani, O., Mangold, A. 2001. **Comparación de la concentración letal 50 de diazinón y cipermetrina para *Haematobia irritans* (Diptera: Muscidae) entre áreas de producción de leche o carne de Santa Fe y Entre Ríos, Argentina.** Rev. Med. Vet. Buenos Aires. 82, 209-211.
- Jang, Y.S., Kim M.K, Ahn Y.J, Lee H.S. 2002. **Larvicidal activity of brazilian plants against *Aedes. aegypti* and *Culex pipiens pallens* (Diptera: Culicidae).** Agric. Chem. Biotechnol. 44, 23-26.
- Halim, A. A. S. 2008. **Efficacy of *Zingiber officinale* on third stage larvae and adult fecundity of *Musca domestica* and *Anopheles pharoensis*.** J. Egypt Soc. Parasitol. 38: 385-392.
- Harding, J. S., C. Brown. 2007. **Distribution and habitats of mosquito larvae in the Kingdom of Tonga.** Australian Journal of Entomology. 46: 332-338.
- Laakso I, Seppänen-Laakso T, Herrmann-Wolf B, Kühnel N, Knobloch K.1990. **Biology and chemistry of active natural substances.** Plant Med. 1990;56(6): 493-698.
- Lacey, L. A. 2007. ***Bacillus thuringiensis* serovariety *israelensis* and *Bacillus sphaericus* for mosquito control.** J. Am. Mosquito Contr. pp. 133-163.
- Malkeja A. N, Bailey J. M.1990. **Antiplatelet constituents of garlic and onions.** Agent Actions. 29:360-363.
- Mc Call, P. J., M. D. Wilson., B. D. Dueben., B. M. de Clare Bronsvort and R. R. Heath. 1997a. **Similarity in oviposition aggregation pheromone composition within the *Simulium damnosum* (Diptera:Simuliidae) species complex.** Bull. Entomol. Res. 87:609-616.
- Mc Call, P. J., R. R. Heath., D. Dueben and M. D. Wilson. 1997b. **Oviposition pheromone in the *Simulium damnosum* complex: biological activity of chemical fractions from gravid ovaries.** Physiol. Entomol. 22:224-230.
- Pérez, D. D, Iannacone O. I. 2008. **Mortalidad y repelencia en *Eupalamides cyparissias* (Lepidoptera: Castniidae), plaga de la palma aceitera *Elaeis guineensis*, por efecto de diez extractos botánicos.** Rev Soc Entomol Argent. 67(1-2):41-8.
- Periago, M. R. y M. G. Guzmán. 2007. **Dengue y dengue hemorrágico en las Américas.** Rev. Panam. Salud Pública. 21(4): 187-191.
- Polack, A. and M. Mitidieri. 2002. **Producción de tomate diferenciado. Protocolo preliminar de manejo integrado de plagas y enfermedades. Información para extensión.** 16 pp. INTA San Pedro, Argentina.
- Prajapati, V., A.K. Tripathi., K..K. Aggarwal and S. P. Khanuja. 2005. **Insecticidal, repellent and oviposition-deterrent activity of selected essential oils against *Anopheles stephensi*, *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus*.** Bioresour Technol. 96: 1749 1757.
- Rodríguez, P., M. A., N. L. Valdivieso-López and P. J. Mc-Call. 2003. **Aggregated oviposition in *Simulium ochraceum* s. l. (Diptera:Simuliidae), an important Neotropical vector of *Onchocerca volvulus*.** Ann. Trop. Med. Parasitol. 97:203-207.
- Schulz, K. H, Karma M. 1986. **Periodic reproduction of *Onchocerca volvulus*.** Parasitol Today. 2: 284-286.
- Wandscheer, C. B, Duque J. E, da Silva MAN., Fukuyama Y., Wohlke J.L., Adelman J., Fontana J.D. 2004. **Larvicidal action of ethanolic extracts from fruit endocarps of *Melia azedarach* and *Azadirachta indica* against the dengue mosquito *Aedes aegypti*.** Toxicon. 44, 829-835.
- Williams, C. R. and K. J. 2008. **The allee effect in site choice behavior of egg-laying dengue vector mosquitoes.** Tropical Biomedicine. 25(2): 140-144.

Cipriano García Gutiérrez

Doctor en Ciencias en Ingeniería Bioquímica con Especialidad en Biotecnología. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel II. Profesor Investigador Titular del CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa.

Rosa Luz Gómez Peraza.

Maestra en Ciencias de la Productividad Frutícola. Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Chihuahua, Chih. Profesor Investigador del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional del Instituto Politécnico Nacional CIIDIR- IPN Unidad Sinaloa.

Claudia E. López Aguilar

Licenciada en Biología. Instituto Tecnológico de Los Mochis, Los Mochis Sinaloa. Técnico del Laboratorio de bioinsecticidas del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional del Instituto Politécnico Nacional CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa.

Arturo León Váldez

Ingeniero Bioquímico. Instituto Tecnológico de Culiacán, Culiacán Sinaloa. Técnico del Laboratorio de bioinsecticidas del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional del Instituto Politécnico Nacional CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa.

Ra Ximhai

Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo
Sustentable

Ra Ximhai
Universidad Autónoma Indígena de México
ISSN: 1665-0441
México

2012

USO DE ENEMIGOS NATURALES Y BIORRACIONALES PARA EL CONTROL DE PLAGAS DE MAÍZ

Cipriano García-Gutiérrez; María Berenice González-Maldonado y Edgardo Cortez- Mondaca
Ra Ximhai, septiembre - diciembre, año/Vol. 8, Número 3
Universidad Autónoma Indígena de México
Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. pp. 57-70.



e-revist@s

USO DE ENEMIGOS NATURALES Y BIORRACIONALES PARA EL CONTROL DE PLAGAS DE MAÍZ

USE OF NATURAL ENEMIES AND BIORATIONAL PEST CONTROL OF CORN

Cipriano **García-Gutiérrez**¹; María Berenice **González-Maldonado**² y Edgardo **Cortez- Mondaca**³

¹Profesor investigador. CIIDIR-IPN, COFAA, Unidad Sinaloa, Blvd. Juan de Dios Bátiz Paredes No. 250, C.P. 81101. Guasave, Sinaloa, garciaciprian@hotmail.com. ²Profesora investigadora. CIIDIR-IPN Unidad Durango, COFAA. Sigma 119, Fracc. 20 de noviembre II. C.P. 34220. Durango, Dgo. mbgonzalez@ipn.mx. ³Investigador. INIFAP-Campo Experimental Valle del Fuerte. A. P. 342. Juan José Ríos, Sinaloa, México. cortez.edgardo@inifap.gob.mx

RESUMEN

Se presenta un análisis general del uso potencial de los enemigos naturales e insecticidas biorracionales para el control de las principales plagas del maíz en el Estado de Sinaloa. Se discute también sobre su composición, dosis, toxicidad y su efecto colateral en organismos benéficos (enemigos naturales y polinizadores). El trabajo reveló que es posible implementar el uso de los siguientes enemigos naturales y productos: Para en el control de larvas neonatas del gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J. E Smith) con *Nomuraea rileyi* (Farlow) Samson; contra trips *Frankliniella occidentalis* (Pergande) con los nematodos *Steinernema riobris* (Cabanillas y Poinar), *S. feltiae* (Filipjev) y *Heterorhabditis bacteriophora* (Poinar) a dosis de 10,000 IJ (4x10³~IJ/m²); contra la mosca de los estigmas *Euxesta stigmatias* (Loew), fomentando el parasitismo natural de *Spalangia* sp., mientras que para el gusano trozador *Agrotis ipsilon* (Hufnagel) utilizando spinosad (concentrado soluble) a dosis de 0.123 kg de i. a; y para el gusano elotero *Helicoverpa zea* (Boddie) usando el análogo de la hormona de la muda metoxifenocida (24%) o 144 mg de i. a/L. Los agentes de control y biorracionales que no afectan de manera importante a los enemigos naturales son: El virus de la nucleopoliedrosis SfMNPV y SeMNPV; *N. rileyi* e *Isaria fumosorosea* (Wize); *Bacillus thuringiensis* (Berlinier); parasitoides y la azaridactina (nim). En el caso de los productos de síntesis química: El spinosad, oxymatrine y bifentrina, a pesar de presentar altos porcentajes de mortalidad en el control de plagas en maíz, se consideran de alto y moderado riesgo por ser tóxicos a abejas *Aphis mellifera* (L.), la metoxifenocida es relativamente poco tóxica para enemigos naturales. En general, los productos biorracionales tienen efecto de repelencia en larvas y adultos de estos insectos, inhiben la alimentación e inducen la muda, causan malformaciones e impiden el desarrollo y crecimiento, interfieren en la comunicación sexual reduciendo la cópula y oviposición, y provocan esterilidad en adultos, por lo que también podrían constituir un riesgo para los organismos benéficos. No obstante, se concluye que estos productos son menos tóxicos que los insecticidas químicos para los organismos no blanco, por lo que eventualmente también pueden ser usados con menor riesgo de contaminación ambiental en el control de plagas de maíz en la región agrícola del Norte de Sinaloa.

Palabras clave: Biorracionales, enemigos naturales, spinosad, azaridactina, *Nomuraea rileyi*, Sinaloa.

SUMMARY

A general analysis of the potential use of natural enemies and biorational insecticides for control of main pests of corn in the state of Sinaloa is presented. A discuss on their composition, dosage, toxicity and type of effect on beneficial organisms (natural enemies and pollinators) is too included. The work revealed that is possible implement the use of these natural enemies and products for the control of neonate larvae of *Spodoptera frugiperda* fall armyworm (J. E Smith) with *Nomuraea rileyi* (Farlow) (Samson); against thrips *Frankliniella occidentalis* (Pergande) using the nematodes *Steinernema riobris* (Cabanillas and Poinar), *S. feltiae* (Filipjev) and *Heterorhabditis bacteriophora* (Poinar) at doses of 10,000 IJ (4x10³ ~ IJ/m²); against the corn silk fly *Euxesta stigmatias* (Loew) encouraging the natural parasitism of *Spalangia* sp., while for the cutworm *Agrotis ipsilon* (Hufnagel) can be with spinosad (soluble concentrate) at doses of 0.123 kg a. i, and to the corn earworm *Helicoverpa zea* (Boddie) using the analog of methoxyfenozide molting hormone (24%) at 144 mg of a. i/L. The biorational control agents that not affect significantly to the natural enemies were the nucleopoliedrosis virus SfMNPV and SeMNPV; *N. rileyi* and *Isaria fumosorosea* (Wize); *Bacillus thuringiensis* (Berlinier); the azadirachtin (neem) and parasitoids. In the case of products of chemical synthesis: Spinosad, oxymatrine and bifenthrin showed high rates of mortality in the control of corn pests, so these are considered as of high and moderate risk to *Aphis mellifera* (L.) bees, the methoxyfenozide presented relatively low toxicity to natural enemies. In general, biorational products have repellent effect on larvae and adults of these insects, inhibit feeding and induce molting, also causing deformities and impede the development and growth, too interfere with sexual intercourse and copulate, reducing the oviposition, as well as cause sterility of adults, so these may also constitute a risk to beneficial organisms. However, we concluded that these products are less toxic than chemical pesticides to nontarget organisms, which eventually will be used with less risk of environment contamination in the control of corn pest in the agricultural region of northern Sinaloa.

Key words: Biorationals, natural enemies, azadirachtin, *Nomuraea rileyi*, Sinaloa.

Recibido: 04 de julio de 2012. Aceptado: 30 de agosto de 2012. Publicado como ARTÍCULO CIENTÍFICO en Ra Ximhai 8(3): 57-70.

INTRODUCCIÓN

En México el Estado de Sinaloa es el principal productor de maíz, en el ciclo otoño-invierno 2007-2008 se establecieron 450,000 ha de maíz blanco y 2,900 ha de maíz amarillo, con una producción de 5'200,000 ton, con un valor de la producción de 15 mil millones de pesos, generando beneficio directo a 50,000 productores, actualmente se cuenta con una producción de 660,916 ha cultivadas con un rendimientos de 10 ton/ha (CESAVESIN, 2011).

El cultivo de maíz en Sinaloa presenta plagas concurrentes como: gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J.E Smith), Gusano soldado *Spodoptera exigua* (Hübner), gusano elotero *Helicoverpa zea* (Boddie), (Lepidoptera: Noctuidae); mosca de los estigmas: *Euxesta stigmatias* Loew, *Eumecosomyia nubila* (Wiedemann) y *Chaetopsis massyla* (Walker) (Diptera: Otitidae), *Rhopalosiphum maidis* (Fitch.) (Homoptera: Aphididae) y *Frankliniella occidentalis* Pergande (Thysanoptera: Thripidae); para su control se utilizan principalmente insecticidas químicos convencionales de amplio espectro, los cuales tienen efectos negativos en los organismos y en el medio ambiente, además de tener repercusiones en la salud humana, provocando intoxicaciones agudas, cáncer, daños celulares y en el ADN, efectos teratogénicos, así como intoxicación de peces, aves y otros organismos (FAO, 2012).

Con la finalidad de disminuir el impacto ambiental derivado del uso de insecticidas químicos para la protección de cultivos es necesario establecer nuevas estrategias para el control de las principales plagas de maíz en Sinaloa, utilizando agentes de control biológico incluyendo parasitoides y depredadores, este último grupo es uno de los más importantes (Carballo, 2002). Por otra parte, algunos insecticidas biorracionales tienen suficiente toxicidad cuando se usan en conjunto con los agentes de control biológico, estos generalmente son productos naturales, pero también se incluyen algunos de síntesis química, usualmente poco tóxicos a enemigos naturales y otros organismos no blanco. Dentro de estos insecticidas se considera a: 1. Spinosad, una mezcla neurotóxica, producida durante la fermentación del actinomiceto *Saccharopolyspora spinosa* (Mertz y Yao) con alta toxicidad para lepidópteros y dípteros (Méndez *et al.*, 2002). 2. La azadiractina extraída del nim, el cual es un tetranorditerpenoide ($C_{35}H_{44}O_{16}$) que inhibe la oviposición y el proceso de metamorfosis, también presenta efectos anti alimentarios en lepidópteros, homópteros, coleópteros, himenópteros, hemípteros, dípteros y tisanópteros (Adel y Sehnael, 2000), además se han extraído los compuestos activos de otras plantas, siendo sus sustancias activas: timol, carvacrol, alicina, entre otros (orégano, ajo). 3. El insecticida metoxifenocida (RH 2485) [*N-ter-butyl-N''-(3-metoxi-o-toluil)-3,5-xilohidrazida*], un regulador del crecimiento de los insectos que mimetiza la función biológica de la hormona 20-hidroxiecdisona e induce la muda prematura y la muerte debido a la estimulación directa de los esteroides ecdisteroidales, efectivo para el control de lepidópteros (Zamora *et al.*, 2008; Aguirre-Zaleta., 2010). Por otra parte se considera factible utilizar agentes de control biológico como el hongo *Nomuraea rileyi* (Samson) para el control biorracional de *S. frugiperda* con resultados satisfactorios (Lezama-Gutiérrez *et al.*, 1994.).

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue: Dar a conocer a las principales plagas del maíz y a sus enemigos naturales, así como realizar un análisis de los insecticidas biorracionales usados para el control de estas plagas (su composición, toxicidad y modo de acción), así como de aquellos que tienen potencial para su aplicación, además de alertar sobre el impacto que pudiesen tener sobre organismos benéficos y el medio ambiente en la región maicera del Norte de Sinaloa.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente análisis se basó en la revisión de información sobre los productos comerciales biorracionales utilizados en el control de plagas de maíz, así como de aquellos agentes y sustancias que se encuentran en uso y desarrollo para combatir a las principales especies plaga; así mismo, refiriendo

los trabajos experimentales con sustancias naturales y de síntesis, además de los trabajos sobre el uso de organismos y enemigos naturales de estas plagas realizados por investigadores de diversas instituciones en cultivos de maíz del Norte de Sinaloa.

Principales insectos plaga en maíz

Se presenta información de estudios sobre colectas de insectos plaga, enemigos naturales e insectos benéficos existentes en cultivos de maíz, realizados durante 2010 a 2012 en cultivos donde no se aplicaron medidas de control químico, en diferentes localidades de los municipios de Guasave, Sinaloa de Leyva y Los Mochis, Sinaloa. Las colectas de insectos se hicieron durante ciclos de maíz en primavera-verano y otoño-invierno, con redes entomológicas, trampas amarillas y jabonosas, dependiendo de la biología y hábitos del insecto en particular; los ejemplares fueron trasladados al laboratorio del Campo Experimental Valle del Fuerte INIFAP-CEVAF y CIIDIR IPN Unidad Sinaloa para su montaje, preservación e identificación mediante claves taxonómicas (Borror *et al.*, 1954, 1989; Bautista y Vejar, 1998; Peña-Martínez, 1992; González-Hernández, *et al.*, 2001 y 2003).

A continuación se enlista la descripción y el tipo de daño que ocasionan las principales plagas de maíz colectadas e identificadas en el Norte de Sinaloa, y los insecticidas biorracionales reportados o que se utilizan para su control (Cuadro 1).

Cuadro 1. Biorracionales que se utilizan actualmente para el control de plagas de maíz.

Plagas	Insecticida biorracional	Dosis	Mortalidad (%)	Aplicación	Distribuidor	País (Autor)
<i>S. frugiperda</i>	Metoxifenocida	1-1000 mg/L	6.3-17.5 (huevo)	Laboratorio		Michoacán, México (Zamora <i>et al.</i> 2008)
	Spinosad		23.3-84.4 (larvas)			
	Azadiractina		12.5-28.0 (huevo)			
			67.7-100 (larvas)			
			11.6-31.3 (huevo)			
			13.3-22.2 (larvas)			
	Spinosad + Nucleopoliedrovirus SeMNPV	1 a 0.05, 0.5 y 3 mg/mL + Dieta 5, 20 y 70 CO/mm ²	23.5-67.4 21.5-60.8 90	Laboratorio Maíz	Dow AgroScience®	Chiapas, México (Méndez <i>et al.</i> , 2002)
	Spinosad + Nucleopoliedrovirus SeMNPV	200 mg/L (60 g i.a/ha) 3 mg/lit. (0.9 g i.a/ha) 1.2x10 ¹² CO/ha				
	<i>Cotesia marginiventris</i>	Control natural	4.3-13	Maíz		Sinaloa, México (Cortez-Mondaca, 2008; Angulo-Escalante, 2004)
	Neem semilla molida + Material muerto	5 kg/ha 5 kg/ha	7 días de protección 100			
	Metonilo	360 g/ha				
	<i>Willardia mexicana</i> (= <i>Lonchocarpus hernandí</i>)	Extracto clorofórmico Conc. 50%				
	<i>Nomuraea rileyi</i> (formulación granulada)	1x10 ⁷ esporas/g 6 cepas	75 77-100 (larvas)	Laboratorio Laboratorio		Venezuela (Pavone <i>et al.</i> , 2009)
	<i>Nomuraea rileyi</i>	2 cepas	92.5-98.8			Colima, México (Lezama-Gutiérrez <i>et al.</i> , 1994)
	<i>Isaria fumosovtrosea</i>					
<i>S. exigua</i>	<i>Bacillus thuringiensis</i> (México)	CIBC-M-166 (México) S811 (Brasil) IB412 (México) LBIT27 (México)	CL ₅₀ = 95.7 ng/cm ² 164.1 200.9 288.8	Laboratorio	Aislamientos nativos de diferentes países	Colombia, México, Brasil, Costa Rica (Monerit <i>et al.</i> , 2006)
	<i>Meteorus laphygmae</i>	Control natural	2.1-22.1	Pasto Sudán		Sinaloa (Molina-Ochoa <i>et al.</i> , 2004)
	<i>Opius flavipes</i>		1.1-2.1			
	<i>Euplectes platypterus</i>		1.0-4.2			
	<i>Chelonus</i> sp.		1.0			
	Metoxifenocida 24% (suspensión concentrada)	72 y 144 mg de i.a/L	10-100	Laboratorio hojas chile	Producto comercial Intrepid®	Michoacán, México (Aguirre-Zuleta, 2010)
	Nucleopoliedrovirus SeMNPV	2.8x10 ³ -2.3x10 ⁵ CO/mL 5x10 ¹¹ CO/L	10-90 70-89	Laboratorio Invernadero chile		España (Lasa <i>et al.</i> , 2007)
	<i>Bacillus thuringiensis</i> (formulación granulada)	70 g 86 kg	80	Laboratorio		Reynosa, Tamaulipas (Rosas-García, <i>et al.</i> 2009)
	<i>Spalangia</i> sp.	Natural	38	Maíz		Sinaloa, México (Camacho-Báez, <i>et al.</i> , 2010)
	<i>A. ipsilon</i>					
<i>A. ipsilon</i>	Clorpirifos	1.5 cc/1L agua	90	Laboratorio	Lorsban®	Colombia (Jojas-Bravo y Salazar-González <i>et al.</i> , 2011)
	Bifentrina (SC)	0.67 SC @ 0.023 kg i.a/A	100	Pastos	Talstar®	E.U. (Richmond y Baldauf, 2005)
	Spinosad (SC)	1 a/A 1 SC @ 0.123 Kg i.a/A	100		Conserve®	
	<i>S. feltiae</i>	5000 y 10,000 U	56.1 prepupas*	Laboratorio	Ecogen Inc., Langhorne, PA, USA	Israel (Chyzik <i>et al.</i> , 1996)
	<i>S. riobrayi</i>		75.0 pupas*			
	UK, Ger		36.5 prepupas		Dr. Ehlers, Christian Albrecht Univ., Kiel, Germany	
	<i>H. bacteriophora</i>		71.7 pupas			
	HP88		41.8 prepupas		Biosys, Columbia, MD, USA	
			73.4 pupas			

Según Cortez-Mondaca (2008) la descripción biología hábitos y daños de los principales lepidópteros plaga es la siguiente:

Plagas primarias

Gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae)

Descripción. La palomilla oviposita por la noche comúnmente en el envés de las hojas, en la parte baja de las mismas (de la mitad hacia al ápice), en grupos de 100 a 200 huevecillos, los cuales cubre con escamas de su cuerpo para su protección. Las larvas jóvenes son de color verde-amarillo con bandas longitudinales de tonos claros y con la cabeza oscura, las larvas grandes son de color café oscuro grisáceo, con tres líneas longitudinales más claras, llegan a medir alrededor de 3.5 cm de largo. En la cabeza presentan líneas que forman una “Y” vista desde el dorso del cuerpo del insecto, y sobre el último segmento abdominal presentan cuatro puntos negros con forma de trapecio.

El cuerpo del adulto mide alrededor de 1.8 cm de longitud y 3.8 cm de extensión alar; las alas son de color café oscuro y gris. Una hembra puede ovipositar más de 1,000 huevecillos durante su periodo reproductivo. Estos eclosionan en tres o cinco días; las larvas al nacer se alimentan de un área foliar reducida pero en los días siguientes se distribuyen a plantas vecinas, estableciéndose en el cogollo. Tienen hábitos caníbales, por lo que a partir del tercer periodo sólo se observa una larva por cogollo; pasan por seis estadios de desarrollo en un rango de 14 a 21 días, de acuerdo a la temperatura. La etapa de pupa ocurre en el suelo y alrededor de 9 a 13 días, después emerge el adulto.

Daños. Este insecto es considerado la plaga más dañina del maíz; se presenta en poblaciones elevadas, sobre todo en siembras extemporáneas, perfora el tallo de las plantas a la altura del cuello de la raíz, con lo que provoca el marchitamiento de la planta; también actúa como barrenador del tallo de la planta y daña los estigmas, las espigas, y el elote. Infestaciones y daño severo de la plaga pueden reducir el rendimiento en porcentajes superiores al 30%. El gusano cogollero puede estar presente durante la mayor parte del desarrollo del cultivo, pero el daño más importante lo ocasiona de la emergencia a la emisión del jilote y el daño es mayor entre menor sea la edad de la planta.

Gusano trozador *Agrotis ipsilon* (Hufnagel) (Lepidoptera: Noctuidae)

Descripción. Los huevecillos en general son blancos, de tamaño pequeño (0.5 a 0.6 mm de diámetro), esféricos, aunque ligeramente aplastados en su base, adornados por unas cuarenta líneas radiales y recubiertos de una secreción viscosa. Las larvas miden entre 30 y 45 mm de largo. La cabeza es de color castaño rojizo. La cutícula es de color gris a casi negro de aspecto grasiento, en el lado ventral y lateral tienen adornos pálidos. En la línea media dorsal lleva una franja más clara, cuerpo con pocas sedas, aunque tienen algunas dispuestas regularmente en cada segmento del abdomen, poseen cinco pares de falsas patas y en cada una de ellas unos ganchitos dispuestos circularmente en su parte inferior. Las larvas se curvan sobre un costado de su cuerpo. Los segmentos abdominales tienen en su parte superior cuatro manchas negras, siendo las dos anteriores unas tres veces más pequeñas y menos brillantes que las dos posteriores, saliendo de cada una seta. La pupa se encuentra siempre en la tierra, son de color obscuro-rojizo y de diferente tamaño según la especie.

El adulto es de tamaño mediano, envergadura alar entre 28 y 51 mm. El cuerpo es grisáceo a castaño grisáceo; el abdomen es más claro que el tórax. Las alas anteriores son de color castaño oscuro en los dos primeros tercios basales; el segundo par de alas es claro. Debajo del ala existe una mancha negra triangular y en la parte terminal del ala dos triángulos negros más difusos y de menor tamaño. Los huevecillos son colocados en lugares con bastante humedad en el suelo. Las hembras ponen sus huevecillos en grietas en el suelo, cada una entre 1500 y 2500 en verano y menos de la mitad en invierno. El ciclo anual es variable según la especie. Pasan el invierno en forma de pupa, introducida en el suelo (10-12 cm). Reinician su actividad en primavera, alimentándose de malas hierbas, de día permanecen escondidas debajo de la tierra a unos dos centímetros. Cuando llega el final de su

desarrollo larvario se introducen en el suelo y se transforman en pupa, las larvas siguen dos caminos según la especie: se introducen en el suelo, después de haberse alimentado durante un período de tiempo para pasar el invierno, o continúan su desarrollo para dar lugar a otra generación antes de introducirse en la tierra antes del invierno, pueden existir más de una generación al año, dependiendo de las condiciones climáticas (temperatura, lluvia, fotoperiodo, principalmente).

Daños. Las larvas muerden los tallos y destruyen las plantas en secciones de surco, consumen las raíces, cortan el cuello de la planta y consumen hojas tiernas, se les considera en el grupo de los "gusanos cortadores", especialmente perjudiciales en plantas jóvenes. Al terminar de comer una planta se trasladan a la planta más cercana.

Tienen hábitos alimenticios nocturnos; durante el día se les encuentra semienterrados en el suelo cerca de las plantas. Esta plaga tiene hábitos solitarios, comúnmente se alimentan de plantas de semillero a nivel del suelo, cortan el tallo y, a veces arrastran las plantas a sus refugios. Las larvas en ocasiones se alimentan de las raíces. Debido a la naturaleza de su alimentación en las plantas jóvenes, esta plaga puede hacer daño en los campos recién sembrados.

Gusano elotero *Helicoverpa zea* Boddie (Lepidoptera: Noctuidae)

Descripción. Los huevecillos son depositados uno a uno en los estigmas del jilote y eclosionan dos o tres días después. A pesar de que puede haber decenas de huevecillos por jilote, al final, generalmente, sólo queda una larva, ya que las larvas del tercer periodo son de hábitos caníbales, la que sobrevive se alimenta de los granos en formación. Las larvas pequeñas tienen la cabeza de color negro y el resto del cuerpo de color blanco hialino (cristalino), con numerosas cerdas; en la tercera fase son predominantemente de color café y en ocasiones son de color verde con líneas longitudinales blancas, amarillas o de color crema; al final de su desarrollo pueden medir alrededor de 3.5 cm de largo.

El periodo larval dura un promedio de 16 días y la etapa de pupa transcurre en nueve días aproximadamente, en las condiciones predominantes de fines de primavera en el norte de Sinaloa. Los adultos son palomillas de color café cobrizo con marcas irregulares más oscuras en las alas anteriores y miden 2.5 cm de largo y más de 3 cm de extensión alar.

Daños. El insecto daña los granos del ápice del elote y propicia la presencia de otros insectos plaga como nitidúlidos y la mosca de los estigmas *Euxesta* sp. Puede llegar a causar pérdidas del 10 al 30%.

Mosca de los estigmas *Euxesta stigmatias* Loew (Diptera: Otitidae)

Sobre la descripción de este insecto e información sobre su ciclo de vida y hábitos García-Gutiérrez, *et al.* (2011a, b) mencionan lo siguiente:

Descripción. Las hembras son capaces de poner hasta 95 huevecillos por día entre los estigmas. Los huevecillos duran 2 días, son alargados y color blanco hialino (transparentoso); miden 80 mm de longitud y 20 mm de ancho. Se pueden encontrar de forma individual o en grupos; eclosionan a las 48 horas a temperatura ambiente (25-34°C).

Las larvas son de forma alargada y cilíndrica, sin patas; la parte apical es más ancha que la parte posterior, tiene ganchos bucales en la cabeza y dos espiráculos (orificios respiratorios) anales uniformes de color negro, el resto es de color blanco-amarillento y alcanza una longitud máxima de 7 mm. Se encuentran dentro del elote, durante toda la etapa reproductiva y hasta antes de la madurez fisiológica. No consumen el pericarpio (envoltura) del grano, pero se alimentan del endospermo o parte del olote, incluso se alimentan con una dieta a base de maíz. Su duración es de 13 días. La pupa es también alargada y cilíndrica, con un extremo más redondeado y una protuberancia en el otro extremo. El cuerpo es de color amarillento al principio y luego se torna rojizo brillante y finalmente café oscuro;

mide 5 mm de largo por 1.3 mm de ancho. Ésta se encuentra en los estigmas secos, entre las hojas del fruto. Dura 7 días.

El adulto presenta cuatro bandas oscuras transversales en las alas y patas color negro con amarillo. La hembra es de mayor tamaño y presenta abdomen agudo con ovipositor extendible. Por su parte, el macho tiene abdomen redondeado. El cuerpo es de color verde oscuro metálico y ojos café-rojizo. Alcanzan una longitud máxima de 6.5 mm.

Daños. El daño es causado por la etapa larvaria. Los estigmas se tornan color marrón-bronce, efecto causado por la alimentación de las larvas, también se alimentan de la punta de la mazorca (Seal y Jansson, 1989). La mayor abundancia de larvas (59 insectos), y los daños causados por el insecto son del 70 %, se presentan en abril y mayo (30 °C), coincidiendo con la presencia de los estigmas en el cultivo. Se puede estimar en siembras de primavera-verano, daños del fruto que pueden superar 10 por ciento de la producción, tomando en cuenta que el promedio de producción de maíz en Sinaloa es de 10 toneladas por hectárea, con un precio base de 2,200 pesos por tonelada; valorando pérdidas de una tonelada por hectárea, esto equivale a reducir las ganancias en 2,200 pesos/ha. En infestaciones severas los estigmas pueden ser cortados por completo, los estadios inmaduros pueden encontrarse alimentándose a lo largo del elote, la reducción del rendimiento es elevada si el daño inicia temprano durante el desarrollo del cultivo (Cortez-Mondaca, 2007).

Plagas secundarias

Gusano soldado *Spodoptera exigua* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae)

En relación a este lepidóptero Torres-Ortega., *et al.* (2007) indican lo siguiente:

Descripción. Este insecto tiene un ciclo biológico completo que consta de cuatro etapas. Las hembras colocan sus huevecillos en racimos de 50 a 150 por masa y cada hembra produce de 300 a 600 huevecillos. Estos son depositados generalmente en la superficie baja de la hoja y a menudo cerca de las flores y en la extremidad de las ramas. Son de color verdoso y blanco, están cubiertos con una capa de escamas blanquecinas que le dan un aspecto algodonoso. Los huevecillos tardan de dos a tres días en madurar durante el tiempo cálido. Las larvas recién eclosionadas suelen agruparse en tallos y hojas de los botones terminales y axilares de las plantas; a partir del tercer estadio, suelen vivir aisladas y es cuando se alimentan y mayores daños causan. Son activas durante la noche, pues completan su desarrollo en 15-25 días, después de pasar por cinco estadios larvarios y pupan en el suelo en un capullo terroso, o bien, bajo restos vegetales.

El desarrollo de la pupa ocurre en el suelo. El compartimiento se construye de las partículas de arena y del suelo ligadas con una secreción oral que endurece cuando se seca. Las crisálidas son de color marrón claro y miden de 15 a 20 mm de longitud. La duración de la etapa pupal es 6 a 7 días durante la temporada cálida. Los adultos son pequeños, miden aproximadamente 1.3 cm con una extensión alar de 2.5 a 3.8 cm. El cuerpo y las alas se extienden de plateado-gris a grisáceo marrón y tienen un punto ligero cerca del centro.

Daños. Esta plaga causa daños de consideración tanto por disminución de superficie foliar debido a la alimentación de las larvas en hojas, como por los daños en frutos al realizar perforaciones en los mismos que adquieren mayor importancia comercial, desde el momento de su eclosión. El daño que causan al alimentarse de los frutos es superficial en la fruta madura, y la pudrición de frutos ocurre por los organismos que causan descomposición de tejidos y que pueden entrar por las heridas. Ocasionalmente las larvas se desarrollan dentro de los frutos, causando desarrollo anormal. Las hojas pueden ser consumidas casi totalmente al igual que las plantas jóvenes; sin embargo, hay recuperación en plantas más viejas. En este último caso, los mismos consisten en agujeros superficiales o comeduras que los marcan, pudiendo llegar a pudrirse.

La etapa en la cual provoca mayor daño a los cultivos es en la fase larvaria. Las larvas jóvenes se alimentan adentro de los racimos terminales de las cosechas y hacen a menudo un daño considerable antes de que se noten. Las pérdidas ocasionadas por esta plaga se incrementan con el número de larvas dentro del cultivo

***Frankliniella occidentalis* Pergande (Thysanoptera: Thripidae)**

Descripción. Huevos reniformes, de color blanco hialino, encontrándose insertados dentro de los tejidos de los vegetales. Los adultos son alargados, las hembras de unos 1,2 mm y los machos de 0,9 mm de longitud, con dos pares de alas plumosas replegadas sobre el dorso en estado de reposo. Las hembras son de color amarillento-ocre con manchas oscuras en la parte superior del abdomen. Esta coloración es más clara en verano y en los machos. Presentan un aparato bucal rascador–chupador.

Daños. Raspan y succionan la savia de la hoja, retraso en el crecimiento durante las primeras etapas, enrollamiento del cogollo, que puede provocar la muerte de la planta, daño en la lámina foliar que disminuye el área fotosintética, puede transmitir algunas enfermedades, puede causar pérdidas en el rendimiento (Pioner, 2012a). El ciclo de vida comienza con la oviposición en la hoja, después las ninfas emergen y se alimentan raspando y succionando las hojas, lo cual provoca deshidratación del tejido foliar.

***Rhopalosiphum maidis* (Fitch.) (Homóptera: Aphididae)**

Descripción. Los adultos de estos insectos son pequeños, de cerca de 1 mm de largo, de cuerpo blando, en forma de pera, de un color gris verdoso a azul verdoso, alados o no; desarrollan sus colonias en cogollos tiernos, hojas, ramas, o en las raíces de los cultivos. Su aparato bucal lo compone un pico o estilete, que les sirve para perforar los tejidos y chupar la savia. Las hembras dan lugar directamente a ninfas vivas no ponen huevecillos; los machos son escasos y se han encontrado hembras no reproductivas. El ciclo de vida puede ser completado en 8 a 10 días. En colonias sobrepobladas, algunos adultos tienen la capacidad de desarrollar alas que les facilita emigrar a otras plantas. Las infestaciones por estos insectos suelen aparecer unas cuatro semanas antes del espigamiento.

Daños. El cultivo se torna amarillento, la planta pierde turgencia y por lo general las hojas se enrollan por los bordes, que en general, carecen de importancia económica. Sin embargo un daño importante puede ser causado indirectamente en casos de altas poblaciones; ya que estos insectos al perforar y succionar los jugos de las partes de la planta pueden transmitir enfermedades (Pioneer, 2012b). Los áfidos excretan una especie de gotas azucaradas haciendo que la planta se torne pegajosa, y sirven de sustrato a un complejo de hongos de color negro o fumagina, entre los cuales se tienen a *Fumago* sp. y *Cadnodium* sp. El pulgón de las hojas de maíz es una plaga muy conocida, que en general, su daño carece de importancia económica. En casos excepcionales las colonias de pulgones pueden cubrir totalmente la espiga y las hojas vecinas. Las plantas afectadas pueden achaparrarse, presentar manchas amarillas conspicuas y volverse rojizas conforme maduran y rara vez producen mazorcas (Pioneer, 2012b).

Principales enemigos naturales

A continuación se mencionan a las principales especies de enemigos naturales de las plagas del maíz encontradas el norte de Sinaloa.

Parasitoides. Avispitas *Meteorus* sp., *Euplectus* sp., *Aphidius testaceipes* (Cresson), *Cotesia marginiventris* Cresson, (Hymenoptera: Braconidae), *Trichogramma* sp. (Hymenoptera: Trichogrammatidae) (Cortez-Mondaca et al., 2008).

Depredadores. Catarinita roja *Cycloneda sanguinea* (L.), catarinita naranja *Hippodamia convergens* Guérin Méneville, catarinita gris *Olla v-nigrum* (Mulsant) (= *O. abdominalis*), catarinita rosada *Coleomegilla maculata* de Geer, catarinita *Hyperaspis* sp., catarinita café *Scymnus* sp., catarinita roji negra *Chilocorus cacti* (L.) (Coleoptera: Coccinellidae), colops *Collops femoratus* Schaeffer (Coleoptera: Melyridae), Chinche asesina *Sinea* sp., *Zelus longipes* (L.) (Hemiptera: Reduviidae), mosca sirfide *Allograpta oblicua* (Diptera: Syrphidae) (Cortez-Mondaca *et al.*, 2008).

Medidas de control cultural de insectos plaga en maíz

Selección y preparación del terreno. Una buena selección y preparación del terreno, proporciona un punto firme de partida. Se debe evitar establecer el cultivo en terrenos altamente infestados con maleza, sobre todo de tipo perenne, hospederas importantes de insectos plaga o enfermedades comunes para el maíz.

Selección del híbrido a sembrar. La selección del cultivar a sembrar es de gran importancia en el aspecto agronómico en general y específicamente en el fitosanitario, ya que la resistencia genética de cada genotipo hacia una plaga determinada es diferente. Generalmente híbridos con elevado rendimiento aunque puedan ser preferidos por los insectos plaga, muestran algún nivel de tolerancia (Kogan, 1990) al daño que provocan, logrando compensar pérdidas de rendimiento.

Fecha de siembra. Influye decididamente en el éxito de un cultivo. Sembrar fuera del periodo recomendado trae como consecuencia riesgos mayores en la producción, por la presencia de plagas y factores climatológicos adversos para el cultivo. El periodo de siembra recomendado es en el que se presentan las mejores condiciones de desarrollo para el cultivo y menores factores climáticos adversos y de plagas.

Densidad de siembra. Cantidades menores de plantas a las recomendadas, ponen en riesgo la buena producción del cultivo, por el contrario, altas densidades de siembra y de planta, además de significar mayores costos, el rendimiento no se incrementa, además favorecen un microclima de mayor humedad relativa dentro del cultivo y se propicia la presencia de enfermedades de tipo fungoso. En general se recomienda una cantidad de plantas suficientes para llegar a la cosecha con siete plantas en promedio por metro lineal, bien distribuidas (CEVAF, 2003) espacios perdidos que a la vez significan espacios con plantas aglomeradas van en contra del desarrollo del cultivo y de su rendimiento (Mendoza *et al.*, 2003), sin embargo, con el empleo de equipo de siembra de precisión esta deficiencia se ha corregido en gran parte.

Fertilización. Dosis excesivas de fertilizante muchas veces originan plantas con excesivo desarrollo de follaje, con una alta producción de aminoácidos, que favorecen una alta incidencia de plagas insectiles de hábitos defoliadores y del hongo que provoca el carbón común (Kostandi y Soliman, 1991; Hodkinson y Hughes, 1993), además, la sobre-fertilización no incrementa el rendimiento (Mendoza *et al.*, 2003), pero sí el incremento de los costos de producción.

Riegos. La humedad del suelo comúnmente ayuda a reducir la presencia de insectos que habitan en el suelo o que pasan gran parte de su ciclo biológico en él, como el gusano trozador, los trips, entre otros. Aunque el exceso de humedad generalmente influye más en la presencia y desarrollo de enfermedades fungosas. Se recomiendan terrenos bien nivelados y con buen drenaje, y tiradas máximas de 200 m de largo (Mendoza *et al.*, 2003).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con relación a la compatibilidad de ciertos biorracionles con agentes patógenos se sabe que cuando se han utilizado mezclas de Spinosad con nucleopoliedrovirus (SfMNPV) se ha observado un cierto grado

de sinergismo (3 mg/mL de Spinosad con 20-70 CO de NPV, conteniendo 0.05 o 0.5 mg/L de i. a), está mezcla no afecta la emergencia de parasitoides y ectoparasitoides *Chelonus insularis* (Cresson) y *Euplectus comstockii* (Howard), con bajo impacto en la abundancia de enemigos naturales a dosis de 200 mg/L (Méndez *et al.*, 2002).

Por otro lado, se ha demostrado el efecto tóxico de spinosad y oxymatrine (matrine N-oxide) sobre insectos benéficos como la abeja *Aphis mellifera* L. con una CL₅₀ de 7.34 mg/L y 10.68 mg/L y en campo de 48 y 30 mg/L, respectivamente. Al respecto, Rabea *et al.*, (2010) encontró que la exposición de *A. mellifera* a spinosad a las 24 h causó altas mortalidades, estos resultados fueron confirmados por la EPA, por lo que la actividad tóxica aguda de spinosad contra abejas es de 1µg/abeja. De acuerdo a Fell, (2012) el insecticida bifentrina es altamente tóxico a abejas y el Spinosad es moderadamente tóxico y el promotor de la muda metoxicifenocida es relativamente no tóxico, por lo que se deben de seguir algunas recomendaciones para que estos productos sean menos tóxicos al momento de aplicarlos.

Según García y González (2012), una opción sustentable en el desarrollo de nuevas formulaciones es la adición de fagoestimulantes a algunos patógenos a dosis bajas, lo cual aumenta la actividad alimentaria de la plaga, por ejemplo gránulos a hongos entomopatógenos y virus; así como spinosad con fagoestimulantes (25 o 50 g de i. a/ha), esto fue observado en el control de *S. frugiperda*, además de que no se afectó el porcentaje de parasitismo de *C. insularis*, siendo éste mayor al 80 % (Williams *et al.*, 2004).

En el caso de la aplicación de spinosad, azaridactina y metoxifenocida, se tiene mayor efecto ovicida con los dos primeros, siendo factible utilizarlos en las etapas tempranas del cultivo, además son compatibles con parasitoides, enemigos naturales y otros bioinsecticidas (Zamora *et al.*, 2008).

Cortez *et al.* (2011) sugieren el empleo de insecticidas como el benzoato de emamectina (promotor de parálisis intestinal), el spinoteram y el spinosad (con efecto neurotóxico, interrumpiendo la transmisión de impulsos entre las células nerviosas); los cuales resultaron efectivos para matar larvas de gusano cogollero a la dosis recomendada por el fabricante, incluso al 50% de dicha dosis; además, señalan que estos insecticidas son relativamente novedosos, tienen diferente modo de acción a los convencionales, principalmente su acción es por ingestión y menor efecto nocivo sobre enemigos naturales (Cortez *et al.*, 2010).

Las cepas de *B. thuringiensis* son efectivas contra *S. frugiperda*, sin embargo, las formulaciones actuales son costosas y por el hábito del insecto no logran matarlo en su totalidad, además mostraron diferente susceptibilidad a los genes *Cry* (alta susceptibilidad: *Cry* IC y *Cry* ID), aunado a la presencia de otras proteínas, esto debido posiblemente a las diferentes regiones geográficas de donde fueron aisladas (Monnerat *et al.*, 2008).

Según Molina-Ochoa *et al.*, (2004) la distribución natural y las tasas de parasitismo de gusano cogollero están relacionados a la diversidad de los hábitats (pastizales, cultivos, bosques, huertas, etc.), ellos encontraron que en Sinaloa las familias predominantes fueron: Braconidae (1.0 a 22.1%), Ichneumonidae (1.1 a 2.1%) y Eulophidae (1.0 a 4.2%), algunos de los parasitoides más importantes son: *Meteorus* sp. (22.1%), *Ophion flavidus* Brulle (2.1%), *Euplectus plathypenae* Howard (4.2%), en relación a la familia mencionada anteriormente, respectivamente; los cuales son importantes en la mortalidad de larvas de *S. frugiperda*.

La aplicación de nucleopoliedrovirus cepa SeMNPV en campo varía dependiendo del área y fenología del cultivo, se debe verificar la fluctuación de la plaga y aplicar en 1 o 2 ocasiones (con 7 días de separación), cuando las larvas se encuentren entre el 1-3 estadio de desarrollo, en el caso particular del

virus SeMNPV, la infección se inicio a las 6 h después de la aplicación y la población se redujo a los 4 d, resultando ser un excelente producto para el control de *S. exigua*, brindando protección al cultivo (Lasa *et. al.*, 2007).

Todos los nematodos probados (*S. riobris*, *S. feltiae* Ger., y *H. bacteriophora* HP88) para el control del trips *F. occidentalis* tuvieron algún efecto en su control, por lo que fueron altamente efectivos a 10,000 IJ/contenedor, sin embargo esta concentración es considerada alta y no es económicamente factible, por lo cual es recomendable buscar formulaciones adecuadas dependiendo del organismo entomopatógeno de que se trate para asegurar su efectividad.

CONCLUSIONES

En cultivos de maíz de la región Norte de Sinaloa se tienen cuatro especies de plagas primarias y tres secundarias, entre las que destacan: *S. frugiperda*, *A. ipsilon*, *H. zea*, *E. stigmatias*, *S. exigua*, *F. occidentalis* y *R. maidis*. La abundancia relativa y distribución de parasitoides de *S. frugiperda* es relevante, los géneros y especies más representativas corresponden a las familias: Braconidae, Ichneumonidae y Eulophidae representando de un 3.2 a un 27.4% de parasitismo natural en 8 localidades; existen también 11 especies de depredadores. En conjunto estos agentes de control biológico impactan positivamente en el agroecosistema.

En el control de *S. frugiperda* es posible utilizar una gran variedad de insecticidas biorracionales mencionados en este trabajo (metoxifenocida, spinosad, azaridactina), así como el nucleopoliedrovirus SfMNPV; *Willardia mexicana*; *N. rileyi*, *I. fumosorosea*; *B. thuringiensis* y parasitoides (*Cotesia marginiventris*, *Meteorus laphygmae*, *Ophion flavidus*, *Euplectus plathypenae*), los cuales, si son aplicados de forma correcta y continua traen grandes beneficios económicos y ecológicos.

Por los efectos residuales de la metoxifenocida se debe determinar la dosis letal mínima y por su efecto en la muda puede actuar también sobre insectos no blanco, por lo que puede usarse con reserva.

Con base en la información analizada en este trabajo se concluye que es necesario realizar proyectos de investigación relacionados a la compatibilidad entre insecticidas biorracionales y agentes de control biológico, para su uso conjunto en programas de control de las principales plagas del maíz en el Norte de Sinaloa.

LITERATURA CITADA

- Adel, M. M. y F. Sehnal. 2000. **Azaridactin potenciales the action of ecdyteroid against RH-2485 in *Spodoptera littoralis***. J. insect. Physiol. 46: 267-274.
- Angulo-Escalante, M. A. 2004. **Desarrollo de bioinsecticidas extraídos de *Willardia mexicana* contra gusano cogollero y trozador del maíz**. Resumen ejecutivo. CIAD, Culiacán, Sin. México. 4 p.
- Aguirre-Zaleta, O. U. 2010. **Efecto de los residuos de metaxifenocida sobre el gusano soldado, *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae)**. Tesis de licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich., México. 60 p.
- Bautista, M. N. y G. Vejar C. 1998. **Lepidópteros más comunes en las hortalizas**. En: *Plagas y enfermedades de las hortalizas en México*. Editorial Trillas, México.
- Borror, D. J.; De Long, D. M.; Triplehorn, C. A. 1954. **An introduction to the study of insects**. Holt, Rinehart and Wilson. New York.
- Borror, D.; D. DeLong and C. Triplehorn. 1989. **An introduction to study of insects**. New York, Saunders College Publishing, 6th ed., 827p.
- Camacho-Báez, J. R. C. García Gutiérrez., J. I. Valenzuela Hernández, E. L. Vázquez Montoya., E. Nava Pérez., D. Armenta Bojórquez, M. Mundo Ocampo. 2010. **Búsqueda de enemigos naturales asociados a la mosca de los estigmas *Euxesta* spp. (Díptera: Otitidae) en maíz blanco en Guasave, Sinaloa, México**. VII Encuentro Nacional de Biotecnología del IPN. Mazatlán, Sinaloa.

- Carballo, M. 2002. **Manejo de insectos mediante parasitoides**. En: *Avances en el fomento de productos fitosanitarios no sintéticos*. Manejo integrado de plagas y agroecología. Costa Rica. 66, 118-122.
- CESAVESIN. 2011. **Manejo fitosanitario de maíz**. (En línea). Disponible en: http://www.cesavesin.gob.mx/web/index.php?option=com_content&view=article&id=72:manejo-fitosanitario-del-maiz&catid=35:campanas&Itemid=481.
- CEVAF. 2003. **Guía para la asistencia técnica agrícola para el área de influencia del Campo Experimental Valle del Fuerte**. INIFAP-CIRNO, Campo Experimental Valle del Fuerte. Agenda Técnica, 6ª ed. Juan José Ríos, Sinaloa, México. 208 p.
- Chyzik, R., I. Glazer y M. Klein. 1996. **Virulence and efficacy of different entomopathogenic nematode species against western flower thrips (*Frankliniella occidentalis*)**. *Phytoparasitica*. 24(2): 103-110.
- Cortez-Mondaca, E. 2007. **Recomendaciones para el control de la mosca pinta en maíz**. En: *El Fitosanitario*. SAGARPA. Los Mochis, Sin. p. 7.
- Cortez-Mondaca, E. 2008. **Recomendaciones para el manejo de las principales plagas insectiles del maíz en el Norte de Sinaloa**. En: *Jornada de manejo sustentable del cultivo de maíz*. Memoria de capacitación. Fundación Produce Durango. 41-51 pp.
- Cortez-Mondaca, E., J. R. Camacho-Báez., J. L. Meza-García., J. I. Valenzuela-Hernández y J. Ramírez-Bojórquez. 2008. En: *Jornada de manejo sustentable del cultivo de maíz*. Memoria de capacitación. Fundación Produce Durango. **Entomofauna benéfica e insecticidas biorracionales en maíz**. 53-65 pp.
- Cortez, Mondaca, E., R. B. Armenta-Arredondo, V. O. Orduño-Tinoco, F. Bahena-Juárez, y J. Pérez-Márquez. 2010. **Parasitismo natural de gusano cogollero J. E. Smith en maíz y sorgo, en Sinaloa, México**. In: Coria A.V. M., Ma. B. N. Lara, Ch., G. Orozco, G., H. J. Muñoz, F., y R. Sánchez M. (eds). XXXIII Congreso Nacional de Control Biológico. pp 213-216.
- Cortez-Mondaca, E., F. A. Valenzuela-Escoboza, V. M. González-Calderón, V. M. Leal-León, M. M. Grivel-Castro. 2011. **Efectividad de insecticidas novedosos al 100% y 50% de la dosis sobre gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) en maíz**. *Entomología Mexicana*. 10 (1):488-492.
- FAO. 2012. **Los plaguicidas, en cuanto contaminantes del agua**. (En línea). Disponible en <http://www.fao.org/docrep/W2598S/w2598s06.htm>.
- Fell, R. D. 2012. **Regulations and basic information: Protecting honey bees**. (En línea). Disponible en: http://pubs.ext.vt.edu/456/456-018/Section-1_Regulations_and_Basic_Information-5.pdf
- García-Gutiérrez, C., J. R. Camacho Báez., E. Nava Pérez., A. D. Armenta Bojórquez., F. López García., E. L. Vázquez Montoya y V. Hernández Ortiz. 2011a. **Mosca de los estigmas del maíz, comportamiento y control biológico**. Resultados de proyectos. Fundación Produce Sinaloa. 9 p.
- García-Gutiérrez, C., E. L. Vázquez-Montoya, J. R. Camacho-Báez y E. Nava-Pérez. 2011b. **Morfología, ciclo de vida y comportamiento de la mosca de los estigmas del maíz *Euxesta stigmatias* (Loew) (Diptera: Ulidiidae) en Sinaloa**. *Southwestern Entomologist*, 36 (1): 111-113.
- García-Gutiérrez, C. y M. B. González Maldonado. 2012. **Formulaciones de hongos entomopatógenos para el control de plagas de hortalizas**. XI Congreso Internacional y XVII Congreso Nacional en Ciencias Ambientales. 5-7 de junio del 2012. Mazatlán, Sinaloa. 139-140 pp.
- González-Hernández, A., and Woolley, J. B. 2001. **Identificación y distribución de los géneros de Encyrtidae (Hymenoptera: Chalcidoidea) en México**. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- González-Hernández, A., Wharton, R. A., Sánchez-García, J. A., López-Martínez, V., Lomelí-Flores, J. R., Figueroa de la Rosa, I., y Delfín-González, H. 2003. **Catálogo ilustrado de Braconidae (Hymenoptera: Ichneumonoidea) en México**. Universidad Autónoma de Nuevo León. ISBN 970-694-114-2.
- Hodkinson, I. D. y M. K. Hugues. 1993. **La fitofagia en los insectos**. M.D. Piulachis, B. (Trad., Inglés-Español). Oikos-tau Barcelona, España. 99 p.
- Jojoa-Bravo, C. J. y C. Salazar-González. 2011. **Evaluación *In vitro* de insecticidas biorracionales para el control de *Agrotis ipsilon* Hüfnagel**. *Revista de Ciencias Agrícolas*. 28(1): 53-63.
- Kogan, M. 1990. **Resistencia de la planta en el manejo de plagas**. In: Metcalf, R. L y W. H. Luckman (comps). *Introducción al manejo de Plagas de Insectos*. Trad. al español, García T, A. y R. Elizondo, M. 1ª ed. 2da edit. Limusa, S. A. de C. V. México, D. F. 123-172.
- Kostandi, S.F., Soliman, M.F., 1991. **The significance of NPK fertilizers on yield and smut incidence of corn**. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 167(4):269-276.
- Lasa, R., I. Pagola., I. Ibañez., J. E. Belda., T. Williams and P. Caballero. 2007. **Efficacy of *Spodoptera exigua* multiple nucleopolyhedrovirus as a biological control in greenhouse of southern Spain**. *Biocontrol Science and Technology*. 17(3): 221-232.

- Lezama-Gutiérrez, R., Alatorre-Rosas, R., Sánchez y García-Figueroa F. 1994. **Evaluación de cepas de *Nomuraea rileyi* y *Paecilomyces fumosoroseus* contra *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae).** Vedaia. 1: 19-22.
- Méndez, W. A., J. Valle., J. E. Ibarra., J. Cisneros, D. I. Penagos and T. Williams. 2002. **Spinosad and nucleopolyhedrovirus mixtures for control of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in maize.** Biological control. 25, 195-206.
- Mendoza, R. J. L., J. Macias, C., y E. Cortez, M. 2003. **Tecnología para mejorar la productividad del maíz en el norte de Sinaloa y su impacto económico.** Folleto técnico No. 21. INIFAP-CIRNO-CEVAF. Los Mochis, Sinaloa, México. 37 p.
- Monnerat, R. E. Martins., P. Queiroz., S. Ordúz., G. Jaramillo., G. Benintende., J. Cozzi., M. Dolores Real., A. Martinez-Ramirez., C. Rausell., J. Cerón., J. E. Ibarra., M. C. Del Rincon-Castro., A. M. Espinoza., L. Meza-Basso., L. Cabrera., J. Sánchez., M. Soberon, and A. Bravo. 2006. **Genetic Variability of *Spodoptera frugiperda* Smith (Lepidoptera: Noctuidae) populations from Latin America is associated with variations in susceptibility to *Bacillus thuringiensis* Cry toxins.** Applied and environmental microbiology. 72(11): 7029-7035.
- Molina-Ochoa, J., J. E. Carpenter., R. Lezama-Gutiérrez., J. E. Foster., M. González-Ramírez., C. A. Angel-Sahagún and J. Farías-Larios. 2004. **Natural distribución of hymenopteran parasitoids of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera. Noctuidae) larvae in Mexico.** Florida entomologist. 87(4): 461-472.
- Pavone, D., M. Díaz., L. Trujillo y B. Dorta. 2009. **Formulación granulada de *Nomuraea rileyi* Farlow (Samson) para el control de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae).** Interciencia. 34(2): 130-134.
- Peña-Martínez, R. 1992. **Biología de áfidos y su relación con la transmisión de virus.** pp. 11-35. In: Urias, M. C., R. Rodríguez-M. y T. Alejandr  -A. (Eds). *  fidos como vectores de virus en México*. Volumen 1. Contribución a la ecología y control de áfidos en México. Centro de Fitopatología.
- Pioneer. 2012a. **Trips *Frankliniella* spp. y su impacto en el cultivo de maíz y sorgo.** (En línea). Disponible en: <http://mexico.pioneer.com/LinkClick.aspx?fileticket=rXEi4wGTyQ0=&tabid=84&language=en-US>.
- Pioneer. 2012b. **Pulgón del maíz. *Rhopalosiphum maidis* (Fitch).** (En línea). Disponible en: <http://mexico.pioneer.com/LinkClick.aspx?fileticket=4g7b%2Brg2ksY%3D&tabid=84&language=en-US>.
- Rabea, E. I., H. M. Nasr and M. E. I. Badawy. 2010. **Toxic effect and biochemical study of chlorfluazuaron, oxymatrine and spinosad on honey bees (*Apis mellifera*).** Arch Environ. Contam. Toxicol. 58:722-732.
- Richmond, D. y W. Baldauf. 2005. **Soluble concentrate formulations of bifenthrin (Talstar) and spinosad (Conserve) for curative.** (En línea). Disponible en: <http://www.agry.purdue.edu/turf/report/2005/49.pdf>
- Rosas-García N. M., Villegas-Mendoza J. M. and Torres-Ortega J. A. 2009. **Design of a *Bacillus thuringiensis*-based formulation that increases feeding preference on *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae.** Journal of Economic Entomology. 102 (1): 58-63.
- Seal, D. R, Jansson R. K. 1989. **Biology and management of corn-silk fly, *Euxesta stigmatis* Loew (Diptera: Otitidae), on sweet corn in southern Florida.** Proceedings of the Florida State Horticultural Society 102: 370-373.
- Torres-Ortega, J. A., N. Rosas-García., R. Garza-Molina y M. Leal-Castillo. **Diseño de una formulación insecticida biodegradable a base de *Bacillus thuringiensis* para el control de *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae).** (En línea). Disponible en: <http://www.turevista.uat.edu.mx/Volumen%205%20Numero%201/insecticida-2.pdf>
- Zamora, M. C., Martínez, A. M., Nieto M. S., Schneiner M. I., Figueroa, J. I., Pineda S. 2008. **Actividad de algunos bioinsecticidas biorracionales contra el gusano cogollero.** Revista Fitotecnia Mexicana. 31(4): 351-357.
- Williams, T., Cisneros J., Penagos D. I., Valle, J. and P. Tamez-Guerra. 2004. **Ultralow rates of spinosad in phagostimulant granules provide control of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Maize.** J. Econ. Entomol. 97(2): 422-428.

Cipriano García Gutiérrez

Licenciatura en Biología por la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN y Maestría en Ciencia en Entomología y Acarología por el Colegio de Posgraduados. Doctor en Ciencias en Ingeniería Bioquímica con especialidad en Biotecnología. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel II y miembro honorífico del Sistema Sinaloense de Investigadores. Profesor Investigador Titular en el Dpto. de Biotecnología Agrícola del CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa.

María Berenice González Maldonado

Ingeniero Químico y Maestro en Ciencias en Ingeniería Bioquímica por el Instituto Tecnológico de Durango. Profesor Investigador Titular del CIIDIR-IPN Unidad Durango, líneas de investigación: Control Biológico de Plagas agrícolas, Producción de bioinsecticidas y Entomología agrícola. Responsable del laboratorio de Entomología.

Edgardo Cortez Mondaca

Licenciatura en Parasitología Agrícola por la Escuela Superior de Agricultura del Valle del Fuerte-Universidad Autónoma de Sinaloa. Maestría en Ciencias en Protección Vegetal por la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Doctorado en Entomología y Acarología Agrícola por el Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel I y miembro honorífico del Sistema Sinaloense de Investigadores. Investigador de Entomología en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, en el Campo Experimental Valle del Fuerte.

Ra Ximhai

Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo
Sustentable

Ra Ximhai
Universidad Autónoma Indígena de México
ISSN: 1665-0441
México

2012

**ENEMIGOS NATURALES DE LAS MOSCAS DE LOS ESTIGMAS DEL MAÍZ:
Euxesta stigmatias (Loew), *Chaetopsis massyla* (Walker) y *Eumecosommyia nubila*
(Wiedemann) EN GUASAVE SINALOA, MÉXICO**

Jesús Ricardo Camacho-Báez; Cipriano García- Gutiérrez; Manuel Mundo-Ocampo;
Adolfo Dagoberto Armenta-Bojorquez; Eusebio Nava-Pérez; Jesús Ignacio Valenzuela-
Hernández y Ulises González-Guitrón

Ra Ximhai, septiembre - diciembre, año/Vol. 8, Número 3
Universidad Autónoma Indígena de México
Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. pp. 71-77.



e-revist@s

ENEMIGOS NATURALES DE LAS MOSCAS DE LOS ESTIGMAS DEL MAÍZ: *Euxesta stigmatias* (Loew), *Chaetopsis massyla* (Walker) y *Eumecosommyia nubila* (Wiedemann) EN GUASAVE SINALOA, MÉXICO

NATURAL ENEMIES OF CORN SILK FLIES: *Euxesta stigmatias* (Loew), *Chaetopsis massyla* (Walker) AND *Eumecosommyia nubila* (Wiedemann) IN GUASAVE SINALOA, MÉXICO

Jesús Ricardo **Camacho-Báez**¹; Cipriano **García-Gutiérrez**¹; Manuel **Mundo-Ocampo**¹; Adolfo Dagoberto **Armenta-Bojorquez**¹; Eusebio **Nava-Pérez**¹; Jesús Ignacio **Valenzuela-Hernández**² y Ulises **González-Guitrón**²

¹Profesor investigador. CIIDIR COFAA -IPN Unidad Sinaloa. Boulevard Juan de Dios Bátiz Paredes No. 250, Guasave, Sinaloa, Tel. 016878729626 y 29625. ²Estudiante de la maestría en Recursos Naturales y Medio Ambiente. CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa.

RESUMEN

El complejo de moscas de los estigmas *Euxesta stigmatias* (Loew), *Chaetopsis massyla* (Walker) y *Eumecosommyia nubila* (Wiedemann) han adquirido importancia como plagas en el cultivo de maíz en Sinaloa, y sus daños están asociados a pudriciones que afectan la calidad del elote y el rendimiento del grano. Este trabajo tiene por objetivo presentar el resultado de la búsqueda de enemigos naturales (parasitoides, depredadores y nematodos entomopatógenos) con potencial para el control biológico de este complejo de moscas. El trabajo se realizó durante el ciclo agrícola primavera-verano de 2011. Se hicieron 8 muestreos semanales con red entomológica y colecta de frutos, en la etapa de fructificación y maduración del grano en lotes de maíz sembrados con el híbrido Asgrow Garañón, predominando dos avispas del orden Hymenoptera de las familias Pteromalidae y Eurytomidae, que parasitan a la mosca de los estigmas en el estado de pupa; *Spalangia* spp., se observó con mayor frecuencia ejerciendo un parasitismo natural del 47 % sobre *Euxesta stigmatias* (Loew) durante las etapas de fructificación y maduración de los frutos. La chinche pirata *Orius insidiosus* (Say) estuvo presente durante los meses de marzo a julio depredando a huevecillos y larvas de la mosca. Por otro lado, se realizaron muestreos de suelos para aislar e identificar poblaciones de nematodos entomopatógenos, utilizando al insecto trampa *Galleria melonella* (L.), se aislaron poblaciones en tres sitios sembrados con maíz localizados en el CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa, en los ejidos Guasave y Maximiliano R. López, todos ubicados en el municipio de Guasave. Los nematodos encontrados en los sitios pertenecen a especies de la familia Rhabditidae, la identificación a nivel de género está en proceso. Los enemigos naturales encontrados se caracterizan por tener potencial para evaluarse como agentes de control biológico del complejo de moscas de los estigmas.

Palabras clave: Moscas de los estigmas, *Spalangia*, *Orius*, parasitoide, depredadores, nematodos entomopatógenos.

SUMMARY

The flies species complex of corn, known as "stigma flies", including the corn-silk fly, *Euxesta stigmatias* (Loew), *Chaetopsis massyla* (Walker) and *Eumecosommyia nubila* (Wiedemann), they have become an important pest problem in the state of Sinaloa. The damage is associated with decaying symptoms has severely affected the quality and yield of the crop. The objectives of this research project are to report sampling results on the presence of natural sources of biological control agents (parasitoids, predators, and entomopathogenic nematodes) with biological control potential capacity to manage the populations of this flies species complex. This research was conducted during the spring-summer growing season of 2011. Samples were collected for eight continuous weeks during the corn cob development and maturation. The sampled corn variety was the hybrid Asgrow Garañón. We collected predominant two wasp species belonging to the order Hymenoptera, families Pteromalidae and Eurytomidae, which are parasites to the pupa stage of corn silk fly. In addition, a wasp from the genus *Spalangia* spp. The latter has shown a stronger natural parasitic effect of 47% on *Euxesta stigmatias* (Loew). We also observed a population of the pirate bug *Orius insidiosus* (Say) during the months of March-July, attacking several developmental stages of the fly. Soil samples were also processed to isolate and to identify populations of possible entomopathogenic nematodes (EPN). Larvae of *Galleria melonella* L. were utilized as nematode traps. Populations of nematodes from three different sites were isolated from CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa, Guasave and Maximiliano R. Lopez, all located in the Guasave. The isolated populations are included in the Rhabditidae family, genus and species identification is still in progress. The natural enemies found have shown potential capacity to assesses them as biological control agents on the corn flies complex.

Key words: Corn-silk fly, *Spalangia*, *Orius*, parasitoid, predator, and entomopathogenic nematodes.

INTRODUCCIÓN

En México el Estado de Sinaloa es el principal productor de maíz; en el ciclo agrícola otoño-invierno (2008-2009) se sembraron de esta gramínea 472,386 ha y se cosecharon 4'914,258 ton (SIAP-SAGARPA, 2009). Uno de los factores limitantes en el rendimiento del grano es el efecto de plagas y enfermedades, favorecidas por el monocultivo debido principalmente a la extensa

superficie de maíz sembrada durante los ciclos agrícolas otoño-invierno y su continuidad en los ciclos agrícolas de primavera-verano que propician esa condición (García, 2009).

La mosca de los estigmas del maíz *Euxesta stigmatias* (Loew) es una plaga de importancia económica en Florida, USA (Seal *et al.*, 1996). Es parte de un complejo que incluye también a las especies *Chaetopsis massyla* (Walker) y *Eumecosomyia nubila* (Wiedemann). En el Noroeste de México es reportada desde hace tiempo (Pacheco, 1986), aunque como un insecto plaga secundario que no provocaba daños importantes al grano del maíz. En Sinaloa, en los últimos ciclos agrícolas de primavera-verano se ha observado a estas moscas provocando daños importantes que afectan la producción y la calidad del grano (Fig. 1a-d), que algunas veces se asocian con pudriciones del grano en la que se presenta algún tipo de patógeno posiblemente *Fusarium* (Cortez, 2009), también es atraída por los daños producidos por el gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidóptera: Noctuidae) cuando este afecta a los frutos, y también por el gusano elotero *Helicoverpa zea* (Boddie) (Lepidóptera: Noctuidae), en su conjunto estas plagas se han convertido en las principales plagas de importancia económica, en maíces establecidos en el ciclo agrícola primavera-verano; los daños causados por estos insectos en su conjunto ocasionan fuertes pudriciones que afectan la calidad del elote y el rendimiento del grano (García, 2010). Lo anterior quizás debido a las condiciones ambientales que prevalecen en esa época de siembra que favorecen su desarrollo y abundancia. Esta situación ha provocado que los productores agrícolas realicen aplicaciones de insecticidas que resultan poco exitosas debido al escaso cubrimiento de la aspersión y a que el insecto se protege por el follaje abundante de las plantas de maíz y porque el estado larvario de la mosca se desarrolla en el fruto el cual la protege de los insecticidas y debido a que algunas veces las aplicaciones se efectúan tardíamente.



Figura 1. a) Moscas de los estigmas atraídas por el daño de gusanos en el fruto, b) Larvas de moscas alimentándose en puntas de frutos y granos adyacentes, c) Daños en el fruto y d) Pupas de moscas de los estigmas en hojas que envuelven a los frutos de maíz.

Enemigos naturales de la mosca de los estigmas

Parasitoides. Sobre las avispas del género *Spalangia* (Hymenoptera: Pteromalidae) se ha encontrado que parasitan a diferentes especies de moscas, específicamente a pupas, esta avispa parasitoide tiene la capacidad de penetrar hasta 20 cm de profundidad en búsqueda de sus presas en diferentes tipos de materia orgánica (estiércol y basura), una vez que localiza a su huésped, lo parasita depositando un huevecillo dentro de la pupa, completando su desarrollo en 15 días (Nava *et al.*, 2002).

En Venezuela, Montilla *et al.* (2007) señalan la presencia de la avispa *Spalangia drosophilae* Ashmead (Hymenoptera: Pteromalidae) parasitando pupas de la mosca de la piña *Melanoloma viatrix* (Hendel) (Diptera: Richardiidae).

Depredadores. Existen reportes de insectos que depredan a diferentes especies de insectos en el cultivo de maíz en sus diferentes estados biológicos sobresaliendo la chinche pirata *Orius insidiosus* (Say) (Hemiptera: Anthocoridae), que es reportada como depredador de diferentes plagas en cultivos agrícolas (Pacheco, 1986; Knutson *et al.*, 1996, Cortez, 2009). El único enemigo

natural reportado en la literatura para *E. stigmatias* y posiblemente también depredador de *C. massyla* y *E. nubila*, es la chinche pirata *O. insidiosus* que se alimenta de huevecillos durante el ciclo agrícola otoño-invierno, este depredador es uno de los enemigos naturales más importantes que ayudan a regular a las poblaciones de esta y otras plagas, pues es posible observar numerosas chinches en las barbas formadas por los estigmas (Cortez, 2009).

Nematodos entomopatógenos. Los nematodos entomopatógenos (NEP) son considerados actualmente como una de las alternativas más prometedoras de control biológico contra insectos plaga, por las siguientes ventajas: presentan un amplio rango de insectos hospederos, causando una infestación rápida y la subsecuente eliminación de los insectos; son fácilmente cultivados y aplicados en el campo, donde localizan y colonizan a los insectos en el suelo. Durante su manejo son inocuos para el hombre y el medio ambiente y no perjudican a otras especies de organismos en el suelo (Boemare *et al.* 1996; Smart, 1995; Stock, *et al.*, 1999).

Existen principalmente dos familias de nematodos que han sido reconocidos como nematodos entomopatógenos (NEP), estas son las familias Steinernematidae y Heterorhabditidae (Nematoda: Rhabditida), aunque existen otros casos de nematodos que pertenecen a otros grupos taxonómicos, tales como Diplogasteridae. Los nematodos entomopatógenos han desarrollado una asociación mutualista/simbiótica con bacterias específicas, por lo que su patogenicidad hacia los insectos es determinada por esta relación con las bacterias con las que se asocia e introducen en el cuerpo de los insectos. Por ejemplo, *Steinernema* spp se relaciona con bacterias simbióticas del género *Xenorhabdus*, mientras que *Heterorhabditis* spp., con el género *Photorhabdus* (Adams and Nguyen, 2002; Boemare *et al.*, 1996). Las bacterias del género *Photorhabdus* son luminiscentes en los cadáveres de los insectos hospederos que infectan, esto puede ser utilizado como un carácter para identificar a la bacteria (Harvey, 2010). Al establecer una interacción o relación patogénica se establecen y reproducen consumiendo y eliminando diversos grupos de insectos, entre los cuales se encuentran plagas de diversas plantas, tanto naturales como cultivadas. Las bacterias sirven como fuente de alimento esencial para completar el ciclo de vida de los nematodos entomopatógenos (Lewis *et al.*, 2006).

En virtud de lo anterior y dado que en México no hay suficiente información sobre los enemigos naturales de esta plaga, se realizó el presente trabajo cuyo objetivo fue: Realizar una búsqueda de enemigos naturales (parasitoides, depredadores y nematodos entomopatógenos, que afectan al complejo de moscas de los estigmas *Euxesta stigmatias*, *Chaetopsis massyla* y *Eumecosommyia nubila* en maíz blanco en Guasave Sinaloa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se realizó en el Centro Interdisciplinario de Investigación para el desarrollo Integral Regional CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa, en una parcela experimental de maíz sin aplicación de insecticidas, la cual se estableció durante el ciclo agrícola primavera-verano 2011 en una superficie aproximada de 2000 m² con sistema de riego por goteo y en parcelas de productores cooperantes en los ejidos: Progreso y Cubilete.

Colecta e identificación de parasitoides y depredadores

Las parcelas se inspeccionaron semanalmente durante el ciclo agrícola, se realizó la colecta directa de insectos en 100 plantas de maíz durante una hora, se efectuó muestreo con red entomológica realizando 150 golpes de red y colecta de 50 frutos con madurez avanzada para separar estados inmaduros de la mosca, específicamente en estado de pupa; en el laboratorio se separaron individualmente, se depositaron en vasos de plástico No.0 con tapadera, donde se observó la emergencia de parasitoides.

Los insectos parasitoides y depredadores colectados se pusieron en tubos eppendorf de 2.5 ml y en frascos viales de cristal de 20 ml, y se conservan en alcohol al 70%. También se realizaron muestreos de suelos cultivados con maíz para la búsqueda de nematodos entomopatógenos, el

tamaño de la muestra fue de 2 kg. Los suelos se procesaron en el laboratorio utilizando el método del embudo de Baermann, para separar los nematodos presentes en el suelo, estos se identificaron con claves taxonómicas para Nematodos Entomopatógenos (Nguyen and Hunt, 2007) y las que contenían NEP se separaron y se pusieron en contacto directo con larvas del insecto trampa *G. melonella* L. (Kaya *et al.*, 1993). Se observó si lograron penetrar e infectar al insecto y su capacidad de reproducción, y relación patogénica con el insecto.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Identificación de parasitoides

La avispa *Spalangia* spp. fue la que predominó, la cual mostró un parasitismo natural en campo de un 47 % en la parcela experimental establecida en el CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa, mientras que en el Ejido el Progreso tuvo un parasitismo natural de un 38 %, en muestras colectadas en las etapas de fructificación y madurez fisiológica del cultivo de maíz durante los meses de junio y julio de 2011, durante el ciclo agrícola primavera-verano de 2011, afectando a la mosca de los estigmas en el estado de pupa (Fig. 2a-c).

Para el Estado de Sinaloa es el primer reporte de esta avispa *Spalangia* spp. (Hymenoptera: Pteromalidae) atacando pupas de la mosca de los estigmas, aunque también este género es reportado como parasitoide de pupas de la mosca común *Musca domestica* L., y mosca de los establos *Stomoxys calcitrans* (L.) (Diptera: Muscidae) (CABI, 2005; Inciso y Castro, 2007; Lecuona *et al.*, 2007). De la otra especie de avispa de la familia Eurytomidae aún está pendiente su determinación taxonómica y no se sabe si parasita a los otros géneros de moscas de los estigmas que se presentan asociadas al cultivo de maíz.

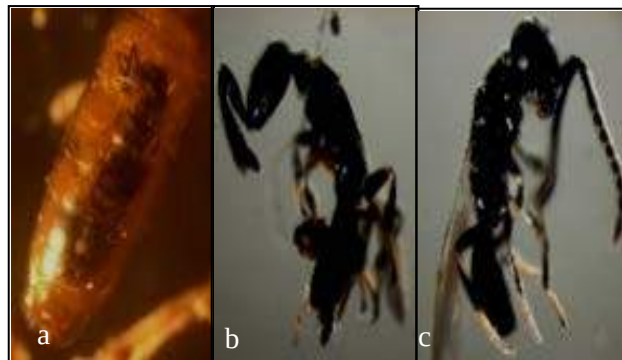


Figura 2. a) Pupa de mosca de los estigmas parasitada por *Spalangia* spp. b) *Spalangia* spp. ♀ c) *Spalangia* spp. ♂.

Depredadores

Se observó a la Chinche pirata *Orius insidiosus* (Say) (Hemíptera: Anthocoridae). Principal insecto reportado como depredador de diferentes estados biológicos de la mosca, encontrando mayor abundancia en los maíces establecidos durante el ciclo agrícola primavera- verano 2011. Esta especie de depredador se considera un buen agente de control biológico en la región de estudio, por su permanencia estacional y su abundancia aparente, así como su actividad, ya que se observó alimentándose de huevecillos de lepidópteros y de huevecillos y larvas del complejo de moscas de los estigmas.

Durante el ciclo agrícola primavera verano 2011, en los meses de marzo a junio, se observó la presencia de otros insectos depredadores asociados al cultivo de maíz tanto en las parcelas del CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa como en la localizada en el ejido el Progreso (Cuadro 1).

Cuadro 1. Insectos depredadores asociados al cultivo de maíz, ciclo agrícola primavera-verano 2011.

Nombre común	Nombre científico	Orden	Familia
Catarinita rosa	<i>Coleomegilla maculata</i> (De geer)	Coleóptera	Coccinellidae
Catarinita roja	<i>Cycloneda sanguinea</i> (L.)	Coleóptera	Coccinellidae
Catarinita anaranjada	<i>Hippodamia convergens</i> (Guérin-Méneville)	Coleóptera	Coccinellidae
Mosca sirfida	<i>Metasyrphus</i> sp	Díptera	Syrphidae
Crisopa	<i>Chrysoperla</i> spp	Neuróptera	Chrysopidae

A nivel regional no hay datos de la abundancia de estos agentes de control biológico, así como de su respuesta funcional sobre los diferentes estados biológicos de la mosca de los estigmas; aunque estos depredadores se presentan de manera común alimentándose de larvas y huevecillos de otros insectos plaga del maíz.

Nematodos

Se obtuvieron 3 aislamientos de nematodos entomopatógenos en sitios ubicados en los ejidos: Guasave, Maximiliano. R. López y el CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa, respectivamente encontrando poblaciones que corresponden a las especies de la familia Rhabditidae, la identificación a nivel de género y especie está en proceso, aunque estos resultados indican la posibilidad de que sean infectivos contra la mosca de los estigmas, contribuyendo así al control biológico de esta plaga.

CONCLUSIONES

Se encontraron parasitoides, depredadores y nematodos entomopatógenos asociados al complejo denominado mosca de los estigmas *Euxesta stigmatias*, *Chaetopsis massyla* y *Eumecosommyia nubila*. Dentro de los parasitoides se encontró el predominio de *Spalangia* spp con un 47 % de parasitismo natural en la parcela experimental del CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa y un 38 % en la parcela ubicada en el ejido el Progreso, en los meses de junio y julio. La presencia continua de esta especie en los ciclos agrícolas de siembra de primavera verano y dado que *Spalangia* es un parasitoide de pupas, se tiene la posibilidad que se pueda utilizar para el control biológico por aumento contra la mosca de los estigmas en cultivos maíz durante el ciclo agrícola otoño-invierno, e impactar a las siguientes generaciones de la población del insecto plaga.

Dentro de los depredadores se encontró a la chinche pirata *O. insidiosus* (Say), la cual se considera como la de mayor importancia, ya que se encontró depredando a huevecillos de lepidópteros y huevecillos, así como a las larvas de la mosca de los estigmas *E. stigmatias*, *Chaetopsis massyla* y *E. nubila*.

En conclusión, este trabajo es una contribución al conocimiento de estos agentes de control biológico de plagas del maíz en el Norte de Sinaloa. Los nematodos entomopatógenos encontrados están en proceso de identificación, así como las pruebas específicas de efectividad biológica sobre el complejo de moscas de los estigmas del maíz.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Politécnico Nacional por el financiamiento otorgado a través del proyecto SIP 20100250 y 2011034 y al Proyecto: Estudio del comportamiento de la mosca del estigma del maíz como base para su control biológico con hongos entomopatógenos en el Valle agrícola de Guasave, Sinaloa, apoyado por Fundación Produce Sinaloa en la convocatorias 2009, 2010 y 2011. Al Dr. Alejandro González Hernández, Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL, San Nicolás de los Garza, N. L. por la identificación del parasitoide de pupas *Spalangia* spp. Así como también el apoyo en los trabajos de campo y laboratorio de los estudiantes de la Licenciatura en Ingeniería Agronómica de la Escuela Superior de Agricultura del Valle del Fuerte: Jaziel Alberto Díaz Chon, Edgardo Espinoza Veliz y Juan de Dios Durán Osorio.

LITERATURA CITADA

- Adams, B. J and K. B. Nguyen. 2002. **Taxonomy and Systematic**. Published in Entomopathogenic Nematology, pp. 1-35, R. Gaugler (ed.), CABI publishing, Wallingford, England.
- Boemare, N. E., Laumond, C. and Mauleon, H. 1996. **The nematode-bacterium complexes: biology, life cycle, and vertebrate safety**. Biocontrol Sci Technol 6, 333-345.
- CAB Internacional (CABI). 2005. **Crop Protection Compendium**. Wallingford, UK: CAB International.
- Cortez, M. E, Camacho B. J, Meza G. L. 2009. **La mosca de los estigmas *Chaetopsis massyla* (Walker), *Eumecosomyia nubila* (Wiedemann) y *Euxesta stigmatias* (Loew)**. En: *Maíz; bioecología y manejo*. Tecnología de granos y semillas. Libros técnicos: Serie Agricultura. Universidad Autónoma Indígena de México. Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa., CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa. Guasave, Sinaloa., Colegio de posgraduados, Campus Puebla. Puebla, México.
- García G. C., Nava P. E., Camacho B. J., Armenta B. D., Vázquez M. E., Cortez M. E. 2009. **Comportamiento y control biológico de la mosca del estigma en maíz**. Folleto técnico. Resultados de Investigación. Fundación Produce Sinaloa zona Norte. p. 27
- García G. C., Nava P. E., Camacho B. J., Armenta B. D. 2010. **Identificación y control de la mosca de los estigmas del maíz**. IV Jornada de transferencia de tecnología del cultivo de maíz. Folleto Técnico Memoria de capacitación. Fundación Produce Sinaloa zona Norte. pp. 63-68.
- Harvey, Christopher D. 2010. **Ecological impact of entomopathogenic nematodes used to control the large pine weevil, *Hylobius abietis* (Coleoptera: Curculionidae)**. PhD thesis, National University of Ireland Maynooth.
- Inciso, E., y J. Castro. 2007. **Evaluación de *Spalangia endius* y *Muscidifurax* sp. como controladores de *Musca domestica* en el Perú**. Rev. Perú Biol. Número especial. 13(3): 237-241.
- Kaya, H. K., Bedding, R. A. and Akhurst, R. J., 1993. **An overview of insect parasitic nematodes**. pp 1-10. In: R. A. Bedding R. J. Akhurst and H. K. Kaya, eds. *Nematodes and the biological control of insect pest*. East Melbourne, Australia, CSIRO Publications.
- Knutson, A., Ruberson, J. 1996. **Recognizing the good bugs in cotton**. Field Guide to predators, parasites and phatogens attacking insect and mite pest of Cotton Texas Cooperative Extension. The Texas A&M University System. (En línea). Disponible en <http://tcebookstore.org>, <http://texas.extensions.tamu.edu>.
- Leucona, R., Crespo, D., La Rossa, F. 2007. **Populational parameters of *Spalangia endius* Walker (Hymenoptera: Pteromalidae) on Pupae of *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae) treated with two strains of *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. (Deuteromycetes)**. Neotrop. entomol. 36(4): 537-541.
- Lewis, E. E., J. Campbell, C. Griffin, H. Kaya and A. J. Peters. 2006. **Behavioral ecology of entomopathogenic nematodes**. Biological Control 38: 66-79
- Montilla, R., García J. L., La Cruz L., Durán D. 2007. ***Spalangia drosophilae* Ashmead (Hymenoptera: Pteromalidae) parasitoide de pupas de la mosca de la piña *Melanoloma viatrix* hendel (Díptera: Richardiidae) en Trujillo, Venezuela**. Agronomía Trop. 57(2): 107-112.
- Nava C. U., Vázquez N. J. M., García G. F. 2002. **Producción y utilización de parasitoides de moscas**. Primer Taller Nacional: Herramientas de la agricultura del tercer milenio. Control Biológico. Sensores Remotos. Guasave, Sinaloa. 11 al 16 de marzo de 2002. pp. 27-38.
- Nguyen, K. and D.J. Hunt. 2007. **Entomopathogenic Nematodes: Systematics, Phylogeny and Bacterial Symbionts**. 2007 Ed. by K.B. Nguyen and D. Hunt. Brill, The Neitherland. 816 pp.
- Pacheco, M. F. 1986. **Plagas de los cultivos agrícolas en Sonora y Baja California Libro Técnico No. 1**. p. 355.
- Seal D. R., Jansson R. K. and Bondari K. 1996. **Abundance and reproduction of *Euxesta stigmatias* (Diptera: Otitidae) on sweet corn in different environmental conditions**. Florida Entomologist. 79:413-422.
- SIAP-SAGARPA, 2009. **Servicio de información estadística agroalimentaria (SIAP)** <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/integra/Agricola/DatBas/DBmaiz.pdf>. 30 de junio de 2009
- Smart, G. C. Jr., 1995. **Entomophathogenic nematodes for the biological control of insects**. Journal of Nematology. 27: 529-534.
- Stock, S. P., Pryor, B. M., Kaya, H. K. 1999. **Distribution of entomopathogenic nematodes (Steinernematidae and Heterorhabditidae) in natural habitats in California. USA**. BiodConser. 8: 535-549.

Jesús Ricardo Camacho Báez

Maestría en Ciencias por el CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa, especialidad en Recursos Naturales y Medio Ambiente, Ingeniero Agrónomo Especialista en Parasitología en la Escuela Superior de Agricultura (UAS)

Culiacán, Sinaloa. Profesor Investigador CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa. Miembro del Sistema Sinaloense de Investigadores y Tecnólogos de Sinaloa.

Cipriano García Gutiérrez

Doctorado en Ciencias (especialidad en Ingeniería y Biotecnología) Instituto Tecnológico de Durango, Maestría en Ciencias con especialidad en Entomología y Acarología, Colegio de Postgraduados. Biólogo de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas I.P.N. Profesor Investigador CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI Nivel II). Miembro del Sistema Sinaloense de Investigadores y Tecnólogos de Sinaloa.

Manuel Mundo Ocampo

Doctorado en Fitopatología con especialidad en Nematología. Universidad de California, Riverside. Maestría en Fitopatología Colegio Superior de Agricultura Tropical (CSAT-SARH). Licenciatura en Biología Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México Profesor Investigador CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI Nivel I). Miembro del Sistema Sinaloense de Investigadores y Tecnólogos de Sinaloa.

Adolfo Dagoberto Armenta Bojórquez

Doctorado y Maestría en Edafología en el Colegio de Postgraduados, Montecillos, México. Ingeniero Agrónomo Especialista en Edafología en la Escuela Superior de Agricultura (UAS) Culiacán, Sinaloa. Profesor Investigador del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional del Instituto Politécnico Nacional CIIDIR (COFFA) IPN Unidad Sinaloa. Miembro del Sistema Sinaloense de Investigadores y Tecnólogos de Sinaloa.

Eusebio Nava Pérez

Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Facultad de Ciencias Químico- Biológicas de la Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS). Ingeniero Bioquímico en el Instituto Tecnológico de los Mochis, Sinaloa. Profesor Investigador CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa. Miembro del Sistema Sinaloense de Investigadores y Tecnólogos de Sinaloa.

Jesús Ignacio Valenzuela Hernández

Licenciado en Biología, Estudiante de la Maestría en Recursos Naturales y Medio Ambiente en el Centro Interdisciplinario para el Desarrollo Integral Regional CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa.

Ulises González Guitrón

Ingeniero Agrónomo, Estudiante de la Maestría en Recursos Naturales y Medio Ambiente en el Centro Interdisciplinario para el Desarrollo Integral Regional CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa.

Ra Ximhai

Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo
Sustentable

Ra Ximhai
Universidad Autónoma Indígena de México
ISSN: 1665-0441
México

2012

MEJORAMIENTO VEGETAL USANDO GENES CON FUNCIONES CONOCIDAS

Jesús Quiroz-Chávez; Luz María García-Pérez y Francisco Roberto Quiroz-Figueroa
Ra Ximhai, septiembre - diciembre, año/Vol. 8, Número 3
Universidad Autónoma Indígena de México
Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. pp. 79-92.



e-revist@s

MEJORAMIENTO VEGETAL USANDO GENES CON FUNCIONES CONOCIDAS

PLANT IMPROVEMENT BY KNOWN-FUNCTION GENES

Jesús **Quiroz-Chávez**; Luz María **García-Pérez**; Francisco Roberto **Quiroz-Figueroa**¹

Profesor Investigador. Laboratorio de Fitomejoramiento Molecular, Departamento de Biotecnología Agrícola, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Sinaloa, Instituto Politécnico Nacional (CIIDIR IPN Unidad Sinaloa). Blvd. Juan de Dios Bátiz Paredes No. 250, Col. San Joachin, Guasave Sinaloa, c.p. 81100. fquirozf@hotmail.com.

RESUMEN

El mejoramiento de plantas mediante la inserción de un fragmento de ADN usando ingeniería genética representa una oportunidad para desarrollar cultivares o variedades con características económicamente deseables, como conferir ventajas adaptativas al medio ambiente, mejores propiedades nutrimentales y disminución del uso de agroquímicos. Dada la polémica alrededor de este tipo de tecnologías la justificación de su desarrollo y uso dependerá del entorno socio-cultural y deberá ser estudiado caso por caso. El presente documento tiene el objetivo de plantear un panorama de los Organismos Genéticamente Modificados (OGM), sus ventajas y desventajas, y establecer el porqué constituyen una oportunidad para desarrollar cultivares con características que por métodos tradicionales no podrían obtenerse.

Palabras clave: Fitomejoramiento, gen *nhr1*, planta modificada genéticamente y OGM.

SUMMARY

Plant molecular improvement by recombinant DNA technology represents an advantage to obtain new varieties or traits. This technique is promised for genetic improvement of crop plants. Lines with increased yield, quality, disease resistance, or tolerant to abiotic stress have been obtained, with clear advantages for producers, marketers and consumers. However, they have several limitations in its application to agriculture because of its risk and hazards. The aim of the document is to show the advantages and disadvantages of GM crop plant, to develop represent an opportunity to have new exotic traits.

Key words: Plant molecular improvement, *nhr1*gen and GM crop plant.

INTRODUCCIÓN

El incremento constante de la población ha tenido como consecuencia una demanda cada vez mayor de recursos alimentarios y materias primas. Desafortunadamente la selección y cruce controlada de ejemplares con características de interés solo ha podido resolver esta problemática de manera parcial, por lo que se espera que la implementación de herramientas y estrategias moleculares a los métodos empleados tradicionalmente, permita obtener plantas con una mayor productividad, calidad y nuevos productos agrícolas (Chávez-Araujo, 1993).

El fitomejoramiento, también conocido como mejoramiento de las plantas, es la ciencia del desarrollo de plantas para producir nuevas variedades con características deseables. Durante la mejora de un cultivo, se realizan cruces entre individuos portadores de las características de interés; de las semillas resultantes se seleccionarán las que presenten la o las características que se quieren preservar. Estos individuos se someterán a otra ronda de cruces con la finalidad de obtener una nueva variedad con una característica deseada, tal variedad incluye una serie de pruebas adicionales antes de su liberación al mercado. La obtención de mejores cultivos ha sido una de las principales aplicaciones de la biotecnología y su contribución a la agricultura es significativa pues se han logrado un gran número de cultivos con diversos beneficios (Miyazaki *et al.*, 1987).

El mejoramiento genético se inició cuando el hombre empezó a recolectar las mejores plantas y multiplicarlas, siendo la selección el primer método de mejoramiento. En la actualidad, el mejoramiento convencional o domesticación de cultivos sigue los principios básicos de selección y cruce entre individuos con características deseables (Acquaah, 2006). Además de estas prácticas, se han incorporado nuevas tecnologías para incrementar y facilitar la obtención de plantas con mejores características, aunque actualmente existe una gran controversia sobre el uso y los beneficios a mediano y largo plazo de la aplicación de tales tecnologías y los productos obtenidos, particularmente en caso de los organismos mejorados genéticamente (OMG) mediante ingeniería genética (Parrott, 2010), ya que presentan grandes ventajas en la implementación de plantas con nuevas características que por métodos del mejoramiento convencional no es posible adquirir

(Uzogara, 2000). Como ejemplo, los programas de mejoramiento genético convencional dependen de la presencia de alta variación genética, por lo que se deben asegurar tales fuentes de variación en forma de colecciones denominadas bancos de germoplasma (Chávez-Araujo 1993). En contraste, el mejoramiento empleando técnicas moleculares usa la denominada técnica de mutagénesis (inducción de mutaciones utilizando agentes mutagénicos como radiación, o compuestos químicos) para crear variación genética (Gustafsson *et al.*, 1954).

Fitomejoramiento convencional o tradicional

Inicialmente, la domesticación de los cultivos se describió como un aceleramiento en el proceso de evolución que presentan de forma natural los organismos, en este caso las plantas, resultando en cambios de interés para el hombre con la finalidad de obtener individuos con nuevos rasgos o mejorar los ya existentes (Cong *et al.*, 2008). Una de las técnicas utilizadas ha sido el apareamiento artificial, es decir la cruce entre los parentales seleccionados para producir nuevos individuos en los cuales convergen las características deseadas, este método es restringido a especies con reproducción sexual y compatible entre sí (Acquaah, 2006).

En los inicios de la agricultura las tribus resguardaban aquellas semillas provenientes de las plantas con mejor aspecto para utilizarlas en la siguiente temporada, este proceso gradualmente llevo a las plantas que actualmente cultivamos, de ser individuos silvestres e independientes a ser completamente dependientes del hombre (Acquaah, 2006), con rasgos seleccionados como mayor producción de frutos, tanto en número como en tamaño, color, textura, sabor, maduración, apariencia y la calidad, así como la arquitectura de la planta y su capacidad de resistir estrés abiótico o biótico (Paran *et al.*, 2007; Schubert *et al.*, 2009). Un aspecto importante que se debe tomar en cuenta para el uso de esta técnica, es la compatibilidad de los cultivos, ya que las cruces deben realizarse entre organismos de la misma especie o ser compatibles sexualmente y que a la vez estos produzcan descendencia fértil (Acquaah, 2006).

Casos extremos dentro de la domesticación de los cultivos han tenido gran importancia en la alimentación de la población mundial como en el caso del tomate (*Solanum lycopersicum* L.), perteneciente a la familia de las *Solanaceas*. La domesticación de manera intensiva de este cultivo se inicio en Europa en los siglos XVIII y XIX y fue en este último siglo cuando los mejoradores generaron un gran número de cultivares diferentes a partir de una sola especie (*S. lycopersicum*), la cual es la única especie domesticada. Se piensa que la domesticación se inició en América, muy probablemente en México, y se considera Perú como el centro de diversidad de parentales silvestres (Bai *et al.*, 2007). Las características de interés en este cultivo son la forma, tamaño y color del fruto. Las variedades que actualmente se cultivan producen frutos con un número y tamaño mucho mayor a su ancestral silvestre *Lycopersicon pimpinellifolium* (Jusl.) Mill (Cong *et al.*, 2008) y a los frutos producidos en condiciones silvestres (Bai *et al.*, 2007).

Pero, ¿qué es lo que cambió dentro de las células del tomate que cultivamos respecto a su ancestro y a las plantas que crecen de manera silvestre?, se sabe que el responsable de los cambios observados es un factor transcripcional, en este caso el cambio en la masa del fruto se debe al cambio regulatorio de una proteína que actúa controlando la expresión de otros genes o factor transcripcional llamado YABBI, involucrado en controlar el número de carpelos durante la floración y el desarrollo del fruto (Cong *et al.*, 2008). Este ejemplo muestra como algunas características agronómicas de interés podrían estar controladas por genes que podrían ser potenciados mediante la ingeniería genética en las especies o variedades de interés.

Otro caso muy conocido es la domesticación del maíz *Zea mays* L., proveniente de la hierba silvestre teosinte -*Zea mays* ssp. *Parviglumis* Iltis y Doebley o spp. *mexicana*- (Beadle, 1939), cuyo centro de origen se ubica en América Central, muy probablemente México o Guatemala debido a la gran variedad de especies y variabilidad genética que ahí se encuentran, distribuyéndose desde estas regiones al resto del mundo (Acquaah, 2006), en un proceso que demoró cientos de años (Wang *et al.*, 1999) y que llevó a que las variedades de maíz que actualmente se cultivan sean incapaces de sobrevivir por sí mismos en condiciones silvestres. Respecto a los cambios a nivel

molecular, estudios indican que los efectos de selección se reducen a cambios en regiones regulatorias génicas (promotores génicos) ya que no se han encontrado cambios significativos en regiones codificantes (Wang *et al.*, 1999). Por ejemplo, una de las principales características entre los ancestrales teosinte y las variedades actuales son las ramificaciones, en gran número en especies silvestres y nulas en cultivos comerciales; mediante análisis genéticos se determinó que tal proceso es regulado por el gen *teosinte branched -tb1-* (Doebley *et al.*, 1995). Otra característica de los cultivos de maíz actual son las grandes mazorcas con un elevado número y tamaño de granos, obtenidas al parecer a través de procesos de mutaciones adjuntos con el proceso de selección natural y la selección por el hombre (Tsiantis, 2011).

Otros cultivos como el trigo también han sido seleccionados para obtener variedades con una alta producción y un amplio rango de adaptación agroecológico, así como cultivares con un crecimiento de menor tamaño pero con una elevada producción (Acquaah, 2006).

Fitomejoramiento mediante ingeniería genética

La aplicación de las tecnologías de ingeniería genética han permitido el desarrollo de plantas mejoradas como una alternativa más precisa y efectiva. El término fitomejoramiento molecular, es utilizado para describir el uso de diversas herramientas para manipular el ADN de las plantas con el fin de introducir información génica con propósitos específicos; de este modo se han logrado resultados que en el pasado eran imposibles, como la transferencia de un gen deseado de una bacteria a una planta (Acquaah, 2006; Gelvin, 2009). A diferencia del mejoramiento genético convencional en donde las características deseables de una variedad se obtienen mediante la cruce entre individuos de la misma especie, la tecnología transgénica permite la incorporación de atributos provenientes de la misma u otra especie, sin necesidad de la reproducción sexual (Acquaah, 2006); esto fue posible gracias al descubrimiento de las enzimas de restricción, capaces de cortar el ADN en zonas específicas, y las ligasas, que unen dos extremos de ADN, ya que permiten introducir un fragmento de ADN en otro, ganando nueva información genética. En organismos simples como bacterias o levaduras es relativamente fácil obtener un transgénico, sin embargo en organismos multicelulares esto significa un reto mayor (Krebs *et al.*, 2011).

Tecnología transgénica

Un transgénico o también conocidos como organismo genéticamente modificado (OGM) contiene en todas sus células material genético artificialmente introducido. Para la obtención de un transgénico se requiere una serie de pasos (Fig. 1). Inicialmente, se identifica la problemática o las necesidades que justifiquen el desarrollo del transgénico, se localiza el gen o genes que corresponda a la característica que se desea introducir o eliminar, se construye el vector de transformación en el cual también debe ir incluido un gen de selección con el propósito de distinguir y propagar las células transformadas de las no transformadas; se procede a realizar la transformación de las células vegetales ya sea por biobalística, *Agrobacterium tumefaciens* u otra técnica seleccionada. El siguiente paso es el crecimiento y regeneración del tejido vegetal transformado mediante un sistema de regeneración *in vitro* apropiado o por transformación de meristemos, las plántulas desarrolladas serán evaluadas para conocer cuántos eventos de transformación (No. de copias de la construcción en la célula) sucedieron y si la inserción se transcribe y traduce a una proteína. Finalmente se evalúa la funcionalidad de la transferencia génica primero en laboratorio, luego en invernadero y finalmente en campo. Para el caso de las células embrionarias de mamíferos que carecen de pared celular, es factible utilizar la tecnología de micro inyección, en donde el gen de interés es insertado directamente dentro del núcleo, se calcula un 15% de fertilización por este método. Sin embargo, en las células de las plantas, las cuales poseen pared celular es complicado usar esta tecnología.

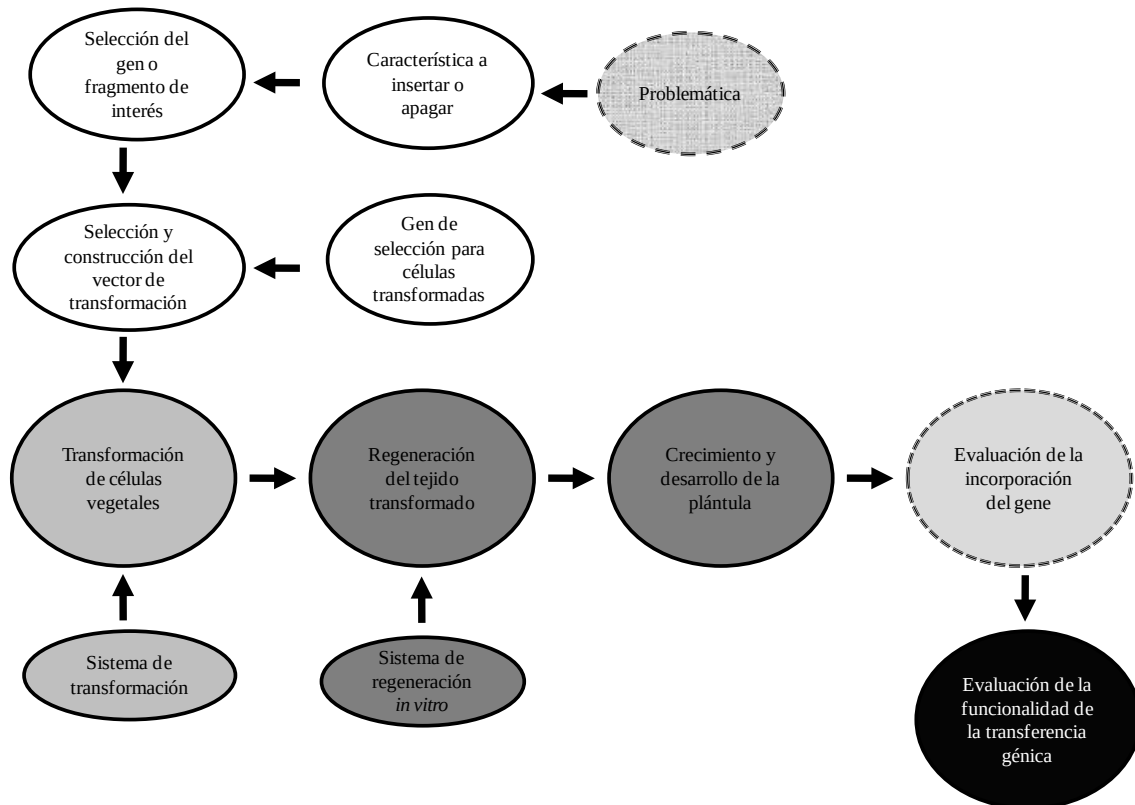


Figura 1. Estrategia general para la obtención de un transgénico.

Entre los métodos más usados para introducir fragmentos de ADN dentro de una célula vegetal, están la biobalística y el uso de *Agrobacterium tumefaciens*. En el caso de la biobalística, ésta consiste en bombardear a las células que se desean transformar con partículas de metal cubiertas con las moléculas de los genes que se desea introducir dentro de la célula, el bombardeo se realiza a altas velocidades y presión, utilizando aire o helio comprimido. Los tejidos a transformar son fragmentos de hojas, tallos, raíz, meristemos o callos. Debido a la fuerza y presión que se ejerce en esta técnica muchas de las células mueren por el impacto mecánico, en el mejor de los casos las partículas metálicas que contiene el material genético penetran hasta el núcleo de la célula sin dañarlas, estas tienen la posibilidad de que el ADN exógeno se incorpore al material genético de la célula vegetal y sea transformada, para que esto suceda, es necesario que la molécula de ADN envuelta en la partícula de metal se disuelva en el núcleo para que las enzimas del sistema de reparación que se localizan en la célula realicen la inserción dentro del ADN propio de la célula. Entonces el material genético de la célula transformada consiste en ADN original de la célula (secuencias de millones de pares de bases) y ADN exógeno (normalmente de cientos a miles de pares de bases). Cabe mencionar que la inserción del fragmento de ADN exógeno puede darse en cualquier región del ADN (al azar), ya que la técnica no tiene control sobre el sitio de inserción (Batty *et al.*, 1992; Sanford, 2000). El segundo método más usado, es por infección de una bacteria conocida como *Agrobacterium tumefaciens* (Broothaerts *et al.*, 2012), que se encuentra de manera natural en el suelo y es responsable de causar la enfermedad conocida como agalla de la corona en las plantas; esta bacteria introduce un fragmento de ADN, conocido como ADN de transferencia (T-DNA), foráneo en la célula vegetal que se incorpora al ADN genómico de la planta. Naturalmente el T-DNA contiene genes característicos los cuales causan el desarrollo de los tumores durante la infección, induciendo genes involucrados en la proliferación celular (Chilton *et al.*, 1980; Gelvin, 2009). Los científicos han explotado la capacidad de transferencia del fragmento de ADN de la bacteria a la planta mediante la sustitución de los genes que se localizan en el fragmento de T-DNA por genes de interés, como por ejemplo la introducción de un gen con capacidad de resistencia a herbicidas (Senior *et al.*, 2002).

Posterior a la transformación por cualquiera de las técnicas anteriormente descritas, se requiere la regeneración de una planta completa a partir de las células transformadas. La técnica de cultivo de tejidos *in vitro* es comúnmente utilizada para este propósito, en donde las células son manipuladas para que durante su división formen diferentes tejidos y órganos, esto requiere combinar, en un medio de cultivo sintético, diferentes fitoreguladores como por ejemplo auxinas y citoquininas, dando como resultado la división, diferenciación y organización de las células en un órgano, como raíz, hoja o brote (Henry *et al.*, 1994). Es importante resaltar que el nuevo órgano proviene de una nueva célula del fragmento del tejido original. Para distinguir las plantas u órganos provenientes de una célula transformada es necesario introducir un gen que codifique para una proteína que funcione como reportero, comúnmente se utiliza, una proteína que confiere resistencia a un antibiótico, al incluir el antibiótico en el medio de selección únicamente las células que fueron transformadas y que ahora son resistentes a antibióticos, podrán dividirse y formar órganos, mientras tanto aquellas células que no fueron transformadas morirán a causa del antibiótico. Las plantas regeneradas de la transformación no son aún las que se comercializarán, es necesario evaluar la efectividad de las transformaciones y que la característica a insertar sea funcional.

Genética en reversa

Algunos transgénicos con inserción de genes nuevos o mutados son utilizados para identificar funciones génicas, en otras palabras conocer el papel que tiene el gen estudiado en el ciclo de vida, la morfología de la planta o si está involucrado en la síntesis o degradación de algún compuesto, etc. También es posible sustituir o complementar la función de genes “defectuosos” utilizando la tecnología transgénica. La eliminación a nivel transcripcional del producto génico de interés es una estrategia utilizada para conocer su función en la planta, genes que pasan por este proceso se les conocen como mutaciones de eliminación o “Knockout”. Uno de los métodos más utilizados para la obtención de mutantes “Knockout” ha sido la tecnología ARN de interferencia (iRNA, por sus siglas en inglés), para seleccionar y destruir ARN mensajero (ARNm, el que se traducirá a proteína) de interés. La introducción de un ARN de doble cadena dentro de una célula eucariota, dispara los mecanismos de defensa celular para que dicho ARN de doble cadena (dsRNA, por sus siglas en inglés) sea cortado en fragmentos pequeños de aproximadamente 21 pares de bases y desenrollándose en cadenas simples mediante una nucleasa llamada “*Dicer*”, inmediatamente después se utiliza otra enzima llamada “*RISC*” que busca y alinea los ARNm que contengan la cadena complementaria, cuando el ARNm complementario es encontrado, es cortado y destruido. Esto significa que cualquier ARNm puede ser destruido mediante la incorporación de un dsRNA diseñado para alinearse al blanco de interés (Krebs *et al.*, 2011).

Por otro lado las mutaciones que desactivan la función completa de un gen, debido a que este ha sido eliminado, se les llama mutantes pérdida de función o mutaciones nulas. Una mutación nula en un gen esencial es letal en individuos homocigotos o hemicigotos. En casos opuestos, cuando una mutación que tiene como consecuencia una proteína que adquiere una nueva función o los patrones de expresión son mayores o constitutivos, se les llama mutaciones ganancia de función (generalmente las mutaciones son de carácter hereditario dominante). Las mutaciones sin cambio aparente en funciones o fenotipos, son llamadas mutaciones silenciosas (Krebs *et al.*, 2011).

Aplicación del mejoramiento genético en cultivos comerciales

El campo de aplicación de los OGM es muy amplio y se conoce una gran variedad de productos en el mercado en diversas áreas. De manera general se pueden agrupar de la siguiente manera (Fig. 2): Eliminación de plagas como son insectos, virus, hongos, entre otros; eliminación de competencia, tal es el caso de los cultivos tolerantes a herbicidas (TH) como el glifosato; cultivos con un mejor valor nutritivo, como el contenido vitamínico, incremento en aminoácidos y cambio en la calidad del aceite; cultivos con modificación de compuestos ya sea la eliminación de compuestos tóxicos, adición o eliminación de colores y aromas, así como un incremento en el ciclo de vida de las plantas o vida de anaquel de algunos productos como el caso de tomates con una postergación del ablandamiento de la pared celular y finalmente, cultivos que presentan tolerancia a factores ambientales, como por ejemplo tolerancia a sequía, salinidad, altas y bajas temperaturas

implementados con la finalidad de cubrir las necesidades en aquellas zonas donde el agua y las temperaturas extremas son un limitante en la producción agrícola.

Cultivos tolerantes a salinidad

En áreas en donde la salinidad del suelo o del agua es un problema potencial, los cultivos tolerantes a salinidad pueden convertirse en una opción atractiva, siendo el fitomejoramiento molecular una alternativa para obtener variedades con dicha característica. Incrementar la tolerancia a salinidad en especies sensibles tendría un gran beneficio económico, ya que permitiría a los agricultores sembrar en zonas donde las variedades actuales no han podido cultivarse. A través de los años el interés por incrementar la tolerancia de los cultivos a la salinidad se ha incrementado potencialmente mediante la utilización del mejoramiento convencional, introgresión de cultivos de los cuales sus progenitores silvestres poseen tolerancia a salinidad, domesticación de especies que habitan en regiones salinas (halófitas), estrategias en donde los genes para la tolerancia a salinidad son identificados, clonados y manipulados usando técnicas de biología molecular (Shannon, 1997). Por técnicas de ingeniería genética se ha obtenido plantas transgénicas de tomate tolerantes a salinidad que sobre expresan el gen *AtNHX1* de *Arabidopsis thaliana* que codifica para canales en vacuola Na^+/H^+ ; estas plantas fueron capaces de crecer y desarrollar frutos en condiciones salinas (NaCl), a pesar que en hojas se detectó una elevada concentración de sodio, los frutos contenían bajas cantidades de sodio. En contraste a lo que se obtiene mediante mejoramiento convencional en donde se integran múltiples caracteres para obtener cultivos tolerantes bajo estas condiciones, usando esta tecnología se logró el objetivo de la adición de un solo carácter (Zhang *et al.*, 2001).

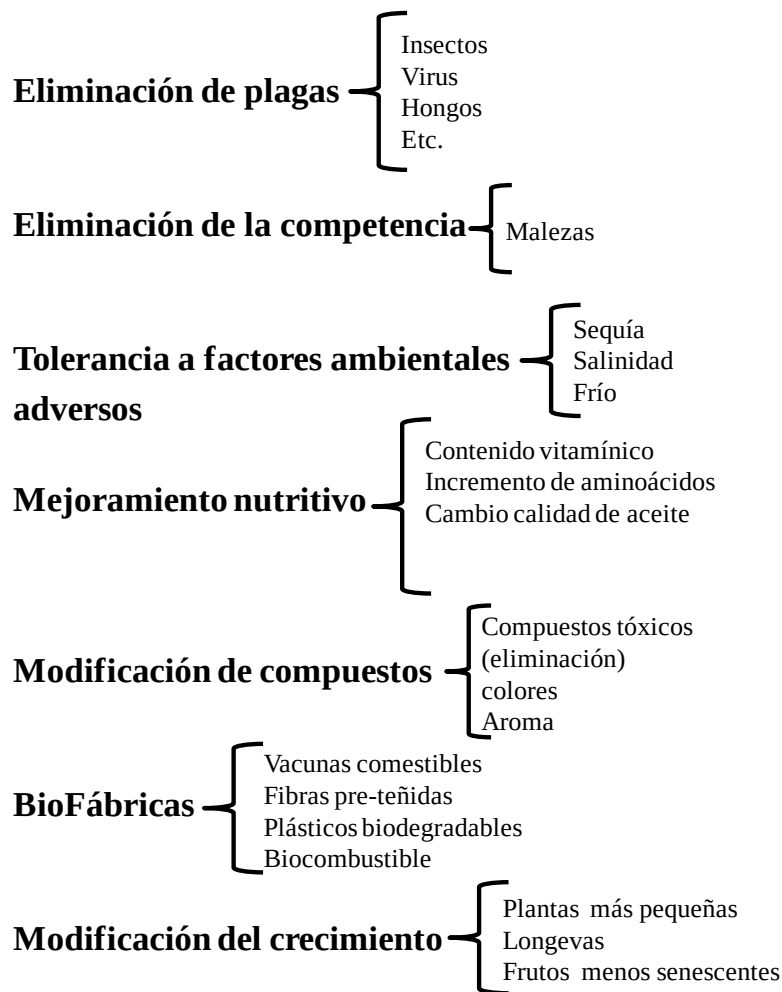


Figura 2. Aplicaciones del mejoramiento genético. En el esquema se muestran agrupadas de forma general las líneas de investigación en el cual se enfoca el desarrollo y uso de organismos genéticamente modificados.

Experimentos utilizando líneas mutantes pérdida de función por T-DNA en un gen que codifica a una proteína conocida como Amino Oxidasa (AO) de *Arabidopsis thaliana* presenta una mayor sobrevivencia en comparación a plantas silvestres al ser evaluadas bajo condiciones de alta salinidad -100 mM NaCl- (Fig. 3). Se ha reportado que la hormona vegetal ácido abscísico (ABA) modula una gran variedad de procesos en el crecimiento y desarrollo así como procesos de respuesta a estrés abiótico como sequía, salinidad y frío (Grill *et al.*, 2007). Cuando las plantas se enfrentan a condiciones de estrés, ABA actúa como un regulador clave para la apertura y cierre de estomas, restringiendo la transpiración y evitando la excesiva pérdida de agua. Se ha visto que la enzima AO se involucra en la producción de peróxido de hidrógeno (H_2O_2). También la producción de H_2O_2 y la activación de los canales de Ca^{2+} en la membrana plasmática son mecanismos importantes en la inducción del cierre de estomas regulados por ABA (Pei *et al.*, 2012). La enzima AO en células guarda es esencial para la producción de H_2O_2 en los procesos de inducción de cierre de estomas mediada por ABA, en donde el ión calcio actúa como mensajero intermediario esencial en este proceso (An *et al.*, 2008). Los datos obtenidos con las líneas mutantes por T-DNA no pueden ser explicados, por lo que es necesario ampliar las investigaciones en torno a la mutante AO. Sin embargo, la búsqueda de genes ortólogos de AO en plantas de interés económico y utilizar la tecnología para desactivar el gen y estudiar el efecto del silenciamiento podría ser de utilidad en cultivares en donde la salinidad es un problema que limita la producción agrícola para tener cultivos más tolerantes con una mejor adaptación.

Plantas con maduración retardada

Una de las primeras variedades comerciales modificadas genéticamente fue el tomate *Flavr Savr*; para crearlo se utilizó la tecnología anti-sentido para inhibir a la enzima poligalacturonasa que está asociada al ablandamiento de la pared celular –degradación de los polímeros de pectina-. El tomate *Flavr Savr* presentó un ablandamiento retardado en comparación a los cultivos normales, permitiendo cosechar en etapas posteriores de maduración cuando el sabor del tomate se ha desarrollado mejor, lo que resultó en tomates de mejor calidad (Kramer *et al.*, 1994). Al mismo tiempo una variedad heterocigota resultado de una mutación génica natural en el gen *rin* (inhibidor de la maduración, por sus siglas en inglés) ha suplido en el mercado al cultivo *Flavr Savr*, debido a que la variedad *rin* tiene mayor tiempo de vida útil (Vrebalov *et al.*, 2002). Estos ejemplos muestran como la introducción de variaciones mediante transgénesis ocurre de manera natural inducida por mutaciones. Por lo tanto considerando los problemas de aceptación de los productos OMG por parte de los consumidores, se considera la utilización de ésta tecnología únicamente cuando no se tenga una alternativa mediante el fitomejoramiento convencional.

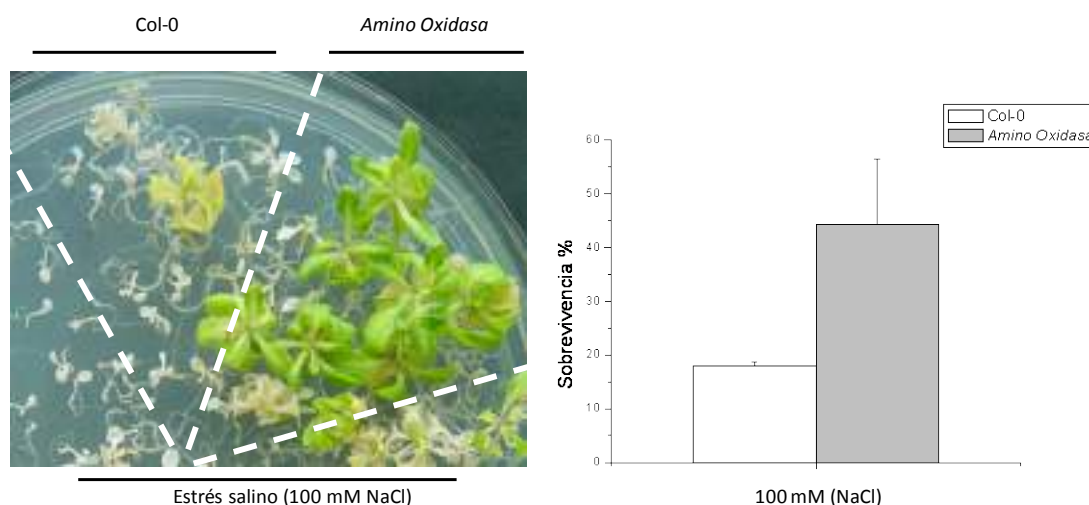


Figura 3. La Amino oxidada es resistente a estrés salino (NaCl) a los 47 días después de la siembra. En la imagen del lado izquierdo, se muestra el comportamiento fenotípico de la línea AO T-DNA, y silvestre bajo condiciones de salinidad (100 mM NaCl). En la imagen de la derecha se muestra el análisis cuantitativo, a los 47 días de germinación en medio salino.

Plantas con valor nutricional mejorado

Otra característica de interés, ha sido el incremento de las propiedades nutricionales de los cultivos. La metionina es un aminoácido esencial que se encuentra en bajos niveles en las plantas y semillas, limitando el valor de las plantas como una fuente de proteínas. Actualmente se realizan esfuerzos para incrementar el contenido de metionina en las semillas de las plantas mediante la utilización de métodos de ingeniería genética, como la expresión de proteínas de almacenamiento en semillas ricas en metionina (Altenbach *et al.*, 1990; Avraham *et al.*, 2005). Sin embargo, resultados obtenidos a través de diversos estudios no han mostrado un incremento significativo en el contenido de metionina de las plantas (Avraham *et al.*, 2005), por lo que se requerirían estudios adicionales con la finalidad de incrementar las propiedades nutrimentales de las plantas.

Ingeniería genética en cultivos tolerantes a insectos o plagas

Los cultivos tolerantes a insectos son una de las aplicaciones más exitosas de la ingeniería genética en plantas; el algodón *Gossypium hirsutum* L. resistente a la larva de lepidóptera (orugas) y el Maíz (*Zea mays* L.) resistente a lepidópteras y coleópteras (gusanos de la raíz) han sido utilizados de forma extensiva en la agricultura, lo que ha permitido disminuir la utilización de pesticidas y reducción del costo de producción (Gatehouse, 2008). La identificación de la toxina natural con potencial insecticida en la bacteria *Bacillus thuringiensis* (Bt), hizo posible introducir una nueva característica de tolerancia contra insectos en los cultivos. Las cepas de *B. thuringiensis* constituyen un gran reservorio de genes que codifican para proteínas insecticidas, las cuales son acumuladas como inclusiones cristalinas por la bacteria en esporulación (proteína Cry y proteínas Cyt), o proteínas que se expresan durante el crecimiento bacteriano -proteínas Vip- (Sanahuja *et al.*, 2011). El mecanismo de acción involucra la proteólisis alcalina en el intestino del insecto posterior a su ingesta, y su interacción con células del intestino. Este reconocimiento específico ocasiona la oligomerización de la proteína, formando un canal a través de la membrana celular, lo que resulta en pérdida de iones que destruyen la célula, y provoca la descomposición del intestino por la proliferación bacteriana y finalmente la muerte del insecto (Bravo *et al.*, 2007). Las proteínas Cry son inocuas para otros organismos, incluyendo el humano debido a que nuestro tracto digestivo a condiciones ácidas no permite su activación por lo que la toxicidad no se manifiesta. La tecnología de los transgenes permite la utilización de dicha proteína sin la necesidad de aplicaciones de pesticidas para el control de ciertas plagas. La resistencia de algunos sectores en el uso de cultivos Bt se debe a que tales cultivos podrían afectar especies de insectos no blanco, es decir insectos que presenten susceptibilidad al cultivo Bt sin ser plagas (se alimenten del tejido de la planta). Sin embargo la implementación de cultivos Bt disminuye el uso de insecticidas químicos y su liberación al ambiente, por lo tanto la fauna benéfica que no se alimenta del cultivo se ve beneficiada. Otro inconveniente es la probabilidad de que los insectos blanco desarrollen resistencia a la toxina Bt; la compañía Monsanto® reveló que algunos insectos han desarrollado tolerancia a los cultivos con la toxina Bt, el líder en biotecnología reveló que se ha encontrado una sobrevivencia inusual del gusano rosado que se alimenta de algodón genéticamente modificado que contiene el gen *Cry1* (Bagla, 2010). Sin embargo, existen estrategias para evitar o disminuir la velocidad para el desarrollo de la resistencia, como la siembra del cultivo transgénico y su equivalente en porcentaje con cultivo no transgénico con la finalidad de disminuir la presión de parte de la toxina insecticida ante los insectos. El objetivo es que aquellos insectos que posiblemente desarrollen tolerancia a la toxina que surjan en el cultivo Bt tengan la posibilidad de cruzarse con individuos no resistentes que habitan en el cultivo no transgénico, sin embargo esta estrategia solamente reduce la velocidad del surgimiento y establecimiento de la resistencia a la toxina Bt. Otra opción es el uso de combinaciones de diferentes proteínas Cry, pues se ha visto que reduce el tiempo de resurgimiento de tolerancia o resistencia a la toxina (Zhao *et al.*, 2005). Otra posible consecuencia es la transferencia de la resistencia a antibióticos de las bacterias del suelo en los campos donde se cultivan variedades Bt, ya que durante la construcción del vector para generar las plantas transgénicas se incluye un gen de resistencia a antibiótico para seleccionar las células transformadas. Sin embargo, investigación realizada en poblaciones de bacterias en campos de cultivos Bt, no han encontrado diferencias entre estas bacterias y las localizadas en campos de cultivos normales en cuanto a resistencia a antibióticos (Demanèche *et al.*, 2008), aunque las poblaciones de bacterias de ambos cultivos resultaron diferentes.

Un caso de éxito en la historia de los OMG fue la liberación en el mercado de la papaya transgénica tolerante al virus PRSV (Papaya ringspot virus) en Puna, Hawaii. Este virus causó estragos en la producción de papaya en el año de 1995 (Gonsalves *et al.*, 2004); el desarrollo de dos cultivos genéticamente modificados mediante la ingeniería genética utilizando la técnica de bombardeo de tejido con un gen de la proteína de la cápside del virus -*cp*- (Fitch *et al.*, 1992), permitió el desarrollo de la resistencia al virus, el control de la enfermedad y, un incremento en la producción (Gonsalves *et al.*, 2004). El cultivo de la papaya transgénica ocasionó que los títulos viables del virus se redujeran, permitiendo plantar nuevamente papaya no transgénica en áreas libres de plantas infectadas por el virus reduciendo la presión del inoculo causada por la gran escala de campos sembrados con papaya transgénica en Puna. El cultivo de papaya transgénica también permitió expandir sus áreas de producción en donde los cultivos aun no estaban afectados por el virus (Ferreira *et al.*, 2002; Gonsalves *et al.*, 2004).

Cultivos resistentes a herbicidas

La implementación de los cultivos tolerantes a herbicidas ha permitido la utilización de ciertos compuestos para la eliminación de malezas, con la certeza que el cultivo no sufrirá daños por su aplicación, pues el uso inadecuado de los herbicidas puede afectar el desarrollo normal del cultivo. La introducción del gen bacteriano (*CP4*) de resistencia al herbicida glifosato, provee un eficiente método de control de malezas, además de incrementa la producción, debido a que las plantas crecen en un ambiente libre de malezas (Service, 2007). El glifosato es un compuesto que inhibe el funcionamiento de la enzima 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate de la planta (EPSPSp), involucrada en la síntesis de aminoácidos aromáticos, vital para la producción de metabolitos clave de la planta, sin la enzima la planta muere rápidamente (Service, 2007), sin embargo, el glifosato no afecta a insectos o animales ya que carecen de esta enzima. Aquellos cultivos transgénicos que presentan tolerancia al glifosato, contienen un gen de origen bacteriano que codifica para una proteína bacteriana (EPSPSb) el cual realiza la misma función que la enzima EPSPSp de la planta, pero con la diferencia que la de origen bacteriano no es inhibida por el glifosato, por lo que las plantas transgénicas poseedoras de la proteína EPSPSb bacteriana presentan resistencia al glifosato. Cuando los campos son asperjados con glifosato no se lixivia fácilmente hacia el sistema acuático, en su lugar permanece adherido a las partículas de suelo y en cuestión de semanas se convierte en sub productos inofensivos (Service, 2007). Además de los cultivos tolerantes a glifosato, existen también cultivos a los que se les introdujo el gen *bar* con tolerancia a glufosinato, dicho compuesto inhibe la función de la enzima Gln sintetasa lo que causa una acumulación de amonio tóxico derivado de la fotorespiración, un disturbio en el sistema de transporte de electrones de cloroplastos y mitocondria e induce la producción de radicales libres, causando peroxidación de lípidos (especialmente en membranas), daño a otros constituyentes celulares y finalmente la muerte (Ahn, 2008). Las plantas transformadas con el gen *bar*, que codifica la enzima fosfinotricina acetiltransferasa (PAT) desactivan químicamente el glufosinato mediante la adición de un grupo acetilo haciéndolo inactivo (Botterman *et al.*, 1991).

El uso de los OGM ha sido altamente explotado y se prevé que la introducción de rasgos únicos en diversos cultivos se incrementará, particularmente aquellos que beneficien al consumidor. Como se ha mencionado anteriormente el uso de la tecnología de los OGM presentan grandes beneficios tanto económicos y ecológicos, como una disminución en el uso de pesticidas en el control de diversas plagas y enfermedades que resultan contraproducentes en la salud humana con la aparición de nuevas enfermedades ocasionadas por estos químicos (Parrott, 2010), ya que las variedades que presentan resistencia a plagas no requieren de la aplicación de tales pesticidas (Gatehouse, 2008), reduciendo así la necesidad de arduas y costosas aplicaciones químicas; se beneficia el ambiente con la liberación de menos contaminantes en el suelo, aire o agua, y al productor al reducir los costos de producción. Por ejemplo la utilización de los cultivos tolerantes a herbicidas, permiten la utilización de un solo tipo de herbicida que elimine todo tipo de malezas, sin la necesidad de aplicar diferentes combinaciones de estos para eliminar cada una de las diferentes hierbas no deseadas, disminuyendo así la cantidad de productos químicos liberados al ambiente y que resultan en beneficios económicos para el productor, además de evitar laboriosos trabajos de aplicación

durante el ciclo de cultivo. Hay que resaltar también que una vez terminado el ciclo de cada cultivo y durante la preparación de las tierras para la siguiente temporada, el agricultor no requiere del arado en sus parcelas, simplemente se plantan las semillas y se rocía el campo con el herbicida poco después de su germinación limpiando así el campo de malezas competidoras (Service, 2007). De modo que el cultivo no compite por recursos contra malezas durante su desarrollo por lo que el rendimiento y productividad también podrían verse beneficiados.

Utilización del gen *nhr1* en programas de mejoramiento genético

En 2003 se reportó una mutante en *Arabidopsis thaliana* conocida como mutante *sin respuesta hidrotópica 1 -nhr1-* (Eapen *et al.*, 2003), la cual tiene la capacidad de desarrollar el sistema radicular en condiciones con baja disponibilidad de agua. Experimentos usando plantas *nhr1*, presentaron mayor tolerancia a la deshidratación y sequía –estrés abiótico (Salazar-Blass, 2008). Se ha reportado que plantas con un incremento en la tolerancia a sequía y otros tipos de estrés, está asociado con un retardamiento en el crecimiento de la planta (Kasuga *et al.* 1999; Seo *et al.* 2009). El fenotipo con lento crecimiento de la mutante *nhr1* y que al parecer es el tolerante a sequía, presenta un retardamiento en la transición de la fase vegetativa a la reproductiva -emisión del escapo-, plantas silvestres presentan un tiempo de emisión de escapo alrededor de los 25 días, mientras que la mutante *nhr1* a los 40 días aproximadamente emite su escapo (Fig. 4), así como un ciclo de vida más largo (Quiroz-Figueroa *et al.*, 2010). Cuando el ciclo de vida normal de plantas de *A. thaliana* es alrededor de las 8 semanas, la mutante *nhr1* presenta un ciclo de vida mucho mayor, alrededor de 12 semanas (Datos no mostrados). Además la *nhr1* presentó un mayor contenido de ABA en comparación con la plantas silvestres (Quiroz-Figueroa *et al.*, 2010), lo que podría estar ocasionando el alargamiento del ciclo de vida. Algunas plántulas *nhr1* crecidas *in vitro*, en medio normal, presentan poca o nulas raíces laterales, abatiéndose en número cuando las raíces son expuesta a ABA (Quiroz-Figueroa *et al.*, 2010). Xiong *et al.*, (2006) reportaron que la presencia de raíces laterales cortas está íntimamente asociada a una respuesta adaptativa de los mecanismos de estrés por sequía. Todas estas observaciones sugieren que el gen *nhr1* en las plantas, esta regulando el crecimiento, desarrollo y la tolerancia a sequía u otro tipo de estrés abiótico, probablemente por la regulación positiva en la biosíntesis de ABA o inhibiendo su degradación. La utilización del gen *nhr1* en el sector ornamental mediante la utilización de técnicas de fitomejoramiento molecular permitirá desarrollar estrategias para desarrollar plantas más longevas y a su vez tolerantes a sequía.

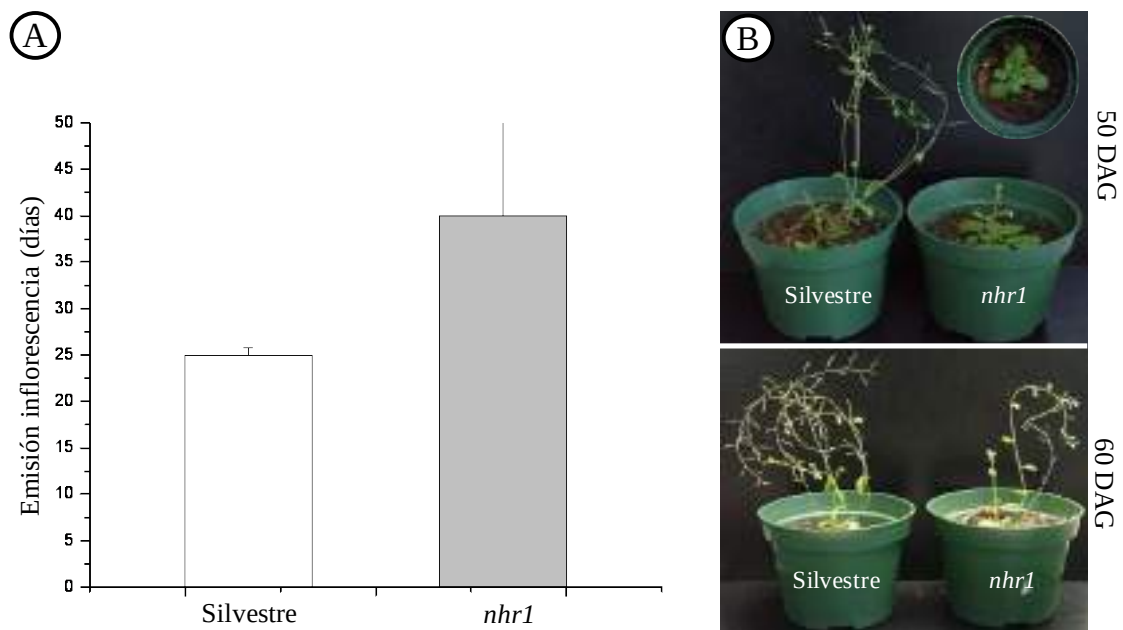


Figura 4. Tiempo de la floración de la mutante *nhr1* y plantas silvestre *Arabidopsis thaliana*. **A)** Análisis cuantitativo del tiempo de floración (emisión de escapo) de plantas silvestres y la mutante *nhr1*. **B)** Análisis

cualitativo de la floración a los 50 días después de la siembra (parte de arriba) y a los 60 días después de la siembra (parte de abajo).

Resistencia a antibióticos

Debido a que la tecnología para generar un organismo transgénico requiere la utilización de genes resistentes; además del gen de interés, a diversos tipos de antibióticos que sirven para resolver el problema de selección y regeneración de células transformadas, se tiene preocupación entre la población humana del resurgimiento de la resistencia a ciertos antibióticos de algunas bacterias patógenas, principalmente aquellos cultivos de consumo humano, ya que se teme que por los mecanismos de transferencia o movimiento horizontal la adquieran –de una planta a una bacteria- (Nielsen *et al.*, 1997). Se ha debatido que la transferencia de genes de resistencia a antibióticos de los transgénicos hacia bacterias que habitan en intestinos de animales pudiera ocurrir (Goldstein *et al.*, 2005), resultados indican que es muy poco probable que las bacterias que se localizan en el intestino pudieran adquirir la tolerancia a antibióticos por la transferencia horizontal de fragmentos del gen de resistencia a antibióticos ya que no se encontró tal gen en el intestino de los animales evaluados (Chambers *et al.*, 2002). Además la transferencia horizontal de un gen del tracto digestivo a células bacterianas es muy poco probable, debido a la cocción de algunos alimentos que degradaran el ADN y en el caso de consumo de productos frescos el proceso digestivo degradaría el ADN transferible.

Flujo genético

La transferencia genética de características hacia las plantas silvestres compatible de cruzarse con los OGM y que se desarrollan de manera natural en los alrededores de los cultivos transgénicos, es una de las preocupaciones como consecuencia de esta tecnología. Debido a que todas las células en las plantas transgénicas incluyendo el polen en las plantas de polinización cruzada, poseen los genes insertados, existe la posibilidad de que estos fueran acarreados por el viento polinizando a otras plantas sexualmente compatibles. Sin embargo hay que considerar que el tiempo de vida de un polen es relativamente corto. Existen reportes de algunas malezas en campos de soja tolerantes a glifosato, el resurgimiento de súper malezas que también presentan tolerancia al herbicida, sin embargo se argumenta que la transferencia de la tolerancia al glifosato se puede evitar modificando las técnicas de transformación como por ejemplo la transformación en cloroplastos o mitocondrias, lo que evitaría la dispersión de la resistencia al glifosato mediante la polinización por el viento o insectos (Service, 2007). Otra preocupación es la alteración de la diversidad genética en regiones en donde ciertas plantas son centro de origen o diversidad, debido a la posibilidad de transferencia por polinización, pues son estos lugares, la fuente más importante de nuevas características potencialmente útiles (Nielsen *et al.* 1998).

Mitos y realidades

En el peor de los casos los mitos evitan la utilización de los OGM para resolver algunos problemas que afectan a la humanidad; entre estos se ha dicho que los transgénicos pueden contaminar las áreas de centro de origen destruyendo la biodiversidad y sus asociaciones a culturas tradicionales, sin embargo, se ignora que el flujo genético del cual derivó el actual maíz de consumo ha tenido lugar por cientos de años y que contrariamente a la idea de pérdida de diversidad, fue gracias a este flujo entre diferentes individuos que tenemos al maíz actual.

Otro mito es que los cultivos son naturales y no han sido modificados por los humanos, o si lo han sido el mejoramiento no altera el ADN, esta idea ignora el hecho que es imposible modificar la apariencia de los cultivos sin alterar el ADN. De hecho el movimiento del ADN en el genoma de plantas de cultivos es un proceso normal que permite reparar la cadena de doble de ADN, como los resultados que se llevan a cabo alrededor de los sitios de inserción de los transgenes. El ambiente tienen la capacidad de mutar los genes para generar nuevas características o eliminar una existente, tales cambios permiten a los individuos tener una adaptación en la evolución y selección por los humanos (Parrott 2010).

Otro de los mitos es que los OGM pueden producir alergias. Los productos naturales pueden ocasionar alergias espontáneas en individuos que por años consumían el alimento, varias veces hemos escuchado que un conocido desarrolló alergia al consumo de camarón a pesar de estarlo consumiendo previamente. Hasta la fecha existen varios estudios que han demostrado que las plantas transgénicas, poseen las mismas posibilidades que las plantas no transgénicas para inducir algún tipo de alergias. Sin embargo, cada cultivo transgénico pasa por una serie de análisis minuciosos antes de ser liberados al mercado como cultivo comercial.

CONCLUSIÓN Y PERSPECTIVAS

La tecnología OGM ha destacado significativamente en el desarrollo del mejoramiento vegetal, debido a que es posible enriquecer el genoma de las plantas con ADN de cualquier organismo, introduciendo así variación dentro de una poza genética. Considerando la problemática de la aceptación de los consumidores por los productos genéticamente modificados, se recomienda que solamente se utilice esta tecnología en el mejoramiento vegetal cuando se requiera y no exista otra alternativa de mejoramiento genético convencional (Zamir, 2001). La modificación genética de las plantas es una alternativa de los métodos de genética molecular en desarrollo que permite acelerar el proceso de mejoramiento molecular vegetal, combinado con técnicas de mutagénesis. El mejoramiento molecular involucra ambos procesos tanto asistencia de marcador como ingeniería genética, inicialmente se utilizaban marcadores morfológicos para isoenzimas y recientemente se utilizan marcadores para ADN (Xu *et al.*, 2012). Hoy en día la tecnología de fitomejoramiento molecular es una de las estrategias más utilizadas por las grandes compañías de semillas. Los logros por parte de los fitomejoradores son amplios, estos pueden agruparse en: cultivares con mayor producción, mejoramiento de la composición en las características y cultivos de adaptación. La tecnología de los transgénos para generar cultivos más eficientes es una alternativa muy atractiva y poderosa. Sin embargo su uso es determinado por el tipo de cultivo con la característica de interés en el lugar y momento adecuado.

LITERATURA CITADA

- Acquaah, 2006. **Principles of plant genetics and breeding**. Wiley-Blackwell. Malden, MA, USA. p. 1-584.
- Ahn, I. P. 2008. **Glufofenate ammonium-induced pathogen inhibition and defense responses culminate in disease protection in bar-transgenic rice**. *Plant Physiology*. 146(1): 213-227.
- Altenbach, S. B. and Simpson, R. B. 1990. **Manipulation of methionine-rich protein genes in plant seeds**. 156-160.
- An, Z., Jing, W., Liu, Y. Y Zhang, W. 2008. **Hydrogen peroxide generated by copper amine oxidase is involved in abscisic acid-induced stomatal closure in *Vicia faba***. *Journal of Experimental Botany*. 59(4): 815-825.
- Avraham, T., Badani, H., Galili, S. Y Amir, R. 2005. **Enhanced levels of methionine and cysteine in transgenic alfalfa (*Medicago sativa* L.) plants over-expressing the Arabidopsis cystathionine synthase gene**. *Plant Biotechnology Journal*. 3(1): 71-79.
- Bagla, P. 2010. **Hardy cotton-munching pests are latest blow to GM Crops**. *Science*. 327(5972): 1439-1439.
- Bai, Y. and Lindhout, P. 2007. **Domestication and Breeding of Tomatoes: What have We Gained and What Can We Gain in the Future?**. *Annals of Botany*. 100(5): 1085-1094.
- Batty, N. and Evans, J. 1992. **Biological ballistics-no longer a shot in the dark**. *Transgenic Research*. 1(3): 107-113.
- Beadle, G. W. 1939. **Teosinte and The Origin of Maize**. *Journal of Heredity*. 30(6): 245-247.
- Botterman, J., Gosselé, V., Thoen, C. Y Lauwereys, M. 1991. **Characterization of phosphinothricin acetyltransferase and C-terminal enzymatically active fusion proteins**. *Gene*. 102(1): 33-37.
- Bravo, A., Gill, S. S. Y Soberón, M. 2007. **Mode of action of *Bacillus thuringiensis* Cry and Cyt toxins and their potential for insect control**. *Toxicon*. 49(4): 423-435.
- Broothaerts, W., Mitchell, H. J., Weir, B., Kaines, S., Smith, L. M. A., Yang, W., Mayer, J. E., Roa-Rodriguez, C. Y Jefferson, R. A. 2012. **Gene transfer to plants by diverse species of bacteria**. *Nature*. 433(7026):629-633.
- Chambers, P. A., Duggan, P. S., Heritage, J. Y Forbes, J. M. 2002. **The fate of antibiotic resistance marker genes in transgenic plant feed material fed to chickens**. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*. 49(1):161-164.

- Chávez-Araujo 1993. **Mejoramiento de Plantas 1**. Trillas. Mexico. pp. 1-136.
- Chilton, M. D., Saiki, R. K., Yadou, N., Gordon, M. P. Y Quetier, F. 1980. **T-DNA from agrobacterium ti plasmid is the nuclear DNA fraction of crown gall tumor cells**. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 77, 4060-4064.
- Cong, B., Barrero, L. S. Y Tanksley, S. D. 2008. **Regulatory change in YABBY-like transcription factor led to evolution of extreme fruit size during tomato domestication**. Nat Genet. 40(6): 800-804.
- Demanéche, S., Sanguin, H., Poté, J., Navarro, E., Bernillon, D., Mavingui, P., Wildi, W., Vogel, T. M. Y Simonet, P. 2008. **Antibiotic-resistant soil bacteria in transgenic plant fields**. Proceedings of the National Academy of Sciences. 105(10): 3957-3962.
- Doebley, J., Stec, A. Y Gustus, C. 1995. **Teosinte branched1 and the origin of maize: Evidence for epistasis and the evolution of dominance**. Genetics. 141(1): 333-346.
- Eapen, D., Barroso, M. L., Campos, M. E., Ponce, G.; Corkidi, G., Dubrovsky, J. G. Y Cassab, G. I. 2003. **A no hydrotropic response root mutant that responds positively to gravitropism in arabidopsis**. Plant Physiology. 131, 536-546.
- Ferreira, S. A., Pitz, K. Y., Manshardt, R., Zee, F., Fitch, M. Y Gonsalves, D. 2002. **Virus coat protein transgenic papaya provides practical control of papaya ringspot virus in Hawaii**. Plant Disease. 86(2): 101-105.
- Fitch, M. M., Manshardt, R. M.; Gonsalves, D., Slightom, J. L. Y Sanford, J. C. 1992. **Virus resistant papaya plants derived from tissues bombarded with the coat protein gene of papaya ringspot virus**. Biotechnology. 10, 1466-1472.
- Gatehouse, J. A. 2008. **Biotechnological prospects for engineering insect-resistant Plants**. Plant Physiology. 146(3): 881-887.
- Gelvin, S. B. 2009. **Agrobacterium in the Genomics Age**. Plant Physiology. 150(4): 1665-1676.
- Gonsalves, D., Gonsalves, C., Ferreira, S., Fitch, M., Manshardt, R. Y Slightom, J. 2004. **Transgenic virus resistant papaya: from hope to reality for controlling papaya ringspot virus in Hawaii**. APSnet 3340 1-12.
- Grill, E. and Christmann, A. 2007. **A plant receptor with a big family**. Science. 315, 1676-1677.
- Gustafsson, Å. and Tedin, O. 1954. **Plant-breeding and mutations**. Acta Agriculturae Scandinavica. 4(1): 633-639.
- Henry, Y., Vain, P. Y Buyser, J. 1994. **Genetic analysis of in vitro plant tissue culture responses and regeneration capacities**. Euphytica. 79(1): 45-58.
- Kasuga, M., Liu, Q., Miura, S., Yamaguchi-Shinozaki, K. Y Shinozaki, K. 1999. **Improving plant drought, salt, and freezing tolerance by gene transfer of a single stress-inducible transcription factor**. Nature Biotechnology. 17(3): 287-291.
- Kramer, M. G. and Redenbaugh, K. 2004. **Commercialization of a tomato with an antisense polygalacturonase gene: The FLAVR SAVRGáo tomato story**. Euphytica. 79(3): 293-297.
- Krebs, G. and Kilpatrick. 2011. **Lewin's GENES X**. Jones and Bartlett Publishers, LLC. USA. p. 1-930.
- Miyazaki, J. H. and Yang, S. F. 1997. **The methionine salvage pathway in relation to ethylene and polyamine biosynthesis**. Physiologia Plantarum. 69, 366-370.
- Nielsen, K., Sorensen, P. G. Y Hynne, F. 1998. **Chaos in glycolysis**. Journal of Theoretical Biology. 186, 303-306.
- Nielsen, K. M., Bones, A. M., Smalla, K. Y van Elsas, J. D. 1998. **Horizontal gene transfer from transgenic plants to terrestrial bacteria -a rare event?** FEMS Microbiology Reviews. 22(2): 79-103.
- Paran, I. and Van der Knaap, E. 2007. **Genetic and molecular regulation of fruit and plant domestication traits in tomato and pepper**. Journal of Experimental Botany. 58(14): 3841-3852.
- Parrott, W. 2010. **Genetically modified myths and realities**. New Biotechnology. 27(5): 545-551.
- Pei, Z.-M., Murata, Y., Benning, G., Thomine, S., Klusener, B., Allen, G. J., Grill, E. Y Schroeder, J. I. 2012. **Calcium channels activated by hydrogen peroxide mediate abscisic acid signaling in guard cells**. Nature. 406(6797): 731-734.
- Quiroz-Figueroa, F., Rodríguez-Acosta, A., Salazar-Blas, A., Hernandez-Dominguez, E., Campos, M.; Kitahata, N., Asami, T., Galáz-Ávalos, R. Y Cassab, G. 2010. **Accumulation of high levels of ABA regulates the pleiotropic response of the *nhr1* arabidopsis mutant**. Journal of Plant Biology. 53(1): 32-44.
- Salazar-Blass, M. A. 2008. **Efecto del estrés hídrico sobre el crecimiento y desarrollo en las mutantes *nhr-1* (no hydrotropic response) y *suh-1* (superhydrotropic) de *Arabidopsis thaliana* ecotipo Columbia-0**. 1-38.
- Sanahuja, G., Banakar, R., Twyman, R. M., Capell, T. Y Christou, P. 2011. ***Bacillus thuringiensis*: a century of research, development and commercial applications**. Plant Biotechnology Journal. 9(3): 283-300.

- Sanford, J. C. 2000. **The development of the biolistic process.** In *Vitro Cell Developmental Biology-Plant*. 36(5): 303-308.
- Schubert, S., Neubert, A., Schierholt, A., Sümer, A. Y Zörb, C. 2009. **Development of salt-resistant maize hybrids: The combination of physiological strategies using conventional breeding methods.** *Plant Science*. 177(3): 196-202.
- Senior, I. J. and Dale, P. J. 2002. **Herbicide-tolerant crops in agriculture: oilseed rape as a case study.** *Plant Breeding*. 121(2): 97-107.
- Seo, P. J., Xiang, F., Qiao, M., Park, J. Y., Lee, Y. N., Kim, S. G., Lee, Y. H., Park, W. J. Y Park, C. M. 2009. **The MYB96 Transcription factor mediates abscisic acid signaling during drought stress response in arabidopsis.** *Plant Physiology*. 151(1): 275-289.
- Service, R. F. 2007. **A growing threat down on the farm.** *Science*. 316(5828): 1114-1117.
- Shannon, M. C. 1997. **Adaptation of plants to salinity.** Volume. 60, 75-120.
- Tsiantis, M. 2011. **A transposon in tb1 drove maize domestication.** *Nature Genetics*. 43(11): 1048-1050.
- Uzogara, S. G. 2000. **The impact of genetic modification of human foods in the 21st century: A review.** *Biotechnology Advances*. 18(3): 179-206.
- Vrebalov, J., Ruezinsky, D., Padmanabhan, V., White, R., Medrano, D., Drake, R., Schuch, W. Y Giovannoni, J. 2002. **A MADS-Box gene necessary for fruit ripening at the tomato ripening-inhibitor (Rin) Locus.** *Science*. 296(5566): 343-346.
- Wang, R. L., Stec, A., Hey, J., Lukens, L. Y Doebley, J. 1999. **The limits of selection during maize domestication.** *Nature*. 398(6724): 236-239.
- Xiong, L.; Wang, R. G.; Mao, G. Y Koczan, J. M. 2006. **Identification of drought tolerance determinants by genetic analysis of root response to drought stress and abscisic acid.** *Plant Physiology*. 142(3): 1065-1074.
- Xu, Y.; Li, Z. K. Y Thomson, M. 2012. **Molecular breeding in plants: moving into the mainstream.** *Molecular Breeding*. 29(4): 831-832.
- Zamir, D. 2001. **Improving plant breeding with exotic genetic libraries.** *Nat Rev Genet*. 2(12): 983-989.
- Zhang, H. X. and Blumwald, E. 2001. **Transgenic salt-tolerant tomato plants accumulate salt in foliage but not in fruit.** *Nature Biotechnology*. 19, 765-768.
- Zhao, J. Z., Cao, J., Collins, H. L., Bates, S. L., Roush, R. T., Earle, E. D. Y Shelton, A. M. 2005. **Concurrent use of transgenic plants expressing a single and two *Bacillus thuringiensis* genes speeds insect adaptation to pyramided plants.** *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 102(24): 8426-8430.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la beca PIFI-IPN y la otorgada por CONACYT No. 419903 a J.Q.C., a los apoyos al estímulo de investigación EDI-IPN y COFAA-IPN a F.R.Q.F. así como el financiamiento económico de los proyectos SIP-IPN No. 20101221 y 20110319 en el trabajo de la *nhr1*.

Jesús Quiroz Chávez

Es Licenciado en Biología por la Universidad de Occidente (UdO). Actualmente es estudiante de Maestría en el Programa de Maestría en Recursos Naturales y Medio Ambiente opción Biotecnología Agrícola y becario Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT). Su trabajo de Investigación versa en la búsqueda de genes con aplicación en la industria ornamental.

Luz María García Pérez

Cursó la licenciatura en Biología y la Maestría en Ciencias por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Ha realizado diversos trabajos de investigación en el área de Bioquímica y Biología Molecular en plantas y bacterias. Actualmente se encuentra desarrollando trabajos de investigación en Plantas vinculado a empresas.

Francisco Roberto Quiroz Figueroa

Es Ingeniero Bioquímico por el Instituto Tecnológico de Mérida y Doctor en Ciencias y Biotecnología por el Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY). Actualmente es Profesor Investigador en el Departamento de Biotecnología Agrícola del CIIDIR Unidad Sinaloa, Instituto Politécnico Nacional (IPN), y desarrollando investigación principalmente en la búsqueda de genes con potencial aplicación en el área agrícola.

Ra Ximhai

Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo
Sustentable

Ra Ximhai
Universidad Autónoma Indígena de México
ISSN: 1665-0441
México

2012

PRODUCCIÓN DE BIODIESEL Y BIOETANOL:

¿UNA ALTERNATIVA SUSTENTABLE A LA CRISIS ENERGÉTICA?

Claudia Castro-Martínez; Laura Ivonne Beltrán-Arredondo y Juan Carlos Ortiz-Ojeda

Ra Ximhai, septiembre - diciembre, año/Vol. 8, Número 3

Universidad Autónoma Indígena de México

Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. pp. 93-100.



e-revist@s

PRODUCCIÓN DE BIODIESEL Y BIOETANOL: ¿UNA ALTERNATIVA SUSTENTABLE A LA CRISIS ENERGÉTICA?

BIODIESEL AND BIOETHANOL PRODUCTION: A SUSTAINABLE ALTERNATIVE FOR THE ENERGY CRISIS?

Claudia **Castro-Martínez**; Laura Ivonne **Beltrán-Arredondo**; Juan Carlos **Ortiz-Ojeda**

Profesor-Investigador. CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa. Blvd. Juan de Dios Bátiz Paredes No. 250. Col. San Joachin, C. P. 81101, Guasave, Sinaloa. Teléfono: +(52) 687-872-9626, extensión IPN 87661. Fax: +(52) 687-872-9625. claudiacm30@hotmail.com

RESUMEN

La presente contribución pretende dar una visión general de la situación energética actual y sugerir algunas alternativas sustentables de energía. En primer lugar, se muestra una breve historia sobre las materias primas utilizadas para la producción de energía a través del tiempo, teniendo una alta dependencia de combustibles fósiles, ya que ha sido estimado que más del 90% de la energía consumida proviene de recursos no renovables como el petróleo, gas y carbón. También se menciona que el petróleo es sin duda la principal fuente de energía utilizada en la actualidad y por ende sus reservas se agotan inevitablemente. Además de ocasionar y aumentar los problemas de contaminación ambiental. Posteriormente, se sugiere que para lograr la sustentabilidad energética es necesario el desarrollo de fuentes alternativas que puedan reducir la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) que son tóxicos, así como también disminución en el uso de agua y disminución en los costos de producción de energía. Una de las alternativas que se proponen es la producción de biocombustibles como son: biodiesel y bioetanol, se citan principales características de ellos a nivel de materias primas utilizadas y sistemas de producción. Finalmente, se sugieren algunas soluciones que están siendo desarrolladas a nivel mundial para hacer frente a esta actual situación energética.

Palabras clave: Sustentabilidad energética, biocombustibles, biodiesel, bioetanol.

ABSTRACT

The present contribution intends to give an overview of the current status of the energy crisis and suggest some sustainable alternatives for energy production. In first place, a brief summary of the history about resources for energy production is presented. The high dependency of fossil combustibles it is well known and has been estimated that more than 90% of the used energy comes from non-renewable resources such as oil, gas and carbon. In the same way, here, it is described that oil is, by far, the main source of energy used to date and as a consequence, this resource is, unavoidably, coming to an end and at the same time is causing and increasing environmental pollution problems. Later in this work, it is suggested that in order to achieve the energetic sustainability, the development of alternative sources that will allow the reduction of toxic greenhouse gas (GHG) emissions as well as a decrease of water usage along with a decrease in the energy production costs are needed. One of the alternatives that have been proposed is the production of biofuels, such as biodiesel and bioethanol. Here, some of the main properties at the level of the employed raw materials and production systems are cited. Finally, this work suggests some solutions that are under development worldwide in order to face this current energy situation.

Key words: Sustainability energy, biofuels, biodiesel, bioethanol.

INTRODUCCIÓN

Energía

La energía desempeña un rol importante en el desarrollo humano, económico y en el bienestar de las sociedades, ya que es el motor de todas las actividades que realiza el hombre. Sin energía no habría vida y desarrollo.

La fuente principal de energía se encuentra en el sol, que nos proporciona luz y calor. El resto se encuentra en la atmósfera, sobre la superficie terrestre o en el interior del planeta. Esta energía puede ser renovable y no renovable, dentro de esta última, encontramos a los combustibles fósiles, tales como: el petróleo, carbón mineral y el gas natural, los cuales son recursos limitados.

A lo largo de la historia, la humanidad ha utilizado una variedad de recursos energéticos. Quizás el momento más decisivo fue el descubrimiento del fuego, que gracias a él, se comenzó a ser capaz de controlar y modificar muchos procesos que hasta el momento dependían únicamente de la naturaleza. Fue entonces, que la energía ha sido un elemento indispensable en la satisfacción de las necesidades cotidianas en todas las formas de organización social.

A través de los años el sistema energético mundial ha pasado por dos transiciones energéticas importantes: la primera de ellas determinó la conversión de recursos energéticos fósiles en trabajo mecánico, gracias al descubrimiento y uso de la máquina de vapor y la segunda se caracterizó por el descubrimiento de la electricidad y del perfeccionamiento del motor de combustión interna. Sin embargo, junto con esto se dio una creciente dependencia del petróleo como el energético primario que cubriría las necesidades cada vez mayores de combustibles para la generación de electricidad y para transporte.

Hoy en día vivimos en una época de constantes cambios, de generar y construir un sinfín de herramientas y desarrollos tecnológicos con el fin de tener una mejor calidad de vida. Por lo tanto, cada vez es mayor la cantidad de recursos energéticos que necesitamos y por ende existe un uso desmedido de las materias primas que nos proporcionan energía, como lo es principalmente el petróleo.

Petróleo

El petróleo es una mezcla compleja de hidrocarburos líquidos, compuestos químicos que contienen hidrógeno y carbono, que se forma naturalmente en yacimientos subterráneos de roca sedimentaria. Este hidrocarburo es sin duda la principal fuente de energía utilizada en la actualidad. Se consume principalmente en sectores tales como:

1. Industrial
2. Residencial, comercial y público
3. Transporte
4. Agropecuario

A nivel nacional el consumo energético total en 2009 fue de 4568.07 PJ, del cual el sector transporte consumió 49.0% (Fig. 1A), siendo el mayor consumidor de energía en México (SENER, 2010). Al analizar por combustible se observa que la demanda de gasolina influyó de forma importante en el comportamiento del consumo final energético al representar el 32.8% de la energía. El diesel por su parte, representó el 16% del consumo energético, seguido de la electricidad con el 14.4%. El consumo de biomasa representó el 7.6% del consumo final energético (Fig. 1B). Este escenario nos indica que es de suma importancia buscar materias primas alternativas al petróleo para la producción de combustibles.

Por otro lado, es importante mencionar que la actual era del petróleo que vivimos, además de obtener beneficios de él, ha ocasionado numerosas problemas sociales, económicos y políticos, tales como: división entre países vendedores y compradores, vulnerabilidad respecto a las fluctuaciones de los precios en el mercado petrolero internacional, es un recurso no renovable, dependencia casi total que el sector transporte aún mantiene respecto al petróleo, y finalmente los problemas hacia el ambiente y la salud humana, generando emisiones masivas de gases tóxicos (CO_2 , metano, óxido nitroso, hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y hexafloruro de azufre) a la atmósfera, ocasionando un cambio climático al planeta, esto debido a que el CO_2 es un gas de efecto invernadero.

Por lo anterior, surge la necesidad de buscar fuentes alternativas de energía, de disminuir la dependencia de los combustibles fósiles, es decir, de visualizar una transición energética hacia otras formas de energía renovables, considerando aspectos ambientales, oportunidades económicas, el desarrollo científico y tecnológico, la industrialización de nuevas tecnologías, el aprovechamiento de recursos naturales y la seguridad energética.

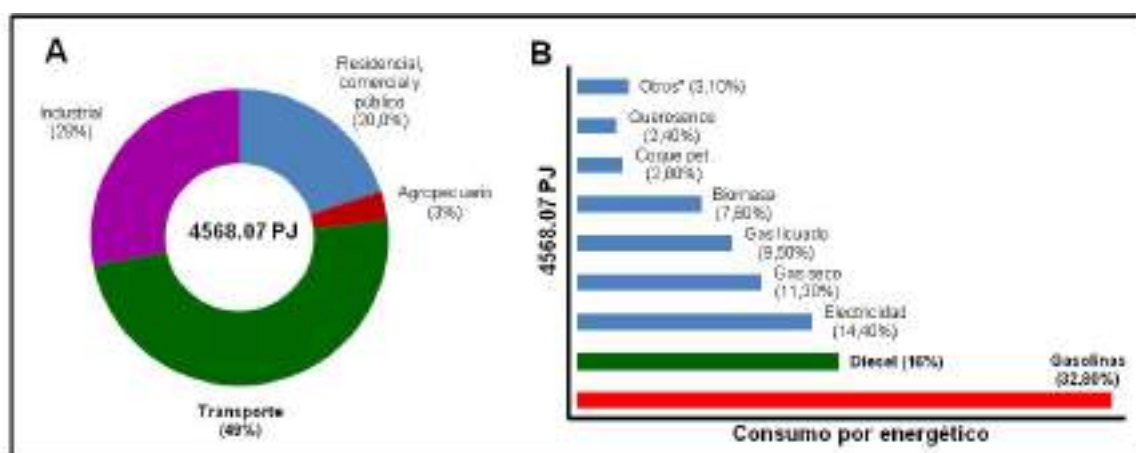


Figura 1. Consumo final energético 2009: A) por sector, B) por tipo energético (SENER, 2010).

Energía sostenible o sustentable

La Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo, establecida por las Naciones Unidas en 1983, definió al desarrollo sustentable como: “*el desarrollo que es capaz de satisfacer las necesidades actuales sin comprometer los recursos y posibilidades de las futuras generaciones, tomando en cuenta los aspectos sociales, económicos y ecológicos*” (www.un.org). Este concepto fue conocido mundialmente en el informe “Nuestro Futuro Común”, publicado en 1987 con motivo de la preparación para la Conferencia Mundial de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, realizada en Río de Janeiro, Brasil en 1992. El significado de esto implica un desarrollo basado en términos cuantitativos a un tipo cualitativo, estableciendo fuertes vinculaciones entre aspectos económicos, sociales y ambientales de manera equitativa, sin perjudicar alguno de ellos.

La sustentabilidad energética es precisamente la producción y consumo de energía, de tal forma que soporte el desarrollo humano en sus tres dimensiones: social, económica y medio ambiental.

Diversas organizaciones en el mundo que han examinado la sustentabilidad del sistema energético actual y mantienen una opinión general: “**hoy en día el sistema energético es insostenible**”. Es decir, el modelo energético está condicionado por tres factores: 1) la disponibilidad de recursos para hacer frente a la demanda de energía, 2) el impacto ambiental ocasionado por los medios utilizados para su suministro y consumo, y 3) la gran falta de equidad en el acceso a este elemento imprescindible para el desarrollo humano. Actualmente estos factores no se cumplen, sino todo lo contrario.

En lo que se refiere a disponibilidad de recursos se predice que “*atendiendo a las condicionantes geológicas, dentro de 50 años prácticamente ya no habrá petróleo, ni gas y/o si los hay su extracción será muy costosa, sin punto de comparación con los precios actuales, es decir, existen cantidades limitadas de este recurso y no hacemos más que agotarlas*” (documento emitido por la Comisión Europea: “Energía: controleemos nuestra dependencia”).

Por su parte, el impacto ambiental se refiere al uso desmedido del petróleo, que ocasiona la emisión de sustancias y gases contaminantes a la atmósfera (gases de efecto invernadero, GEI), de tal forma que propicia el cambio climático. Así como también, contaminación en ríos, mares y lagos, dañando la fauna y vegetación. Se ha informado que el sector energético contribuye con aproximadamente el 80% de las emisiones de GEI en el mundo (AIE, 2010).

Finalmente, el primer problema de la sustentabilidad energética es la falta de equidad, es decir, un tercio de la población mundial no tiene acceso a la energía comercial y a los servicios que proporciona: iluminación, cocinado de alimentos, calefacción y refrigeración, telecomunicaciones y energía mecánica, entre otros. Como resultado de esto, se consumen los combustibles tradicionales a una velocidad superior a la regeneración natural, lo cual degrada la tierra.

Tomando como base la problemática actual sobre el desconocimiento de la población de la situación energética mundial y reconociendo la importancia de la energía para el desarrollo sostenible, la Asamblea General de las Naciones Unidas proclamó el año 2012 “*Año Internacional de la Energía Sostenible para Todos*”, el cual ofrece una gran oportunidad para tomar conciencia sobre la importancia de incrementar el acceso sostenible a la energía, la eficiencia energética y la energía renovable en el ámbito local, nacional, regional e internacional, asegurando el desarrollo sostenible y la protección del clima mundial.

Con esto se reafirma el apoyo a la aplicación de políticas y estrategias nacionales que combinen un mayor uso de fuentes de energía nuevas y renovables, así como tecnologías de bajas emisiones, un uso más eficiente de la energía, un mayor uso de tecnologías avanzadas y menos contaminantes para el aprovechamiento de los combustibles fósiles, y el uso sostenible de recursos energéticos tradicionales, así como tener un mayor acceso a servicios energéticos modernos, fiables, asequibles y sostenibles, y una mayor capacidad nacional para atender a la creciente demanda de energía.

Algunas alternativas de producción de energía: Biocombustibles líquidos

Asumiendo los principios de la sustentabilidad energética, en la actualidad se están realizando grandes y diversos proyectos alrededor del mundo para la producción de bioenergía, es decir, a partir de fuentes renovables, por ejemplo: de la materia constitutiva de los seres, sus excretas y sus restos no vivos (biomasa). Algunas de las ventajas que presenta este tipo de energía son: es almacenable, permite satisfacer la mayor parte de los usuarios finales (por ser renovable), es ubicua, es escalable y es comercialmente madura. Además, los biocombustibles podrían idealmente tener ventajas sobre los combustibles fósiles con respecto a sus bajos costos y alto contenido energético, así como también podrían tener una ganancia de energía neta, ya que se obtendrían beneficios ambientales y pueden ser reproducibles en grandes cantidades sin impactar el suministro de alimentos (Hill *et al.*, 2006).

Uno de los productos que son obtenidos a partir de la biomasa son los biocombustibles, éstos pueden ser sólidos, por ejemplo: carbón de leña y maderas; o líquidos, como es el caso del bioetanol, biodiesel y aceites de la pirólisis; o gaseoso, como el biogás (metano).

Solamente el biodiesel y el bioetanol son actualmente producidos como combustibles a escala industrial: una breve historia de su uso y producción se muestra en Antoni *et al.*, (2007); Goldemberg y Guardabassi, (2009). Por lo anterior, en esta revisión se detallará la situación actual de los dos biocombustibles líquidos más utilizados en los últimos años: biodiesel y bioetanol.

Diversos investigadores mencionan que la producción de biocombustibles líquidos es una necesidad mundial y estiman que el uso del petróleo está limitado a 40-50 años (Khanna *et al.*, 2011; Craig y Sehlke, 2012).

Biodiesel

El biodiesel es una de las fuentes de energía alternativas potenciales que cumplen con criterios de sustentabilidad o sostenibilidad, ya que es renovable y producido a partir de los recursos nacionales con un menor impacto ambiental, además de ser biodegradable y no tóxico (Demirbas, 2008). Es un biocombustible líquido propuesto como alternativa para la sustitución o disminución del uso de diesel tradicional de petróleo (fósil). Químicamente, el biodiesel es un mono alquil éster (metil o etil éster) de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales y grasas animales. Durante esta reacción consecutiva y reversible: un mol de acil-glicerol actúa con un mol de alcohol y un mol de éster es formado en cada etapa en ausencia o presencia de un catalizador. La alcoholisis de un aceite vegetal puede ser catalizada química o enzimáticamente. La catálisis química (básica y ácida) puede ser homogénea o heterogénea, mientras que en la catálisis enzimática se utiliza comúnmente una enzima llamada lipasa (Bankovic-Ilic *et al.*, 2012).

El biodiesel tiene el potencial para reducir emisiones de gases contaminantes generados en el sector transporte, el cual es el mayor usuario de combustibles fósiles líquidos. El uso del biodiesel también reduce las partículas tóxicas liberadas a la atmósfera como resultado de la quema de combustibles, puede proveer de tal forma beneficios a la salud humana (Pawar *et al.*, 2011).

Diversos métodos de producción han sido utilizados, entre los que podemos citar: mezclado/dilución, microemulsificación, craqueo térmico, esterificación y transesterificación. Hoy en día, el biodiesel es comercialmente producido por transesterificación a partir de aceites vegetales con alcohol. Los alcoholes más comúnmente utilizados son metanol o etanol, estos pueden ser producidos a partir de fuentes de energía renovable (Nabi *et al.*, 2006; Salvi y Panwar, 2012).

Este biocombustible podría ser usado en motores de combustión interna convencional, con pequeñas o sin modificación en motores actuales (Gerpen, 2005; Canaki, 2007). También se podría emplear como combustible puro o mezclado con petrodiesel, siendo estable en cualquier proporción. Además, con la producción de biodiesel se espera fomentar el empleo y el desarrollo económico en las zonas rurales, reduciendo de esta forma la dependencia nacional sobre la importación de petróleo y aumentando la seguridad del abastecimiento energético (Moser, 2009).

Por otro lado, aunque el biodiesel tiene muchas ventajas sobre el petrodiesel, los altos precios de producción son una barrera para su comercialización. Zhang *et al.* (2003) muestran que el precio de biodiesel es alrededor de 0.5 US\$/L, comparado con 0.35US\$/L para el diesel de petróleo. Los precios del biodiesel dependen principalmente de los costos de las materias primas utilizados para su producción, siendo este precio entre el 70-95% del costo total de biodiesel (Balat, 2011, Fan y Burton, 2009; Gui *et al.*, 2008, Leung *et al.*, 2010). El uso de aceites no comestibles y de bajo costo podría ser una opción para mejorar la economía de la producción de biodiesel y su producción comercial a escala industrial. Debido a diferentes condiciones climatológicas, varios países han localizado varios tipos de aceites vegetales no comestibles para su posible uso en la producción de biodiesel (Salvi y Panwar, 2012). En este sentido, en el mundo han sido identificadas alrededor de 350 plantas oleaginosas que pueden ser candidatas a investigación para la posible producción de biodiesel.

Bioetanol

El bioetanol, también conocido como etanol o alcohol etílico, ha sido ampliamente utilizado como combustible o como potenciador de gasolina, este es completamente renovable en la naturaleza, ya que al quemarlo, el bióxido de carbono que libera es reciclado y retorna a las plantas debido a que estas usan el bióxido de carbono durante la fotosíntesis para la producción de biomasa, además el uso del bioetanol como potenciador de los combustibles fósiles presenta algunas ventajas como una mejor oxidación de los hidrocarburos de la gasolina y la consecuente reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera (alrededor de un 12%) (Chandel y Singh, 2011).

En muchos países la producción y uso de bioetanol como combustible data desde la década de 1980's y actualmente existen en países como Brasil y Estados Unidos tecnologías rentables y probadas comercialmente, tanto en la producción a nivel industrial, como en el uso de este biocombustible. Sin embargo estos países producen bioetanol a partir de materias primas utilizadas en alimentación, como la caña de azúcar y granos de maíz (Howard *et al.*, 2003).

Debido a los conflictos que puede generar el uso de cultivos para alimento humano en la producción de biocombustibles, en los últimos años ha surgido la alternativa de producir bioetanol a partir de biomasa lignocelulósica, siendo esta la fuente orgánica de energía renovable más abundante en la tierra (alrededor de 200 billones de toneladas/año) y están disponibles para la conversión de etanol y otros productos de valor agregado (Himmel *et al.*, 2007).

Existe una amplia variedad de biomasa disponible en las biorefinerías para la producción de bioetanol. Los principales monocultivos utilizados crecen en suelos fértiles (azúcar de caña, maíz,

soya, oleaginosas) (Farrel *et al.*, 2006), desechos de biomasa (residuos agrícolas) (Kim y Dale, 2004), y desechos municipales (desechos de papel y periódico) (Blanch, 2011).

Los principales componentes de la biomasa vegetal son celulosa, hemicelulosa y lignina, los cuales se encuentran en la pared celular de las plantas como una mezcla compleja de polisacáridos, pectina y lignina (Simmons *et al.*, 2008). Dentro de estos la celulosa es el polisacárido más abundante, que está formado por una cadena lineal de residuos de glucosa y es el principal componente estructural de las plantas. La degradación de la biomasa lignocelulósica es llevada a cabo por una gran cantidad de microorganismos, que poseen enzimas que son capaces de producir azúcares fermentables que podrán ser utilizados en la producción de bioetanol (Lynd *et al.*, 2002; Rubin, 2008).

Debido a la extensa distribución de la materia lignocelulósica, existen una gran variedad de microorganismos que poseen enzimas capaces de hidrolizarla. Estos crecen en varios ambientes y en diferentes condiciones de oxígeno, temperatura, salinidad, entre otras. Los materiales lignocelulósicos poseen un enorme potencial industrial, debido a su bajo costo y abundancia, es por ello que en las últimas años se ha incrementado el estudio de microorganismos que puedan degradar estos materiales (González *et al.*, 2005).

La producción de bioetanol lignocelulósico se lleva a cabo en varias etapas, es necesario, una vez recolectados los desechos vegetales, aplicar un pretratamiento de estos desechos para romper la estructura de la matriz lignocelulósica, ya sea físico, químico o térmico, posteriormente se realiza una hidrólisis enzimática, llevada a cabo por una mezcla de enzimas celulolíticas. Posteriormente, la fermentación de los azúcares en etanol mediante cepas de levaduras que metabolizan la glucosa al etanol. Como etapa final esta la destilación-rectificación-deshidratación, que es la separación y purificación de etanol a las especificaciones del combustible (Howard *et al.*, 2003; Rubin, 2008).

El futuro de la materia lignocelulósica está ligado a mejoramiento de la biomasa de las plantas, ingeniería metabólica para la producción de bioetanol y microorganismos productores de enzimas celulolíticas, así como la mejora de la infraestructura tecnológica para la producción del biocombustible a nivel industrial (Chandel y Singh, 2011).

Soluciones para un mejor futuro energético

Sistemas de energía renovable podrían ser una solución viable para resolver los problemas de insuficiencia de combustibles fósiles, garantizando seguridad energética en muchos países, sin causar daños ambientales. Existen varias razones para el interés, estudio y producción de los biocombustibles, entre los que podemos citar (Russo *et al.*, 2012):

1. Mitigan el cambio climático y reducen la dependencia en las importaciones de energía,
2. La producción de energía renovable puede sustituir o disminuir el uso de los combustibles fósiles tradicionales (Walker, 2009).
3. Reducen las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), compromiso a nivel mundial para la producción de algún tipo de energía.
4. El desarrollo de los recursos locales: apoyo a las empresas y pequeños productores, generando bienestar y valor agregado.
5. Importante ahorro en los costos de transporte (Tao y Aden, 2009).

El panorama global sobre los biocombustibles para los próximos años dependerá de un número interrelacionado de factores, incluyendo el precio futuro del petróleo, la disponibilidad de materias primas baratas, la continuidad de políticas públicas que alienten al sector, los cambios tecnológicos que podrían reducir el costo de biocombustibles de segunda generación (celulosa y microalgas), y la competencia de los combustibles fósiles no convencionales. Por el lado de la demanda, en varios países existe un importante y progresivo impulso derivado de regulaciones que actualmente están vigentes.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Como hemos visto, aún nos encontramos en la era del petróleo. No obstante, algunos expertos en el área de energía sostienen que el mundo se encamina hacia una crisis energética global. Se postula que por razones sociales, económicas y medio ambientales es necesaria una nueva transición energética, lo que conlleva cambios radicales, primero es necesario concientizar, generar, construir y aplicar los conocimientos y estrategias establecidas. Para lograrlo, es necesario realizar grandes esfuerzos con la finalidad de aumentar la eficiencia de su uso final, lograr ahorros de energía primaria, desarrollar una base de datos con amplios sustitutos de los combustibles fósiles, así como tecnologías de producción y uso final. Además, propiciar e impulsar la descentralización de los sistemas energéticos.

LITERATURA CITADA

- AIE, 2010. **World Energy Outlook 2010**. International Energy Agency (OECD/IEA). 219-252.
- Antoni, D., Zverlov, V.V., Schwarz, W.H. 2007. **Biofuels from microbes**. Applied Microbiology and Biotechnology. 77:23-35.
- Balat, M. 2011. **Potential alternatives to edible oils for biodiesel production – a review**. Energy Convers Manage. 52:1479-1492.
- Bankovic-Ilic, I.B., Stamekovic, O.S. y Veljkovic, V.B. 2012. **Biodiesel production from non edible plant oils**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 16: 3621-3647.
- Blanch, H.W. 2011. **Bioprocessing for biofuels**. Current Opinion in Biotechnology. 23: 1-6.
- Canaki, M. 2007. **The potential of restaurant waste lipids as biodiesel feedstocks**. Bioresources Technology. 98:183-190.
- Chandel, A.K. y Singh, O.V. 2011. **Weedy lignocellulosic feedstock and microbial metabolic engineering: advancing the generation of “Biofuel”**. App Microbiol Biotechnol. 89: 1289-1303.
- Craig, D.C. y Sehlke, G. 2012. **Sustainability and energy development: influences of greenhouse gas emission reduction options on water use in energy production**. Environmental Science and Technology. 46: 3509-3518.
- Dermibas, D.A. 2008. **Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections**. Energy Conversion and Management. 49: 2106-2116.
- Fan, X. y Burton, R. 2009. **Recent development of biodiesel feedstocks and the applications of glycerol: a review**. Open Fuel Energy Science. 2: 100-109.
- Farrel, A.E., Plevin, R.J., Turner, B.T., Jones, A.D., O'Hare, M. y Kammen, D.M. 2006. **Ethanol can contribute to energy and environmental goals**. Science. 311: 506-508.
- Gerpen, J.V. 2005. **Biodiesel processing and production**. Fuel Process and Technology. 86: 1097-1107.
- Goldemberg, J. y Guardabassi, P. 2009. **Are biofuels a feasible option?**. Energy Policy. 37: 10-14.
- González, Y., González, O., Bungaray, J. 2005. **Potencial del bagazo de agave tequilero para la producción de biopolímeros y carbohidrasas por bacterias celulolíticas y para la obtención de compuestos fenólicos**. E-Gnosis.3. Art. 14: 1-18.
- Himmel, M.E., Ding, S.Y., Johnson, D.K., Adney, W.S., Nimlos, M.R., Brady, J.W. y Foust, T.D. 2007. **Biomass recalcitrance: engineering plants and enzymes for biofuels production**. Science. 315: 804-807.
- Howard, R.L., Abotsi, E., Jansen van Rensburg, E.L. y Howard, S. 2003. **Lignocellulose biotechnology: issues of bioconversion and enzyme production**. African Journal of Biotechnology. 2:602-619.
- Khanna, M., Crago, C.L. y Black, M. 2011. **Can biofuels be a solution to climate change? The implications and land use change-related emissions for policy**. Interface Focus. 1: 233-247.
- Kim, S. y Dale, E.B. 2004. **Global potential bioethanol production from wasted crops and crop residues**. Biomass Bioenergy. 26: 361-375.
- Leung, D.Y.C., Wu, X. y Leung, M.K.H. 2010. **A review on biodiesel production using catalyzed transesterification**. Applied Energy. 87: 1083-1095.
- Lynd, L., Weimer, P., Zil, H., Preterius, I. 2002. **Microbial cellulose utilization: fundamentals and biotechnology**. Microbiology and Molecular Biology Reviews. 66: 506-577.
- Moser, B.R., Knothe, G., Vaughn, S.F. y Isbell, T. A. 2009. **Production and evaluation of biodiesel from field pennycress (*Thlaspi arvense* L.)**. Oil, Energy Fuel. 23: 4149-4155.
- Nabi, M.N., Akhter, A.S., Shahadat, M.M.Z. 2006. **Improvement of engine emissions with conventional diesel fuel and diesel-biodiesel blends**. Bioresources Technology. 97:372-378.
- Panwar, N.L., Kaushik, S.C., Kothari, S. 2011. **Role of renewable energy sources in environmental protection: a review**. Renewable Sustainable Energy Reviews. 15:1513-1524.

- Rubin, E. 2008. **Genomics of cellulosic biofuels**. Nature Reviews. 454:841-845.
- Salvi, B.L. y Panwar, N.L. 2012. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 16: 3680-3689.
- SENER. 2010. **Balance Nacional de Energía 2009**. Subsecretaría de Planeación y Desarrollo Tecnológico. México, D.F. 1-183.
- Simmons, B. A., Loque, D., Blanch, H. W. 2008. **Next-generation biomass feedstocks for biofuel production**. Genome Biology. 9: 242.
- Russo, D., Dassisti, M., Lawlor, V. y Olabi, A.G. 2012. State of the art of biofuels from pure plant oil. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 16: 4056-4070.
- Walker, D.A. 2009. **Biofuels, facts, fantasy, and feasibility**. Journal of Applied Phycology. 21 :509-517.
- Tao, L. y Aden, A. 2009. **The economics of current and future biofuels**. In Vitro Cellular and Developmental Biology – Plant. 45: 199-217.
- Zhang, Y. Dube, M.A., McLean, D.D. y Kates, M. 2003. **Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment**. Bioresource Technology. 89 :1-16.

Claudia Castro Martínez

Profesor-Investigador Titular del CIIDIR IPN-Unidad Sinaloa. Responsable del Laboratorio de Bioenergéticos, Depto. Biotecnología Agrícola. Doctor en Ciencias en Ingeniería de Bioprocesos y Medio Ambiente, IPN, Toulouse, Francia. Estancia Posdoctoral en el Posgrado en Biotecnología de la UAS y en el Departamento de Biotecnología y Bioquímica del CINVESTAV, Unidad Irapuato. Candidato del SNI.

Laura Ivonne Beltrán Arredondo

Ingeniero Bioquímico del Instituto Tecnológico de Los Mochis. Estudiante de posgrado del programa de Maestría en Recursos Naturales y Medio Ambiente de CIIDIR IPN-Unidad Sinaloa.

Juan Carlos Ortiz Ojeda

Ingeniero en Biotecnología de la Universidad Politécnica de Sinaloa. Estudiante de posgrado del programa de Maestría en Recursos Naturales y Medio Ambiente de CIIDIR IPN-Unidad Sinaloa.

Ra Ximhai

Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo
Sustentable

Ra Ximhai
Universidad Autónoma Indígena de México
ISSN: 1665-0441
México

2012

PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES A PARTIR DE MICROALGAS

Luis Carlos Fernández-Linares; Jorge Montiel-Montoya; Aarón Millán-Oropeza y Jesús
Agustín Badillo-Corona

Ra Ximhai, septiembre - diciembre, año/Vol. 8, Número 3
Universidad Autónoma Indígena de México
Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. pp. 101-115.



e-revist@s

PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES A PARTIR DE MICROALGAS

PRODUCTION OF BIOFUELS OBTAINED FROM MICROALGAE

Luis Carlos **Fernández-Linares**¹; Jorge **Montiel-Montoya**²; Aarón **Millán-Oropeza**¹ y Jesús **Agustín Badillo-Corona**¹

¹Profesor investigador. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología-Instituto Politécnico Nacional. Av. Acueducto s/n Col. Barrio la Laguna Ticomán, C.P. 07340 México D.F. ²Profesor investigador. CIIDIR- Instituto Politécnico Nacional, Unidad Sinaloa. Blvd. Juan de Dios Bátiz Paredes 250. Guasave, Sinaloa, México. 81101. mont54@yahoo.com.

RESUMEN

Se hace una revisión de la situación de los biocombustibles en el mundo, principalmente del biodiesel. Se comparan las diferentes materias primas para la síntesis de biodiesel y se enfatiza en la producción de éste a partir de microalgas. Se comparan las diferentes microalgas de agua dulce y salada en cuanto a su contenido lipídico y productividad. Se revisa el proceso de biosíntesis de los lípidos y como se puede mejorar su producción de lípidos en estas. Se discute la importancia de manipular genéticamente a *Botryococcus braunii*, *Nannochloropsis* sp, *Noechlorisoleobundans* y *Nitschia* sp. También se hace un estudio de las ventajas y desventajas de los diferentes sistemas de cultivo de microalgas. Finalmente se presenta una perspectiva de los biocombustibles a partir de las microalgas. Entre los principales retos a vencer para producir biodiesel están: El costo de producción de biomasa, que involucra la optimización de medios, selección y manipulación de cepas y el diseño de fotobiorreactores. También se debe considerar el proceso de separación de biomasa, la extracción de aceites y subproductos, la optimización del proceso de transesterificación, purificación y uso de subproductos.

Palabras clave: Biodiesel, bioetanol, fotobiorreactores, algas, cianobacterias, sustentabilidad, ecología industrial.

SUMMARY

A review of the situation of bio-fuels in the world, mainly of biodiesel is made. A comparison among the different raw materials for the synthesis of biodiesel is done and it is emphasized in the production of biodiesel from microalgae. The different fresh and salt water micro-algae in its lipid content and productivity are compared. A review of the process of biosynthesis of lipids in microalgae and how to improve the production of lipids in microalgae is shown. It is discussed the importance of the genetic manipulation to highly lipid-producing microalgae (example: *Botryococcus braunii*, *Nannochloropsis* sp, *Noechlorisoleobundans* and *Nitschia* sp.). A study of the advantages and disadvantages of the different systems of cultivation of microalgae is also made. Finally, it is shown a perspective of biofuels from microalgae. Among the main challenges to overcome to produce biodiesel from microalgae are: the cost of production of biomass, which involves the optimization of media, selection and manipulation of strains and photobioreactors design. The process of separation of biomass, the extraction of oils and by-products, the optimization of the process of transesterification, purification and use of by-products must also be considered.

Key words: Biodiesel, bioethanol, photobioreactors, algae, cyanobacteria, sustainability, industrial ecology.

INTRODUCCIÓN

Existen dos grandes problemas que enfrenta el mundo en el área energética: la disminución de las reservas petroleras y la contaminación causada por la quema de los combustibles fósiles. A partir de la revolución industrial (siglo XVIII y XIX) se comenzó a observar la presencia de gases emitidos durante los procesos productivos, y solo hasta el siglo XX, los científicos y los políticos comenzaron a tomar en consideración las alteraciones generadas a los ecosistemas y a la población humana.

Durante muchas décadas los combustibles fósiles han sido la principal fuente energética y también el principal motor de la economía mundial, sin embargo, no se han descubierto nuevos yacimientos petroleros de gran importancia o impacto en la producción mundial, la Agencia Internacional de la Energía (AIE) señala la necesidad de desarrollar tecnología que sustituya el uso de petróleo, ya que para el 2020 pronostica la disminución de la producción del petróleo convencional. Uno de los retos más importantes que enfrentará la sociedad en las próximas décadas será cubrir la creciente demanda de energía de forma segura y sustentable. La demanda de energía crecerá potencialmente en los próximos años, para el año 2004 el consumo mundial de energéticos fue de alrededor de 13,000 Mtoe (millones de toneladas de equivalente de petróleo) y se estima que para el año 2030 el consumo se eleve hasta los 18,000 Mtoe (Boyle, 2004).

La energía primaria proviene aproximadamente en 80% de petróleo, carbón y gas natural y aún para el año 2030 las fuentes renovables seguirán representando una pequeña fracción de la energía global (AIE, 2006). En los próximos cuarenta años será más difícil producir petróleo, esto es debido a que actualmente se extraen crudos cada vez más pesados los cuales son más difíciles de refinar, afectando directamente al costo de producción de combustibles, así como el hecho de que la política, la economía y la tecnología definen en el mercado el precio del petróleo.

La crisis del petróleo de 1970 provocó gran interés a nivel mundial en el desarrollo de biocombustibles como fuente alterna al uso de combustibles derivados de petróleo (Timilsina y Shrestha., 2011). En 2008 los combustibles fósiles se establecieron como fuente primaria de energía (Balat y Balat., 2010). Actualmente, el sector de transporte es completamente dependiente de combustibles derivados de petróleo, su demanda aumenta anualmente en promedio 1.4%. De continuar la extracción al ritmo actual, las reservas de petróleo se agotarán para mediados del presente siglo (Departamento de Energía de los Estados Unidos: *International Energy Outlook*, 2011). Esto representa serios problemas de seguridad energética y el aumento en la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) (Mata *et al.*, 2010). Aunado a eso, el uso de combustibles fósiles no es sustentable debido a la acumulación de GEI en la atmósfera (Balat, 2011). Esta situación demanda la necesidad del desarrollo de tecnologías sustentables, renovables y que permitan cubrir la demanda energética de las actividades antropogénicas (Balat y Balat., 2010).

Las energías renovables se definen según la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE) como formas de energía que tienen una fuente prácticamente inagotable con respecto al tiempo de vida de un ser humano en el planeta, y cuyo aprovechamiento es técnicamente viable. Dentro de estos tipos de energía se encuentran: la solar, la eólica (viento), la hidráulica, la biomasa (materia orgánica), la geotérmica (calor de las capas internas de la tierra) y la energía oceánica, principalmente. La biomasa, es el término genérico que se refiere al conjunto de la materia biológicamente renovable (árboles, cultivos), de la que se puede obtener biocombustibles como el biodiesel, obtenido de aceites de plantas o algas, y el bioetanol. Actualmente hay un gran interés por la producción de grandes cantidades de este como alternativa a los combustibles fósiles en todo el mundo.

Una alternativa es el uso de biocombustibles, definidos como combustibles líquidos o gaseosos potencialmente renovables, que pueden utilizarse para la generación de electricidad, calor y energéticos (Balat *et al.*, 2007). Los biocombustibles como: bioetanol, butanol, biodiesel, hidrógeno y metano, son sintetizados a partir de fuentes biológicas (Stephanopoulos *et al.*, 2008).

Particularmente, el biodiesel es una interesante alternativa para cubrir parte de la demanda energética de combustibles derivados de petróleo destinados al transporte (Chisti, 2011). El biodiesel es un biocombustible producido principalmente de aceites de plantas oleaginosas, cuya disponibilidad es incapaz de remplazar el mercado de diesel (Timilsina y Mevel., 2010); además de no ser sustentable por competir por alimento humano y suelos cultivables (Amaro *et al.*, 2011; Demirbas y Demirbas, 2010).

El uso de microalgas para la producción de biodiesel ha surgido como una opción promisoría, debido a que presentan mayor eficiencia fotosintética, son más eficaces en la asimilación de CO₂ y otros nutrientes con respecto a las plantas, acumulan entre 20 y 80% de triglicéridos (Chisti, 2011), no requieren tierras cultivables, demandan menor consumo de agua renovable y pueden cultivarse en agua salobre (Amaro *et al.*, 2011; Chisti, 2007; Demirbas, 2009). La composición del medio de cultivo y las condiciones de crecimiento de microalgas tienen un efecto importante en el rendimiento de biomasa y en el contenido de lípidos (Sims y Christenson, 2011). Se ha demostrado que la limitación de nitrógeno y fósforo, incrementan el contenido lipídico en microalgas (Beer *et al.*, 2009; Scott *et al.*, 2010).

Para su cultivo existen dos principales tipos de fotobiorreactores: sistemas cerrados y sistemas abiertos tipo raceway (Sims y Christenson, 2011). Los sistemas abiertos presentan menor

productividad comparados con los sistemas cerrados (Chisti, 2011). Sin embargo, su operación, limpieza, construcción y escalabilidad son aspectos más económicos a comparación de los sistemas cerrados (Ugwu *et al.*, 2008); por lo que su desarrollo representaría una opción promisorio en la optimización de costos de producción para un bioproceso de biodiesel a nivel industrial.

México como Colombia y otros países Latinoamericanos actualmente son exportadores de petróleo, pero las reservas probadas y la calidad del petróleo están disminuyendo. Actualmente es imperante que se desarrollen planes para la implementación y desarrollo de tecnologías para la obtención de energías renovables. Varias de estas tecnologías ya llevan un gran avance en el desarrollo tecnológico (eólicas, solar, mareomotriz), así como la obtención de biocombustibles a partir de caña y granos. En el caso de los biocombustibles, se deben desarrollar tecnologías que sean sustentables, es decir, que respondan a las necesidades y realidades de los países Latinoamericanos. Los biocombustibles a partir de algas son tecnologías que permitirán dar respuesta a las necesidades de combustibles líquidos de forma sustentable y contribuir a la seguridad energética nacional.

Situación de los biocombustibles en el mundo

El incremento del precio del petróleo, la naturaleza finita de los combustibles fósiles y la preocupación con respecto al impacto ambiental, especialmente sobre la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), han establecido la necesidad de buscar nuevas fuentes energéticas; así como desarrollar tecnologías alternas para motores de combustión (Balat, 2011). Debido a que aproximadamente el 98% de las emisiones de carbono resultan de la combustión de energéticos fósiles (Balat y Balat, 2010).

A partir de la crisis de petróleo en la década de 1970, surgió gran interés en desarrollar biocombustibles para el uso en medios de transporte en países como: Brasil, Estados Unidos, China, Kenya y Zimbawe (Timilsinay Shrestha, 2011).

En la actualidad el sector de transporte es casi totalmente dependiente de los combustibles derivados de petróleo, alcanzando el 73.3% del consumo global de petróleo. La mayoría de los expertos coinciden en que de continuar la extracción al ritmo actual, las reservas de petróleo se agotarán para mediados del presente siglo (Balat y Balat, 2010; Departamento de Energía de los Estados Unidos: *International Energy Outlook*, 2011).

A pesar de la existencia de tecnologías para captar energía solar, hídrica y eólica, el uso de biocombustibles líquidos y gaseosos a partir de biomasa permitirá cubrir gran parte de la demanda energética requerida para el transporte (Balat, 2011; Chisti y Yan, 2011).

La creación de biocombustibles líquidos a partir de biomasa ha sido un gran logro de la biotecnología, porque son una fuente renovable y abundante en lugares donde los combustibles líquidos derivados de petróleo no están disponibles (Stephanopoulos *et al.*, 2008). En años recientes se han estudiado los impactos económicos y ambientales de la producción de biocombustibles como etanol, metano, hidrógeno, y biodiesel. Resaltando la importancia del estudio de la producción de biodiesel, debido a que es la única tecnología capaz de sustituir el consumo de combustibles derivados de petróleo (Chisti, 2011), principalmente aquellos destinados para el sector de transporte. Además ofrece ventajas ambientales como la reducción de emisiones de GEIs hasta el 70-90% con respecto al diesel convencional (Timilsina y Mevel, 2010).

Biodiesel

El biodiesel es un biocombustible líquido compuesto de alquil-ésteres de alcoholes de cadena corta como etanol y metanol, con ácidos grasos de cadena larga obtenidos a partir de biomasa renovable: aceites vegetales, grasas animales y aceites de microalgas (Robles-Medina *et al.*, 2009).

Se han hecho esfuerzos considerables para el desarrollo de derivados lipídicos (triglicéridos) que se asemejen a las propiedades y comportamiento de energéticos a base de hidrocarburos fósiles (Balat,

2011). Los principales problemas asociados a la bioconversión de triglicéridos en biodiesel son las altas viscosidades, baja volatilidad y la poliinsaturación (Demirbas, 2009).

Existen diversas metodologías para la producción de biodiesel, cuatro de ellas han sido estudiadas exhaustivamente: uso directo de aceites o mezclas de éstos con diesel fósil, microemulsiones, pirólisis y transesterificación (Balat y Balat., 2010; Garibay-Hernández *et al.*, 2009). De las cuatro técnicas, la conversión química ó transesterificación de aceites es la solución más factible al problema de altas viscosidades (Balat, 2011). La transesterificación o alcoholólisis es la reacción reversible entre triglicéridos y un alcohol para producir alquil ésteres de ácidos grasos (biodiesel) y glicerol como subproducto (Fig. 1). La reacción de transesterificación se realiza mediante alcoholes alifáticos monohídricos de cadena corta, principalmente: metanol, etanol, propanol y butanol (Abdullah *et al.*, 2007).

Es preferible el uso de etanol en la reacción de transesterificación, debido a que puede generarse de productos agrícolas, es renovable y ambientalmente más amigable, sin embargo, el metanol es el alcohol más empleado por sus ventajas físicas, químicas y bajo costo (Balat y Balat., 2010).

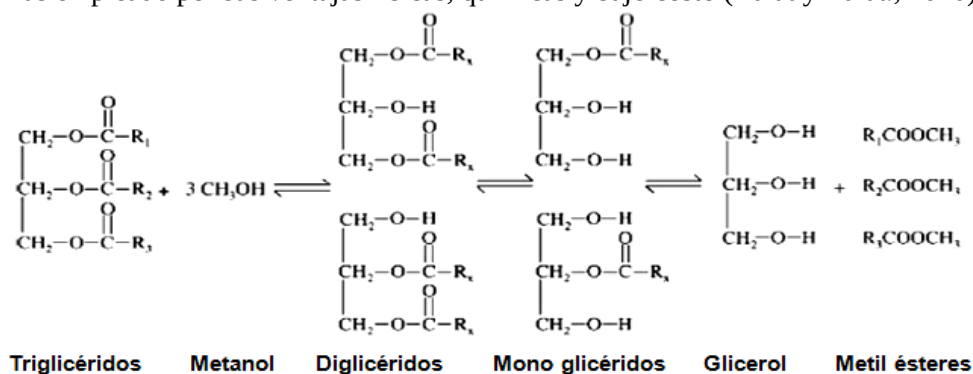


Figura 1. Reacción general de transesterificación (Abdullah *et al.*, 2007).

El biodiesel tiene las principales ventajas de ser una fuente de energía potencialmente renovable y biodegradable, durante su combustión produce menos emisiones nocivas de sulfuros, hidrocarburos aromáticos y partículas de hollín (Balat y Balat., 2010), posee propiedades lubricantes que reducen el desgaste de los motores, es un producto seguro para su transporte y manejo debido a su elevado punto de inflamación (150 °C) y baja volatilidad (Demirbas, 2009). Además, el biodiesel puede utilizar la infraestructura actual de almacenamiento y de distribución para el diesel de petróleo (Robles-Medina *et al.*, 2009).

Estados Unidos de Norteamérica es el país con mayor producción de biodiesel (4050 ML/año) seguido por Alemania (3446 ML/año) y Francia (2301 ML/año) (European Biodiesel Board, 2012; NBB US National Biodiesel Board, 2012). Países emergentes como Malasia, China, Brasil, Colombia, Argentina e Indonesia, desarrollan tecnologías promisorias en la industria del biodiesel (Li *et al.*, 2008). Y se estima que la producción mundial del biocombustible incrementará considerablemente con un mercado de 168,206 millones de litros para el 2016 (Li y Liu., 2008; Timilsina y Mevel, 2010).

A pesar de la tendencia de consumo y producción de biodiesel, la realidad es que no será un producto económicamente competitivo mientras no cuente con el subsidio del gobierno y cuando el precio del crudo de petróleo esté por encima de los USD\$100 por barril (Chisti *et al.*, 2011); hoy en día el costo por barril es de aproximadamente USD\$106.45 (Departamento de Energía de los Estados Unidos: *WorldCrudeOilPrices*, 2011). Sin embargo, más de la mitad de los costos de producción son dependientes del precio de la materia prima, por ende, la reducción de los costos está estrechamente ligada a la optimización en los precios de la fuente de producción (Timilsina y Mevel., 2010).

Materia prima para la síntesis de biodiesel

Los principales sustratos empleados para producir biodiesel son aceites vegetales extraídos de plantas oleaginosas, cuyo costo representa cerca del 70% del costo total de producción (Behzadi y Farid, 2007); lo cual indicaría que los aceites vegetales más apropiados son aquellos de cultivos con las mayores productividades por hectárea (Cuadro 1) o aceites de bajo costo como aceites de cocina gastados (Robles-Medina *et al.*, 2009).

La constitución básica de los aceites vegetales es del 90-98% de triglicéridos y una pequeña cantidad de mono y diglicéridos; los cuales contienen usualmente ácidos grasos libres, agua, esteroides, fosfolípidos, odorantes y otras impurezas (Srivastava y Prasad, 2000).

Las ventajas que ofrecen los aceites vegetales como materia prima para biodiesel son su portabilidad, disponibilidad inmediata, regeneración, bajo contenido de sulfuros, alto contenido calórico (aproximadamente 88% del combustible D2) y biodegradabilidad (Balat *et al.*, 2010). Las principales desventajas son la alta viscosidad, baja volatilidad, la reactividad de las cadenas de hidrocarburos insaturados y la competencia por suelos cultivables y alimento humano (Demirbas., 2010).

Cuadro1. Comparación de distintas fuentes de materia prima para la producción de biodiesel.

Organismo	Rendimiento de aceite (L/ha)	Productividad de Biodiesel (L/ha/año)	Superficie equivalente requerida (ha x 10 ⁶)
Palma ^a	2400	5950	3.972
<i>Jatropha</i> ^a	1300	1892	12.490
Colza ^a	1100	1190	19.859
Girasol ^a	690	952	24.823
Soja ^a	400	446	52.986
Microalga ^b	18750	12000	1.969
Microalga ^c	58760	-	-

^a (Schenk *et al.*, 2008).

^b *Phaeodactylum tricornutum*, 20% aceite (% peso) en biomasa a 5 g lípidos/m² día.

^c 30% aceite (% peso) en biomasa (Chisti, 2007).

Una alternativa al uso de aceites vegetales como fuente para la generación de biodiesel es el aceite gastado de cocina (AGC) como medida para reducir costos de producción, el AGC sería una buena opción como material crudo debido a que es 2-3 veces más barato que el aceite vegetal virgen (Srivastava y Prasad, 2000). La conversión de AGC en metil-ésteres mediante el proceso de transesterificación reduce la viscosidad a una séptima parte, reduce el peso molecular a una tercera parte, incrementa ligeramente la volatilidad, y reduce el punto de fluencia considerablemente (Demirbas, 2009). Sin embargo, la producción de biodiesel a partir de AGC es un gran reto debido a la presencia en gran cantidad de componentes indeseables como ácidos grasos libres y agua (Balat y Balat., 2010), que disminuyen la eficiencia de bioconversión del biodiesel.

Otro grupo de fuentes potenciales para la producción de biodiesel son las grasas de origen animal. Las principales grasas animales empleadas son sebo, grasa blanca o manteca, grasa de pollo y grasa amarilla (Balat y Balat, 2010). Estas grasas, comparadas con los cultivos de plantas, ofrecen una gran ventaja económica; ya que presentan una conversión favorable en biodiesel debido al alto número de cetano, nula corrosión y bajas concentraciones de ácidos grasos libres y agua, (Robles-Medina *et al.*, 2009) pero existe una cantidad disponible muy limitada, lo que significa que esta fuente nunca será capaz de cubrir las necesidades energéticas del mundo (Sheedlo, 2008).

A pesar de las ventajas con el medio ambiente que ofrece la producción de biodiesel a base de aceites de cultivos vegetales, su escalamiento a grandes cantidades tiende a no ser sustentable, ya que cerca del 13.5% de los humanos en el mundo tienen desnutrición (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2011), lo que indica una alarmante necesidad de granos y otros cultivos alimentarios básicos con potencial para la generación de biodiesel, además de competir por tierras cultivables (Balat y Balat., 2010; Demirbas, 2009).

Ante esta problemática se ha enfatizado el interés por parte de investigadores, emprendedores y el público en general en el uso de microalgas como fuente para producir biocombustibles (Chisti, 2011; Scott *et al.*, 2010), esto por su alto contenido lipídico en su estructura celular, ventajas ambientales y su rápida generación de biomasa a comparación de las plantas (Chisti, 2007).

Producción de biodiesel a partir de microalgas

Los cultivos de microalgas pueden realizarse en áreas sumergidas, tierras infértiles e incluso con agua de mar (Singh *et al.*, 2011). Aunado a eso, el cultivo de biomasa algal aparte de proveer materia prima de biocombustibles, tiene un impacto ambiental favorable al reducir la concentración de gases de efecto invernadero, debido a que utiliza grandes cantidades de CO₂ durante su cultivo (Demirbas, 2010).

Microalgas

Existen tres principales clases de microorganismos que utilizan la energía de la luz: a) Las cianobacterias, que presentan fotosíntesis isoxigénica, en la cual se produce O₂ y presentan fotosistemas I y II y fijan el CO₂, b) Eubacterias fotosintéticas, que realizan fotosíntesis anaerobia, no producen O₂ y solo presentan el fotosistema I. y c) Halobacterias, no presentan clorofila ni transporte fotosintético de electrones. Poseen una bomba de protones dependiente de la luz, la cual produce energía pero no poder reductor. Requiere de una fuente orgánica de carbono.

Las microalgas son organismos unicelulares microscópicos (2-200 µm), polifiléticos, su metabolismo puede ser autótrofo o heterótrofo y suelen ser eucariontes, aunque las cianobacterias procariontes son frecuentemente incluidas como microalgas (Greenwell *et al.*, 2009).

Diversas especies crecen con fuentes orgánicas de carbono y en ausencia de una fuente lumínica, estas condiciones son propias de cultivos heterótrofos (Huang *et al.*, 2010). A pesar de que se han reportado altas productividades de biomasa y contenido lipídico en la estructura celular, los sistemas heterótrofos son susceptibles a contaminación (Amaro *et al.*, 2011), promueven la insaturación de los ácidos grasos sintetizados (Pérez-García *et al.*, 2011) y los costos de las fuentes orgánicas de carbono tienden a complicar la factibilidad de escalamiento del proceso a nivel industrial.

Por otro lado, existen microalgas con metabolismo autótrofo, las cuales requieren únicamente compuestos inorgánicos como CO₂, sales, agua y una fuente de energía lumínica para su crecimiento (Brennan y Owende, 2010).

La historia evolutiva de las microalgas se puede categorizar por la pigmentación, ciclo de vida y estructura celular (Brennan y Owende., 2010). Así, las microalgas procariontes se clasifican en dos divisiones: *Cyanophyta* y *Prochlorophyta* y las eucariontes en nueve: *Glaucophyta*, *Rhodophyta*, *Heterokontophyta*, *Haptophyta*, *Cryptophyta*, *Dinophyta*, *Euglenophyta*, *Chlorarachniophyta* y *Chlorophyta* (Mutanda *et al.*, 2010).

Sin embargo, según Khan *et al.*, (2009) la clasificación de microalgas se realiza en cuatro grupos debido a su abundancia: diatomeas, algas verdes, algas verde-azules y algas doradas (Cuadro 2). Esta diversidad muestra un gran potencial de explotación de éstos microorganismos para la producción de productos de alto valor agregado y biocombustibles (Chisti, 2007).

Cuadro2. Grupos más importantes de microalgas en términos de abundancia.

Microalga	Especies conocidas (aprox.)	Material almacenado	Hábitat
Diatomeas (<i>Bacillariophyceae</i>)	100 000	Quirsolaminarin (polímero de carbohidratos) y TAGs	Océanos, agua dulce y salobre
Algas verdes (<i>Chlorophyceae</i>)	8 000	Almidón y TAGs	Agua dulce
Algas verde-azules (<i>Cyanophyceae</i>)	2 000	Almidón y TAGs	Diferentes hábitats
Algas doradas (<i>Chrysophyceae</i>)	1 000	TAGs y carbohidratos	Agua dulce

TAGs = Triacilglicerol. Fuente: (Khan *et al.*, 2009).

Microalgas oleaginosas

Las microalgas contienen ácidos grasos como componentes de su membrana, productos de almacenamiento, metabolitos y fuente de energía (Demirbas y Demirbas., 2010). Estos microorganismos representan una opción viable como materia prima para producir biodiesel (Cuadro 1), debido a la mayor productividad de biomasa y mayor velocidad de replicación con respecto a plantas cultivables (Chisti, 2007), algunas especies pueden acumular entre 20-80% (peso seco) de triglicéridos (Chisti, 2011), no requieren terrenos cultivables para el crecimiento celular y no compiten por alimento humano (Amaro *et al.*, 2011).

Para la producción exitosa de biodiesel empleando microalgas como sistemas biológicos para la acumulación de biomasa y lípidos, el primer punto crítico es buscar e identificar cepas híper productoras de lípidos (Mutanda *et al.*, 2010). A pesar de que el intervalo de lípidos contenidos en microalgas (Cuadro 3) oscila entre 1-75% (peso seco), algunas especies pueden alcanzar hasta el 90% (peso seco) bajo condiciones específicas de cultivo (Chisti, 2007; Yeesang y Cheirsilp., 2011).

Para elegir una cepa se debe considerar una estrategia de selección en base a diversos criterios que sean prácticos a los siguientes problemas: a) velocidad de crecimiento, cuantificado normalmente por biomasa total acumulada por unidad de tiempo y unidad de volumen; b) cantidad y calidad lipídica; c) respuesta a alteraciones del ambiente, se consideran variaciones de temperatura, entrada de nutrientes y fuente lumínica, así como competencia con otras especies de microalgas o bacterianas; d) velocidad de absorción y afinidad por nutrientes, particularmente CO₂, nitrógeno y fósforo; e) cultivo de biomasa sencillo para su posterior procesamiento (Amaro *et al.*, 2011; Singh *et al.*, 2011; Ugwu *et al.*, 2008).

Biosíntesis de lípidos en microalgas

Los efectos en los cultivos microalgales dependientes de la luz son de gran relevancia, ya que están relacionados directamente con el proceso de fotosíntesis (Harwood y Guschina., 2006). En microalgas verdes, la ruta metabólica para la síntesis de ácidos grasos empieza por la unión del complejo luz-biomasa, el cual está mediado por la clorofila II y carotenoides, los cuales capturan la energía lumínica en forma de fotones (Fig. 2). La energía es empleada por el fotosistema II en la oxidación catalítica del agua, formando protones, electrones y O₂ molecular. Los electrones se transportan mediante la cadena de transporte fotosintética para promover la producción de NADPH mediante la reducción de ferredoxina. Dentro del lumen tilacoidal se genera un gradiente electroquímico, debido a la liberación de protones después de la oxidación de agua; el cual se emplea para la formación de ATP mediante la vía ATP sintasa. Los productos de la fotosíntesis NADPH y ATP son sustratos del ciclo de Calvin (Beer *et al.*, 2009); donde la enzima Rubisco cataliza la conversión de CO₂ y ribulosa-5-fosfato en dos triosas, las cuales son convertidas subsecuentemente en piruvato y acetil-CoA (Stephanopoulos *et al.*, 2008).

Cuadro3. Contenido lipídico y productividad de diferentes especies de microalgas.

Cultivo	Especie de microalga	Contenido lipídico (% peso seco)	Productividad lipídica (mg L ⁻¹ d ⁻¹)
Agua dulce	<i>Botryococcus</i> sp.	25.0 – 75.0	-
	<i>Chlorellaemersonii</i>	25.0 – 63.0	10.3 – 50.0
	<i>Chlorellavulgaris</i>	5.0 – 58.0	11.2 – 40.0
	<i>Chlorellasp.</i>	10.0 – 48.0	42.1
	<i>Chlorococcum</i> sp.	19.3	53.7
	<i>Scenedesmusobliquus</i>	11.0 – 55.0	-
	<i>Scenedesmusquadricauda</i>	1.9 – 18.4	35.1
	<i>Scenedesmus</i> sp.	19.6 – 21.1	40.8 – 53.9
	<i>Dunaliella salina</i>	6.0 – 25.0	116.0
	<i>Dunaliellasp.</i>	17.5 – 67.0	33.5
Agua Marina	<i>Nannochloris</i> sp.	20.0 – 56.0	60.9 – 76.5
	<i>Nannochloropsisoculata</i>	22.7 – 29.7	84.0 – 142.0
	<i>Nannochloropsis</i> sp.	12.0 – 53.0	60.9 – 76.5
	<i>Neochlorisoleoabundans</i>	29.0 – 65.0	90.0 – 134.0
	<i>Paviova salina</i>	30.9	49.4
	<i>Spirulinaplatensis</i>	4.0 – 16.6	-

Fuente: Mata *et al.* 2010.

Las moléculas de acetil-CoA son carboxiladas dentro del cloroplasto por acetil-CoAcarboxilasa (ACC) para la síntesis de malonil-CoA (Huet *al.*, 2008), molécula que es transferida a la proteína acarreadora de grupos acil (ACP) del complejo multi-enzimático sintasa de ácidos grasos (SAG); donde la subunidad cetoadil-ACP sintasa (CAS) cataliza la condensación de malonil-ACP mediante tres reacciones cíclicas: reducción, deshidratación y reducción; condensando el producto con otra molécula de malonil-CoA (Harwood y Guschina., 2006). El ciclo se repite hasta formar cadenas saturadas de ácido palmítico (16:0) o esteárico (18:0). La enzima ACP-sintasa abre la cadena acil y libera el ácido graso (Scott *et al.*, 2010).

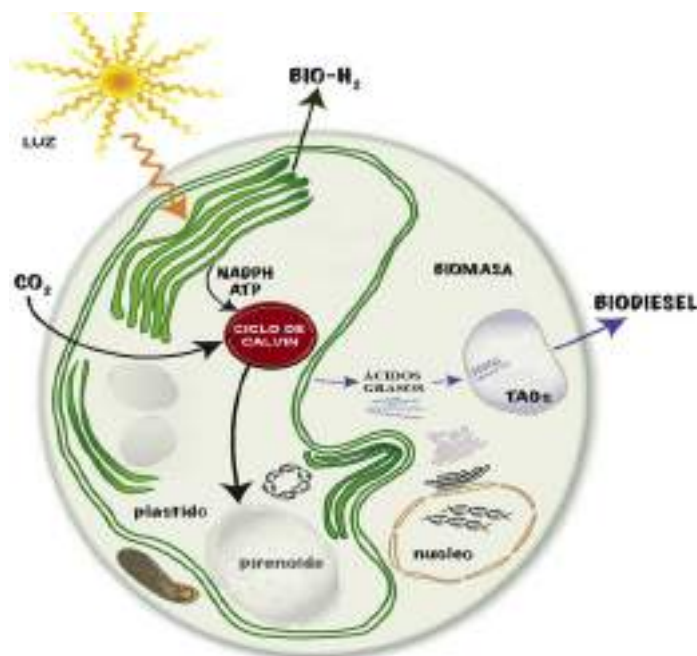


Figura 1. Esquema de la biosíntesis de lípidos en microalgas (Beeret *al.* 2009).

La formación de triacilglicérol se lleva a cabo en el retículo endoplasmático, en organelos especializados llamados plástidos, donde se producen lípidos neutros con la finalidad de almacenar energía y liberar espacio dentro de la célula (Rajakumari *et al.*, 2008).

La primera reacción para la síntesis de triacilglicerol (TAG) es la condensación (acilación) de glicerol-3-fosfato (G3P) con acil-CoA para formar lisofosfatido (LPA), el cual es catalizado por acil-CoA: glicerol-*sn*-3-fosfato acil-transferasa (GPAT) y otra molécula de acil-CoA para producir fosfatidato (PA) (Beer *et al.*, 2009; Scott *et al.*, 2010). Posteriormente, PA puede ser desfosforilado por la enzima ácido fosfatídico fosfatasa (PAP) para formar diacilglicerol. Finalmente, la síntesis de TAG es catalizada por acil-CoA: diacilglicerolacil-transferasa (DGAT), la cual incorpora un tercer grupo acil-CoA a la molécula diacilglicerol, los TAGs resultantes son almacenados en cuerpos de aceites (Murphy, 2001), los cuales son la materia prima para obtener biodiesel.

Mejoramiento de la producción de lípidos en microalgas

La producción de lípidos depende de la especie de microalga y de parámetros ambientales tales como la intensidad y el tipo de luz, la composición del medio de cultivo, temperatura, pH y la asociación con otros microorganismos (Beer *et al.*, 2009).

Los cultivos de microalgas presentan la ventaja de que el contenido lipídico puede ser controlado en función de las condiciones de cultivo, principalmente mediante la limitación de nutrientes (Chisti, 2007). Numerosos estudios reportan que las algas verdes triplican su contenido lipídico durante los primeros 4 a 9 días de ausencia de nitrógeno en el medio, ésta condición también modifica el perfil lipídico, ya que se han documentado situaciones en las cuales esta insuficiencia incrementa la proporción de triglicéridos y reduce los lípidos polares (Hu *et al.*, 2008).

El alto contenido de lípidos está asociado a la síntesis de triacilglicerol (TAG), lípidos con alto porcentaje de ácidos grasos y ausencia de fosfato, que son ideales para la producción de biodiesel por su baja sensibilidad a la oxidación (Pruvost *et al.*, 2009). Hasta el momento la estrategia de limitación de macronutrientes ha sido el método más empleado para direccionar el flujo metabólico de lípidos (Courchesne *et al.*, 2009). Se han reportado estudios donde la deficiencia de nutrientes como hierro y fósforo induce la producción de lípidos y cesa el crecimiento celular; sin embargo la limitación de nitrógeno es el factor nutricional más documentado debido a que no solo promueve la producción de lípidos en microalgas, sino también su acumulación en cuerpos de aceites (Li *et al.*, 2008).

Se han estudiado diferentes especies de microalgas con elevado contenido lipídico, principalmente con la capacidad de acumular TGA en su estructura celular. Entre las especies de mayor interés se encuentra *Neochloris oleoabundans* cuyo porcentaje lipídico alcanza hasta el 65% de peso seco y tiene la capacidad de acumular TGA en condiciones de limitación de nitrógeno, los grupos de investigación de Pruvost *et al.* (2009) y Li *et al.*, (2008) observaron que la fuente de nitrógeno más favorable para el crecimiento celular y producción de lípidos en *N. oleoabundans* es nitrato de sodio, mostrando mejores rendimientos que urea y bicarbonato de amonio; también observaron un aumento en la concentración lipídica conforme disminuía la concentración de nitrato de sodio en el intervalo de concentración 3-20 mM.

Sin embargo, una gran desventaja de la estrategia de flujo metabólico inducido es que la limitación de nutrientes o el estrés fisiológico requerido para la acumulación de lípidos en la célula está asociado con la reducción del proceso de división celular y la baja velocidad de crecimiento (Ratledge, 2002). Las productividades lipídicas elevadas y los altos contenidos de biomasa son mutuamente excluyentes, es decir, la presencia de nitrógeno promueve altas velocidades de crecimiento y un contenido lipídico bajo, mientras que la deficiencia de nitrógeno reduce la velocidad de crecimiento y resulta en un contenido de lípidos elevado (Cheng *et al.*, 2010). Y debido a que los lípidos microalgales son productos intracelulares, la productividad lipídica global es proporcional al contenido lipídico celular multiplicado por la productividad de biomasa, obteniendo bajas cantidades de producción lipídica debido a la baja producción de biomasa (Courchesne *et al.*, 2009).

Por ello, se han considerado diferentes especies de *Chorella* y *Scenedesmus* como candidatos para la producción comercial de lípidos debido a su rápido crecimiento y fácil cultivo (Pruvost *et al.*,

2009). Se han reportado en *C. emersonni*, *C. minutissima*, *C. vulgaris* y *C. pyrenois* rendimientos de 63%, 57%, 40% y 23% de peso seco de acumulación lipídica en medio limitado de nitrógeno, respectivamente (Chenget *al.*, 2010). Mientras que *S. rubescens*, *S. obliquus* y *S. dimorphus* son capaces de acumular altas concentraciones de biomasa en condiciones normales de cultivo e incrementar la concentración de ácidos grasos de metil ésteres (AGME) en periodos cortos de limitación de nitrógeno, con productividades de hasta 0.133 g/L/d de AGME, considerándose cepas potenciales para la producción de biodiesel por el método de flujo metabólico inducido (Lin y Lin., 2011).

Una estrategia sugerida es el cultivo por dos etapas, la primera etapa enfocada al crecimiento celular empleando medio de cultivo con concentraciones suficientes de macronutrientes, y la segunda etapa direccionada a la acumulación de lípidos mediante el uso de otro medio de cultivo con limitación de nutrientes u otro estrés fisiológico (Courchesne *et al.*, 2009).

Modificación genética

Recientemente se ha visto que diferentes tipos de microorganismos, incluyendo microalgas, bacterias, levaduras y hongos pueden producir aceites (Li *et al.*, 2008). Para el caso de los últimos tres, al ser heterótrofos, el costo de los medios de cultivo podría incrementarse haciendo que la producción de lípidos para producir biodiesel no resulte rentable. Las microalgas eucariotas tienen la ventaja de que son fotosintéticas y por ello solo requieren de algunas sales, luz y CO₂ para crecer. Sin embargo, se ha visto que la acumulación de grandes cantidades de lípidos, en forma de materiales de reserva, ocurre bajo condiciones de estrés, lo cual resulta en un crecimiento celular lento. Las cianobacterias, representan una alternativa atractiva ya que además de hacer fotosíntesis, crecen rápido y pueden acumular altos niveles de lípidos. En contraste con las microalgas eucariotas, las cianobacterias acumulan lípidos en las membranas tilacoidales, las cuales están directamente asociadas con altos niveles de fotosíntesis y una tasa alta de crecimiento. El alga verde *Chlamydomonas reinhardtii*, que es uno de los organismos modelo en el estudio de la síntesis de lípidos por algas verdes, tiene su genoma totalmente secuenciado y puede ser transformado mediante diferentes métodos, entre ellos la biobalística. Sin embargo, no se cuenta con herramientas para la manipulación genética de las algas eucarióticas reportadas como altamente productoras de lípidos como *Botryococcus braunii* (Brown *et al.*, 1969; Banerjee *et al.*, 2002; Metzger y Largeau, 2005), *Nannochloropsis* sp, *Neochloris oleoabundans*, *Nitzschia* sp. (Chisti, 2007). La manipulación genética de las cianobacterias resulta más fácil ya que algunas cianobacterias son naturalmente transformables mientras que otras han podido ser transformadas por conjugación o electroporación. Existen vectores y herramientas de mutagénesis para numerosas cianobacterias unicelulares y filamentosas, además de que numerosas cianobacterias tienen su genoma secuenciado y anotado (Koksharova y Wolk, 2002). *Synechocystis* la cianobacteria modelo para la producción de biodiesel, su genoma ha sido secuenciado y su manipulación genética es posible (Rittman, 2008), pero ha sido poco explotada.

Sistemas de cultivo

La biotecnología de microorganismos fotosintéticos ha progresado a un ritmo relativamente lento, no obstante a su utilidad como fuente de compuestos de alto valor agregado (Barbosa *et al.*, 2003). Un factor limitante en dicho progreso ha sido la poca eficiencia de técnicas de cultivo a gran escala. Sus requerimientos han llevado a poner énfasis en el desarrollo de fotobiorreactores, en los que aún existen muchos problemas de ingeniería que necesitan ser resueltos para poder desarrollar sistemas eficientes, a gran escala y de bajo costo (Tredici y Materassi, 1992, Barbosa *et al.*, 2003, Janssen *et al.*, 2003). Los sistemas de producción de microorganismos fotosintéticos se dividen principalmente en dos tipos: sistemas abiertos (lagunas de estabilización, contenedores.) y sistemas cerrados (tanques tipo fermentador, fotobiorreactores tubulares y laminares). En los sistemas abiertos es importante determinar el material de construcción, controlar la turbulencia, la dirección de flujo y tener la mayor superficie de contacto posible con la luz solar, ya que el cultivo está en contacto directo con el ambiente; mientras que en los sistemas cerrados debe considerarse el diseño del sistema, control de temperatura, tipo y duración de iluminación, así como la carga inicial al sistema.

El diseño adecuado de fotobiorreactores es una de las herramientas más importantes para el desarrollo de tecnología fototrófica. Algunas consideraciones en el diseño de fotobiorreactores son: 1) Eficiencia en el aprovechamiento de la energía luminosa, 2) Facilidad de escalamiento, 3) Mezclado eficiente y 4) Control de reacciones laterales. Bajo estrés hidrodinámico en las células fotosintéticas (Borowitzka, 1999; Lee y Lee., 2003; Pulz, 2001; Tredici, 1999).

Los fotobiorreactores se caracterizan por su facilidad de control sobre prácticamente todas las variables biotecnológicas de interés, además de presentar beneficios fundamentales como un bajo riesgo de contaminación, condiciones reproducibles de operación, y flexibilidad en el diseño. Las configuraciones más empleadas de fotobiorreactores son: 1) Sistemas tubulares, 2) Sistemas tipo flat-plate, y 3) Sistemas de células inmovilizadas ultradelgados (Pulz, 2001). Su aplicación depende del tipo de cultivo, disponibilidad de luz y objetivo final del sistema.

Las investigaciones sobre cultivos de micro-algas se ha centrado en algunos de los siguientes puntos: 1) Selección de cultivos e ingeniería genética para incrementar la cantidad de lípidos en las microalgas, 2) Manipulación genética del mecanismo por el cual las microalgas cambian de su estado normal crecimiento a la producción de lípidos, a fin de mantener mejor producción de ambos (crecimiento y producción de lípidos), 3) Optimizar las características de los lípidos producidos por micro-algas para convertirlos en combustibles mediante hidro-procesos, 4) Trabajar en conjunto con personal de refinerías de petróleo para mejorar el hidropceso, a fin de convertir el aceite de micro-algas en diesel ó gasavión y 5) Diseño e innovación de fotobiorreactores.

Existen dos principales sistemas de cultivo de microalgas: fotobiorreactores abiertos y cerrados o Raceway, estos sistemas pueden ser iluminados por luz artificial, solar o ambas (Ugwuet *et al.*, 2008). Diversos fotobiorreactores cerrados han sido estudiados debido a que permiten tener mayor control sobre las condiciones de cultivo que los sistemas abiertos, y se han obtenido mayores productividades de biomasa al mismo tiempo que se previenen agentes contaminantes (Huet *et al.*, 2008). Sin embargo, son pocos los fotobiorreactores cerrados que pueden emplear la energía solar eficientemente para la producción de biomasa, por ello es importante entender algunos aspectos hidrodinámicos y de transferencia de masa requeridos por fotobiorreactores para mejorar la productividad de biomasa algal (Singh *et al.*, 2011). Los principales sistemas de cultivo cerrados son: columnas de burbujas columnas airlift, tanques agitados, fotobiorreactores cónicos y tubulares helicoidales (Ugwu *et al.*, 2008). Generalmente, los fotobiorreactores operados a nivel laboratorio son iluminados artificialmente de manera interna o externa por lámparas fluorescentes o distribuidores de luz (Degen *et al.*, 2001).

Entre los fotobiorreactores enunciados anteriormente, el fotobiorreactor tubular es uno de los sistemas más adecuados para cultivos al aire libre (Ugwu *et al.*, 2008). La mayoría de estos sistemas son construidos de borosilicato o tubos de plástico transparentes, donde el líquido con medio de cultivo y biomasa algal son recirculados por una bomba (Degen *et al.*, 2001). Las principales ventajas que presentan estos sistemas son un buen mezclado con bajo esfuerzo de corte, es fácil de esterilizar, aclimatación sencilla, es adecuado para inmovilización algal y reduce la foto-oxidación (Brennany Owende., 2010; Ugwu *et al.*, 2008). Sin embargo, sus limitantes son que requiere superficies amplias de terreno, llega a presentar crecimiento algal en las paredes, existen gradientes citotóxicos de pH, O₂ y CO₂, su construcción requiere materiales sofisticados y sobre todo, disminuye el área de iluminación y presentan un pobre coeficiente de transferencia de masa, estos últimos dos aspectos ocurren con el escalamiento ascendente (Chisti, 2007; Singh *et al.*, 2011).

Los sistemas abiertos (Racewayponds) se ha experimentado desde 1950 y existe una extensa experiencia en su ingeniería. Las mayores instalaciones de producción de biomasa basadas en este método, ocupan áreas de unos 440.000 m² (Spolaore *et al.*, 2006). Los sistemas raceway constan de un circuito de bucles y canales por donde circula el cultivo y mezclado mediante una rueda de paletas (*paddlewheel*) que homogeniza los nutrientes y los microorganismos. El flujo es guiado

alrededor del sistema de bucles por deflectores (baffles) dispuestos en los canales. El material del que son construidos suele ser hormigón o tierra compactada y recubiertos con plástico blanco que mejora la captación luminosa por parte del alga. Durante el día, el cultivo es alimentado de manera continua por la parte inicial, donde la rueda de paletas comienza a generar el flujo. La retirada de desechos y rueda. El sistema de rueda que genera el movimiento posee un tiempo de operación de 24h, para evitar de esta manera la sedimentación del cultivo. La productividad se ve afectada por la contaminación de otras especies de algas no deseadas o de microorganismos que se desarrollan con nuestra alga en cuestión. De forma general, la concentración de biomasa en sistemas abiertos permanecen a niveles bajos debido a que el cultivo está pobremente mezclado y los haces luminosos no pueden acceder a la "zona ópticamente oscura".

La generación de biomasa a partir de microalgas y la extracción de aceite para la producción de biodiesel ha sido estudiado y evaluado de manera muy extensa en los sistemas abiertos raceway ponds. Los Raceways son sistemas menos caros que los fotobiorreactores debido a su menor coste de construcción y operación, aunque la producción de biomasa también es menor.

Los sistemas de producción a gran escala más usados son conocidos como fotobiorreactores tipo Raceway. Son sistemas abiertos de poca profundidad con una paleta mecánica que proporciona la circulación de biomasa algal y nutrientes (Sims y Christenson, 2011). Su construcción y operación son relativamente económicas. No obstante, con frecuencia se presentan los problemas de baja productividad debido a agentes contaminantes, mezclado pobre, zonas muertas y uso ineficiente de CO_2 (Chisti, 2007; Mata *et al.*, 2010). En teoría se pueden alcanzar productividades de $50\text{-}60 \text{ gm}^{-2}\text{día}^{-1}$ de biomasa, sin embargo en la práctica difícilmente se alcanzan rendimientos de $10\text{-}20 \text{ g m}^{-2}\text{día}^{-1}$ (Shen *et al.*, 2009).

Los fotobiorreactores cerrados tienen varias ventajas sobre los fotobiorreactores Raceway; como mayor control sobre las condiciones de cultivo (pH, temperatura, agitación, CO_2 y O_2), previenen el fenómeno de evaporación, reduce pérdidas de CO_2 , permite obtener altas concentración de biomasa algal y minimiza el riesgo de contaminación de los cultivos (Mata *et al.*, 2010). A pesar de las ventajas que ofrecen los fotobiorreactores cerrados, no se espera que tengan el mismo impacto en bioprocesos a gran escala que el atribuido a Raceways (Scott *et al.*, 2010). El costo de producción de biomasa en fotobiorreactores cerrados es de un orden de magnitud más alto que en sistemas abiertos; donde a pesar de obtener mayor concentración celular y productividad en fotobiorreactores cerrados no se compensa el costo del producto final por los altos costos de construcción y de operación (Mata *et al.*, 2010).

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Las algas como materia prima para la producción de biocombustibles, se perfilan como la fuente más adecuada debido a su rápido crecimiento, alto contenido de aceite o alta productividad (mayor que las plantas), una importante reducción de emisiones reguladas como TPH, CO, NO_x y material particulado, capacidad de fijar CO_2 , menores requerimientos de condiciones de cultivo y nutrientes, no compite por suelos ni con alimentos. Así mismo, los análisis de ciclo de vida previos desarrollados en algas indican una obtención mayor de energía con unos requerimientos materiales menores y por tanto unos impactos ambientales muy por debajo de las otras materias primas.

Para lograr el desarrollo de un proceso sustentable de producción de biodiesel a partir de algas, que por ende sea técnica y económicamente viable, se deben superar varios factores, el principal es el costo de producción de la biomasa, que involucra la optimización de medios, selección y manipulación de cepas y el diseño de fotobiorreactores. Sin embargo, también se debe considerar el proceso de separación de biomasa, extracción de aceites y subproductos, tecnología de transesterificación, purificación y uso de subproductos. Debido al estado del arte actual de producción de biomasa y metabolitos para biocombustibles a partir de algas, se hace necesario el desarrollo de un proceso propio de producción de algas a gran escala y de los metabolitos de interés, con especies de algas y sistemas de producción adaptados a las necesidades y condiciones

de cada región; punto que es cuello de botella del proceso, para posteriormente con los aceites establecer la obtención de los biocombustibles por procesos que están mejor desarrollados, lo que implicaría solo realizar una innovación o aplicación de las mismas.

En México la producción de biocombustibles está considerada en el plan sectorial de la Secretaría de energía (SENER, 2007-2012). La producción tradicional de bioetanol involucra el uso de azúcar de caña o remolacha y levaduras; actualmente se consideran otras fuentes de carbohidratos, como el maíz, o los materiales celulósicos, tales como residuos agroindustriales forestales e incluso los residuos sólidos municipales. Todas estas alternativas pueden ser complementarias; sin embargo el uso de granos y de caña hacen competir a los energéticos con el alimento para la población humana o por tierras de cultivo, haciéndolos no sustentables, y más aún en un país como México, que no cuenta con un sector agrario bien establecido, ni con autosuficiencia alimentaria. Problemas similares se presentan con la producción de Biodiesel, cuya fuente puede provenir desde residuos de la industria (grasas), cultivo de algas y principalmente cultivos vegetales, presentando el problema ya mencionado.

El desarrollo de tecnologías nacionales para la obtención de biodiesel y bioetanol a partir de microalgas en México es de gran importancia. Este tipo de desarrollos evitará la dependencia tecnológica y energética en un futuro y dará respuesta de una forma ecológica y potencialmente sustentable al requerimiento de combustibles líquidos.

LITERATURA CITADA

- Abdullah, A. Z., Razali, N., Mootabadi, H. y Salamatinia, B. 2007. **Critical technical areas for future improvement in biodiesel technologies**. Environmental Research Letters. 2:1-6.
- AIE. 2006. **Bioenergy Annual Report (2006)**. IEA Headquarters, Paris France. 124 pp
- Amaro, H. M., Guedes, A. C. y Malcata, F. X. 2011. **Advances and perspectives in using microalgae to produce biodiesel**. Applied Energy 88(10): 3402-3410.
- Balat Mustafa, HavvaBalat y Cahide Oz, 2007, **Progress in bioethanol processing, Progress in energy and combustion science**, Turquía. 23 pp.
- Balat, M. 2011. **Potential alternatives to edible oils for biodiesel production: A review**. Energy Conversion and Management. 52(2): 1479-1492.
- Balat, M. y Balat, H. 2010. **Progress in biodiesel processing**. Applied Energy. 87(6): 1815-1835.
- Banerjee, A., Sharma, R; Chisty, Y and Banerjee, U.C. 2002. **Botryococcus braunii: A renewable source of hydrocarbons and other chemicals**. Critical Reviews in Biotechnology. 22(3): 245-279.
- Barbosa, M. J., Hadiyanto, R. y Wijffels, H. 2003. **Overcoming shear stress of microalgae cultures in spargedphotobioreactors**. Biotechnol.Bioeng.85, 78-85.
- Beer, L. L., Boyd, E. S., Peters, J. W. y Posewitz, M. C. 2009. **Engineering algae for biohydrogen and biofuel production**. Energy Biotechnol. 20(3): 264-271.
- Behzadi, S. y Farid, M. M. 2007. **Review: examining the use of different feedstock for the production of biodiesel**. Journal of Chemical Engineering. 2(5): 480-486.
- Borowitzka, M. A. 1999. **Commercial production of microalgae: ponds, tanks, tubes and fermenters**. J. Biotechnol. 70, 313-321.
- Boyle, G. (2004). **Renewable energy, power for a sustainable future**. Oxford University Press, Oxford.
- Brennan, L. y Owende, P. 2010. **Biofuels from microalgae: a review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products**. Renew. Sust. Energ. 14(2): 557-577.
- Brown A. C., Knights B. A., Conway E. 1969. **Hydrocarbon content and its relationship to physiological state in the green alga Eotryococcusbraunii**. Phytochemistry, 8, 543-547.
- Cheng, L. H., Lv, J. M., Xu, X. H., Zhang, L. y Chen, H. L. 2010. **Enhanced lipid production of Chlorella vulgaris by adjustment of cultivation conditions**. Bioresource Technology. 101(17): 6797-6804.
- Chisti, Y. 2007. **Biodiesel from microalgae**. Biotechnology Advances. 25(3): 294-306.
- Chisti, Y. 2011. **Biodiesel from microalgae beats bioethanol**. Trends in Biotechnology. 26(3): 126-131.
- Chisti, Y. y Yan, J. 2011. **Energy from algae: Current status and future trends**. Applied Energy. 88(10): 3277-3279.
- Courchesne, N. M., Parisien, A., Wang, B. y Lan, C. Q. 2009. **Enhancement of lipid production using biochemical, genetic and transcription factor engineering approaches**. Journal of Biotechnology. 141(1-2): 31-41.

- Degen, J., Uebele, A., Retze, A., Schmidt-Staigar, U. y Trosch, W. A. 2001. **A novel airlift photobioreactor with baffles for improved light utilization through flashing light effect.** Journal of Biotechnology. 92(2): 89-94.
- Demirbas, A. 2010. **Energy Sources Part A. Recovery Utilization en Environmental Effects.** 32 (10): 909-910.
- Demirbas A. 2009. **Political, economic and environmental impacts of biofuels. A review.** 86(2009) S 108-S 117.
- Demirbas A. y Demirbas M. F., 2010. **Algae Energy: Algae as a New Source of Biodiesel.** Springer London Dordrecht Heidelberg New York. e-ISBN 978-1-84996-050-2
- Departamento de Energía de los Estados Unidos. 2011. **International energy outlook 2011.** Washington: AIE.
- Departamento de Energía de los Estados Unidos. 2011. **World crude oil prices.** Washington. AIE.
- EBD. 2012. **European Biodiesel Board.** (En línea). Disponible en: <http://www.ebb-eu.org/stats.php>.
- Garibay-Hernández, A., Vázquez-Duhalt, R., Sánchez-Saavedra, M. y Martínez-Jiménez, A. 2009. **Biodiesel a partir de Microalgas.** Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería. 13: 38-61.
- Greenwell, H. C., Laurens, M. L., Shields, R. J., Lovitt, R. W. y Flynn, K. J. 2009. **Placing microalgae on the biofuels priority list: a review of the technological challenges.** J. Roy. Soc. 10: 703-726
- Harwood, J. L. y Guschina, I. A. 2006. **Lipids and lipid metabolism in eukaryotic algae.** Progress in Lipid Research. 45(2): 160-186.
- Hu, Q., Sommerfeld, M., Jarvis, E., Ghirardi, M., Posewitz, M., Seibert, M. y Darzins, A. 2008. **Microalgal triacylglycerols as feedstocks for biofuel production: perspectives and advances.** Plant Journal. 54: 621-639.
- Huang, G. H., Chen, F., Wei, D., Zhang, X. W. y Chen, G. 2010. **Biodiesel production by microalgal biotechnology.** Applied Energy. 87(1): 38-46.
- IPCC. 2009. **Intergovernmental panel of climate change.** (En línea). Disponible en: <http://www.ipcc.ch/>
- Janssen M, Tramper J, Mur L. R, Wijffels R. H. 2003. **Enclosed outdoor photobioreactors: light regime, photosynthetic efficiency, scale-up, and future prospects.** Biotechnol. Bioeng. 81:193-210.
- Khan, S. A., Hussain, M. Z., Prasad, S. y Banerjee, U. C. 2009. **Prospects of biodiesel production from microalgae in India.** Renew. Sust. Energ. 13 (9): 2361-2372.
- Koksharova, O. A. y Wolk, C. P. 2002. **A novel gene that bears a DnaJ motif influences cyanobacterial cell division.** J. Bacteriol. 184, 5524-5528
- Lee, J. S. y Lee J. P. 2003. **Review of advances in biological CO₂ mitigation technology.** Biotechnol. Bioproc. E 8 (2003). pp. 259-354.
- Li, Q., Du, W. y Liu, D. 2008. **Perspectives of microbial oils for biodiesel production.** Applied Microbiology Biotechnology. 80: 749-756.
- Lin Q., Lin J. 2011. **Effects of nitrogen source and concentration on biomass and oil production of a *Scenedesmus rubescens* like microalga.** Bioresource Technology. 102(2): 1615-1621
- Mata, T. M., Caetano, N. S. y Martins, A. A. 2010. **Microalgae for biodiesel production and other applications: A review.** Renewable and Sustainable Energy Reviews. 14(1): 217-232.
- Metzger P. y Largeau. 2005. C. ***Botryococcus braunii*: a rich source for hydrocarbons and related ether lipids.** Appl. Microbiol. Biotechnol. 66: 486-961.
- Murphy D.J. (2001). **The biogenesis and functions of lipid bodies in animals, plants and microorganisms.** Progress in Lipid Research. 40: 325-438.
- Mutanda, T., Bux, F., Ramesh, D., Karthikeyan, S., Kumari, S. y Anandraj, A. 2010. **Bioprospecting for hyper-lipid producing microalgal strains for sustainable biofuel production.** Bioresource Technol. 102(1): 57-70.
- NBB. 2012. **US National Biodiesel Board.** (En línea). Disponible en: <http://www.biodiesel.org/production/production-statistics>
- Pérez-García, O., Escalante, F. M., De Bashan, L. E. y Bashan, Y. 2011. **Heterotrophic cultures of microalgae: Metabolism and potential products.** Water Research. 45(1): 11-36.
- Pruvost, J., Van Vooren, G., Cogne, G. y Legrand, J. 2009. **Investigation of biomass and lipids production with *Neochloris oleoabundans* in photobioreactor.** Bioresource Technology. 100(23): 598Bf8-5995.
- Pulz, O. 2001. **Photobioreactors: production systems for phototrophic microorganisms.** Appl. Microbiol. Biotechnol. 57, 287-293.
- Ratledge, C. 2002. **Regulation of lipid accumulation in oleaginous micro-organisms.** Biochemical Society Transactions. 30(6): 1047-1050.
- Rajakumari, S., Grillitsch, K. y Daum, G. 2008. **Synthesis and turnover of non-polar lipids in yeast.** Progress in Lipid Research. 47(3): 157-171.

- Rittman, B. 2008. **Opportunities for renewable bioenergy using microorganisms**. *Biotechnology and bioengineering*.100(2):203-12.
- Robles-Medina, A., González-Moreno, P. A., Esteban-Cerdán, L. y Molina-Grima, E. 2009. **Biocatalysis: Towards ever greener biodiesel production**. *Biotechnology Advances*. 27(4): 398–408.
- Schenk, P. M., Thomas-Hall, S. R., Stephens, E., Marx, U. C., Mussnug, J. H., Posten, C., y otros. 2008. **Second generation biofuels: high-efficiency microalgae for biodiesel production**. *Bioenergy Resource*. 1: 20-43.
- Scott, S. A., Davey, M. P., Dennis, J. S. y Horst, I. 2010. **Biodiesel from algae: challenges and prospects**. *Current Opinion in Biotechnology*. 21(3): 277-286.
- Sheedlo, M. 2008. **A review of the processes of biodiesel production**. *Basic Biotechnology*. 4: 61-65.
- Shen, Y., Yuan, W., Pei, Z. J., Wu, Q. y Mao, E. 2009. **Microalgae mass production methods**. *Transactions of the ASABE*. 52(4): 1275–1287.
- Sims, R. y Christenson, L. 2011. **Production and harvesting of microalgae for wastewater treatment, biofuels and subproducts**. *Biotechnology Advances*. 29(6): 686–702.
- Singh, A., Singh-Nigam, P. y Murphy, J. D. 2011. **Mechanism and challenges in commercialisation of algal biofuels**. *Bioresource Technology*. 102(1): 26-34.
- Spolaore, P., Joannis-Cassan C., Duran E., Isambert, A. 2006. **Commercial applications of microalgae**. *J. Biosci. Bioeng*.101: 87–96.
- Srivastava, A. y Prasad, R. 2000. **Triglycerides-based diesel fuels**. *Renewable & Sustainable Energy*. 4(2): 111-133.
- Stephanopoulos, G., Fischer, C. R. y Klein-Marcuschamer, D. 2008. **Selection and optimization of microbial hosts for biofuels production**. *Metabolic Engineering*. 10(6): 295–304.
- Timilsina G.R. y Mevel S. 2010. **Biofuels and Climate Change mitigation: A CGE Analysis Incorporating Land-use change**. Policy Research Working Paper 5672. World Bank, Washington D.C.
- Timilsina, G. R., y Shrestha, A. 2011. **How much hope should we have for biofuels?**. *Energy*. 36(4): 2055-2069.
- Tredici, M.R. y Materassi, R. 1992. **From open ponds to alveolar panels: the Italian experience in the development of reactors for the mass cultivation of phototrophic microorganisms**. *J. Appl. Phycol* 4, 221-231
- Tredici, M. R. 1999. **Bioreactors, photo**. In: Flickinger MC, Drew SW (eds.) *Encyclopedia of bioprocess technology: fermentation, biocatalysis and bioseparation*. Vol 1. Wiley, New York. pp. 395–419.
- Ugwu, C. U., Aoyagi, H. y Uchiyama, H. 2008. **Photobioreactors for mass cultivation of algae**. *Bioresource Technology*. 99(10): 4021-4028.
- Yeesang, C. y Cheirsilp, B. 2011. **Effect of nitrogen, salt, and iron content in the growth medium and light intensity on lipid production by microalgae isolated from freshwater sources in Thailand**. *Bioresource Technology*: 102(3): 3034–3040.

Luis Carlos Fernández-Linares

Doctor en Ciencias de la Universidad de Aix-Marseille-II, Francia. 1991-1995. DEA (Diploma de estudios a profundidad) de la Universidad de Aix-Marseille-II, Francia. 1990-1991. Ingeniero Bioquímico Industrial de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (UAM-I), 1983-1987. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel I.

Jorge Montiel Montoya

Doctor en Ingeniería Bioquímica Alimentaria por la Université de Paris XI, Francia. DEA (Diploma de estudios a profundidad) en Métodos de Bioquímica Aplicada por la Universidad de Dijon Francia. Especialización en Tecnología de Alimentos por Hyogo International Center de Kobe Japón e Ingeniero Bioquímico por el ITESM Campus Guaymas. Actualmente Director del CIIDIR IPN Unidad Sinaloa.

Aarón Millán Oropeza

Ingeniero Biotecnólogo del Instituto Politécnico Nacional, 2007-2011. Actualmente estudiante de Maestría en Bioprocesos del Instituto Politécnico Nacional.

Jesús Agustín Badillo Corona

Doctor en Biología Molecular por Cambridge University, Reino Unido e Ingeniero Biotecnólogo por la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biología (UPIBI) del Instituto Politécnico Nacional (IPN). Perteneció al Sistema Nacional de Investigadores y actualmente es profesor de Biología Molecular en la UPIBI-IPN, donde desarrolla investigación en la modificación genética de cloroplastos de plantas y algas.

Ra Ximhai

Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo
Sustentable

Ra Ximhai
Universidad Autónoma Indígena de México
ISSN: 1665-0441
México

2012

REGIÓN ENDÉMICA Y REGÍMENES DE INFECCIÓN CON EL VIRUS DEL SÍNDROME DE LA MANCHA BLANCA (WSSV) EN LAS GRANJAS CAMARONÍCOLAS DEL NOROESTE DE MÉXICO

Héctor M. Esparza-Leal; Francisco J. Magallón-Barajas; Ricardo Pérez-Enriquez; Ramón
Casillas-Hernández; Julio A. Cabanillas-Ramos y
Wenceslao Valenzuela-Quinónez

Ra Ximhai, septiembre - diciembre, año/Vol. 8, Número 3
Universidad Autónoma Indígena de México
Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. pp. 117-129.



e-revist@s

REGIÓN ENDÉMICA Y REGÍMENES DE INFECCIÓN CON EL VIRUS DEL SÍNDROME DE LA MANCHA BLANCA (WSSV) EN LAS GRANJAS CAMARONÍCOLAS DEL NOROESTE DE MÉXICO

THE ENDEMIC REGION AND INFECTION REGIMES OF THE WHITE SPOT SYNDROME VIRUS (WSSV) IN SHRIMP FARMS IN NORTHWESTERN MEXICO

Héctor M. Esparza-Leal¹; Francisco J. Magallón-Barajas²; Ricardo Pérez-Enriquez²; Ramón Casillas-Hernández³; Julio A. Cabanillas-Ramos^{3,4} y Wenceslao Valenzuela-Quinónez¹

¹Profesor Investigador. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional-IPN Unidad Sinaloa, Boulevard Juan de Dios Bátiz Paredes # 250, Guasave, Sinaloa 81101, México. hesparza@ipn.mx. ²Profesor Investigador. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Mar Bermejo 195, Col. Playa Palo de Santa Rita, La Paz, Baja California Sur 23090, México. ³Estudiante de Doctorado del Instituto Tecnológico de Sonora, 5 de Febrero 818 Sur, Cd. Obregón, Sonora 85000, México. ⁴Comité Estatal de Sanidad Acuicola de Sinaloa, Calzada Aeropuerto 7569 Altos, Col. Bachiualato, Culiacán, Sinaloa 80140, México.

RESUMEN

El cultivo de camarón, con un valor aproximado de 711 millones de dólares anuales, es una de las actividades primarias más importantes en México. Sin embargo, ha tenido que enfrentar diversos problemas que han limitado su desarrollo, dentro de los cuales la mortalidad causada por el virus del síndrome de la mancha blanca (WSSV) es el más importante. Para contar con elementos científicos enfocados a acciones de manejo sanitario preventivo, es preciso conocer, entre otros elementos, aspectos de la epidemiología de la enfermedad de la mancha blanca (WSD). Por esta razón el presente trabajo se enfocó a delimitar la región endémica de la WSD, sus regímenes temporales de infección y la discusión sobre los posibles factores de riesgo que pueden estar relacionados con sus brotes en las granjas camaronícolas del noroeste de México. Se utilizó información de las bases de datos de los Comités Estatales de Sanidad Acuicola de Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit; así como del Programa Integral de Sanidad Acuicola en Camarón (PISA 2007-2008) y de la Alianza Estratégica y Red de Innovación de la Industria Acuicola (AERI-2008). El análisis de la información mostró, para los ciclos de producción de camarón 2007-2008, una región endémica con presencia del virus WSSV, ubicada entre la región de Tuxpan, Nayarit al sur y de Agiabampo, Sonora, al norte. Los brotes de primavera de la WSD en las granjas acuícolas tuvieron un desplazamiento espacio-temporal, indicando tres regímenes de infección: (1) marzo-abril en la región sur del área de cultivo (Juntas Locales de Sanidad Acuicola [JLSA] de Mazatlán, El Rosario, Escuinapa, Tecuala y Tuxpan); (2) abril-mayo al centro (JLSA de Navolato Norte y Sur y El dorado); (3) mayo-junio en la parte norte (JLSA de Agiabampo-Sonora, Ahome, Guasave Norte y Sur). Los registros de la WSD fueron consistentes entre el 2007 y el 2008, con ligeras variaciones en algunas JLSA respecto al inicio o presencia de los brotes en primavera. Se muestra la asociación de los regímenes de infección a lo largo de la región endémica con la ubicación de las cuencas oceanográficas de Mazatlán, Pescadero y Farallón, en función del incremento diferencial de la temperatura dentro de ellas, la cual puede ser un factor condicionante para la presencia de brotes de la WSD.

Palabras clave: Enfermedad de la mancha blanca, estanques de camarón, factores de riesgo, temperatura, corrientes oceánicas.

SUMMARY

Shrimp farming with a value annually of US\$711 million approximately, is one of the most important primary activities in Mexico. However, shrimp farming has had to face various problems that have limited their development, within which the mortality caused by the white spot syndrome virus (WSSV) is the most important. To have scientific elements to focus on preventive health management actions is necessary to know, among other factors, aspects of the epidemiology of white spot disease (WSD). Therefore this study focused on delimiting the endemic region for WSD and its temporal regimes of infection and discusses possible risk factors related to outbreaks of the disease in shrimp farms of northwestern Mexico. We analyzed information from the databases of the State Committees of Aquaculture Health of Baja California Sur, Sonora, Sinaloa and Nayarit, as well as data of Integrated Program on Shrimp Aquaculture Health (PISA 2007-2008) and the Strategic Alliance Network Aquaculture Industry Innovation (AERI-2008). Data analysis showed that, for the shrimp production cycles of 2007-2008, white spot syndrome virus (WSSV) was endemic to the region of Tuxpan, Nayarit in the south and to Agiabampo, Sonora in the north. Spring outbreaks of WSD in the fish farms had a spatiotemporal distribution, indicating three infections regimes: (1) March-April in the southern shrimp-farming region (Local Aquaculture Health Boards [LAHBs] of Mazatlan, El Rosario, Escuinapa, Tecuala, and Tuxpan); (2) April-May in the central region (LAHBs of Navolato Norte, Navolato Sur, and El dorado); and (3) May-June in the northern region (LAHBs of Agiabampo-Sonora, Ahome, Guasave Norte and Sur). The WSD were consistent between 2007 and 2008, with slight variations among some LAHBs, with respect to the onset or presence of spring WSD outbreaks. It shows the association of infection regimes throughout the region endemic with the location of Mazatlan, Pescadero and Farallon oceanographic basins according to the increasing differential temperature within them, which may be a determinant factor for the presence of WSD outbreaks.

Key words: White spot disease, shrimp pond, risk factors, temperature, ocean currents.

INTRODUCCIÓN

Recibido: 04 de julio de 2012. Aceptado: 30 de agosto de 2012. Publicado como ARTÍCULO CIENTÍFICO en Ra Ximhai 8(3): 117-129.

El cultivo de camarón en México es una de las industrias primarias más importantes, incluso sobrepasando la producción de camarón por pesquerías. En el año 2006 la producción se ubicó alrededor de las 107 mil toneladas métricas (TM), representando un valor aproximado de 592 millones de dólares (MDD). En el año 2009 estas cifras ascendieron a alrededor de 128 mil TM con un valor aproximado de 711 MDD, registrándose la mayor producción en los estados del noroeste de México (Sonora, Sinaloa, Nayarit y Baja California Sur) (Juárez, 2008; CESANAY, 2009; CSABCS, 2009; COSAES, 2010; CESASIN, 2010). Sin embargo, en la última década ésta industria ha enfrentado problemas de diferente índole que han limitado su desarrollo. La problemática más importante ha sido la causada por el virus del síndrome de la mancha blanca (WSSV) (Esparza-Leal *et al.*, 2009; Esparza-Leal *et al.*, 2010). De acuerdo con fuentes extraoficiales se estima que tan sólo en el 2005 las pérdidas provocadas por dicho patógeno en los estados del noroeste de México (Sonora, Sinaloa y Nayarit) ascendieron a más de 100 millones de dólares (Esparza-Leal, 2010).

Con el fin de abordar ésta problemática, en el 2007 se iniciaron diversos trabajos de investigación por un grupo multidisciplinario coordinado por el CIBNOR (Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste) y enmarcados en un Programa Integral de Sanidad Acuícola en Camarón (PISA). Dentro de éste marco se incluyó el presente estudio, con el fin de definir la amplitud geográfica de la región endémica y el régimen de infección del virus WSSV en las granjas camaronícolas del noroeste de México (Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit). Si bien se conoce que la mayor parte de los brotes de la Enfermedad de la Mancha Blanca (WSD) se han centrado en ésta región (Páez-Osuna *et al.*, 2003; Juárez, 2008; Esparza-Leal *et al.*, 2009), hasta la fecha no existen reportes que indiquen los límites de la región endémica, así como la existencia de un patrón en los regímenes de infección, lo cual limita conocer qué factores pueden estar detonando los brotes de la WSD. Tal información es importante para explorar cambios en las estrategias de manejo de las granjas, con el fin de prevenir, aminorar o eliminar los brotes de la WSD.

Existen reportes que indican que los cambios ambientales son factores estresantes para los crustáceos y pueden ser condicionantes para que se presenten brotes de enfermedad (Le Moullac y Haffner, 2000). De estos, probablemente la temperatura del agua es uno de los factores más importantes para el cultivo de camarón, ya que influye en el crecimiento, muda y sobrevivencia de éste crustáceo (Staples y Heales, 1991; Chen *et al.*, 1995; Coman *et al.*, 2002), particularmente en las granjas camaronícolas del noroeste de México, en donde la temperatura del agua puede fluctuar en el intervalo de 17 a 33 °C (Ruiz-Fernández y Páez-Osuna, 2004). En este sentido, Kaustky *et al.* (2000) reportaron que el cambio de temperatura del agua es uno de los factores que puede disparar los brotes de la WSD en cultivos de camarón. Dichos cambios pueden inducir brotes del virus WSSV en camarones ligeramente infectados (Hsu *et al.*, 2000; Peinado-Guevara y López-Meyer, 2006) e incrementar la mortalidad de los camarones infectados experimentalmente (Sonnenholzher *et al.*, 2002a). A pesar de ello, se ha reportado una reducción de los signos clínicos, mortalidad y ausencia de células infectadas en tejido de camarón continuamente mantenido entre 32-33 °C posterior a la inoculación con éste virus (Vidal *et al.*, 2001; Rahman *et al.*, 2006). A nivel experimental una fluctuación diaria de la temperatura (27 y 33 °C) en intervalos de 6, 12 o 18 h puede influir en el surgimiento de la enfermedad, mortalidad y estado de infección de camarones inoculados con éste patógeno (Rahman *et al.*, 2007a). El objetivo del presente estudio es delimitar la región endémica de la WSD en las granjas camaronícolas del noroeste de México y discutir la asociación de los regímenes de infección en función de la variación espacio-temporal de la temperatura del agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Las granjas camaronícolas del noroeste de México se ubican en su mayor parte en los márgenes de la zona costera del Golfo de California, que es un cuerpo de agua marina alargado en dirección noroeste con una superficie aproximada de 150,000 km², delimitada por las costas orientales de la Península de Baja California, las occidentales de Sonora, Sinaloa y Nayarit, y al sur por una línea

imaginaria entre Cabo San Lucas, Baja California Sur y Cabo Corrientes, Jalisco (Fig. 1). Las granjas se abastecen de agua del Golfo de California, que se encuentra integrado por varias cuencas oceanográficas definidas por la topografía del piso marino (Figueroa *et al.*, 2003).

Para efectos de este estudio, los datos de las Juntas Locales de Sanidad Acuícola (JLSA) se analizaron agrupadas de acuerdo con la cuenca oceanográfica que comparten (Fig. 1). De esta manera, las JLSA de Mazatlán, El Rosario, Escuinapa, Tecuala y Tuxpan, que se abastecen de agua de los sistemas hidrológicos costeros de Huizache-Caimanero, Piaxtla, Teacapán-Agua Brava Las Cabras-Marisma Ancha y Pimientillo, respectivamente, se agruparon dentro de la Cuenca Mazatlán, la cual se localiza en la boca del Golfo de California y tiene influencia del Pacífico Oriental Tropical. Las JLSA de Navolato Norte y Sur, El dorado (zona oceánica y zona estero), ubicadas al margen de los sistemas lagunares de Pabellón-Altata, Elota y Santa María-La Reforma, se abastecen de agua de la Cuenca Pescadero, la cual ubica en al interior de la boca del Golfo de California. Las JLSA de Agiabampo, Ahome, Guasave Norte y Guasave Sur, se ubican al margen de los sistemas lagunares de Agiabampo, Topolobampo, Santa María, San Ignacio, Navachiste y Macapule, dentro del área de influencia de la Cuenca Farallón. Las JLSA ubicadas en Sonora Sur (Aquiropo, Riito y Santa Bárbara), se encuentran ubicadas dentro de la influencia de la Cuenca del Carmen. Las JLSA de Sonora centro, se encuentran dentro de la zona de influencia de las cuencas de Guaymas y San Pedro Mártir. Finalmente, las granjas ubicadas en la zona costera de Baja California Sur, se encuentran bajo la influencia del Océano Pacífico y Golfo de California-Cuenca Pescadero (Golfo-Pescadero) y de las de Baja California al norte del Golfo de California (Golfo-Norte).

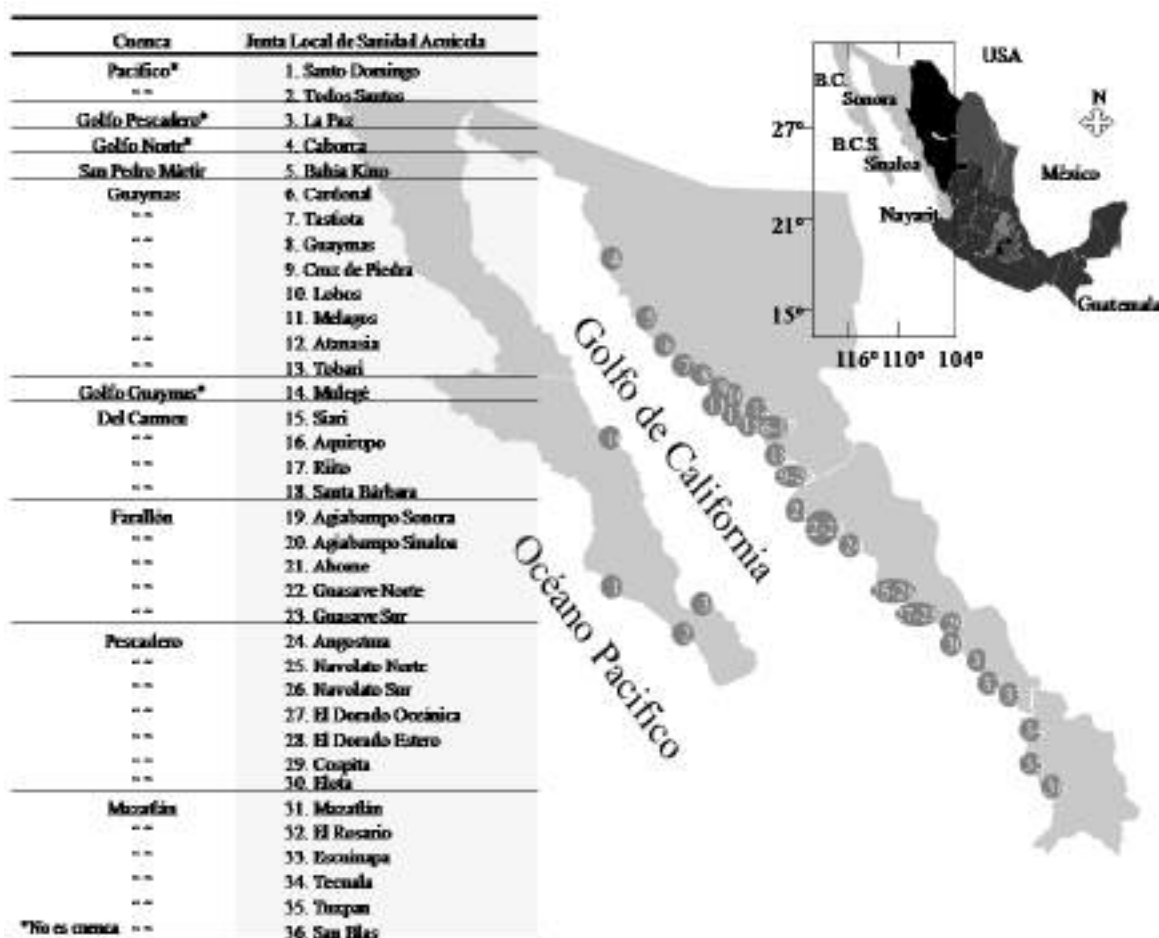


Figura 1. Ubicación de las Juntas Locales de Sanidad Acuícola (JLSA) del Noroeste de México y Cuenca Oceanográfica de la que se abastecen de agua las granjas camaronícolas.

El área dedicada al cultivo de camarón en la región noroeste es de aproximadamente 51,419 ha, ocupadas por alrededor de 844 granjas (Juárez, 2008; CESANAY, 2009; CSABCS, 2009; COSAES, 2010; CESASIN, 2010). De acuerdo a SAGARPA-CONAPESCA (2001) y Páez-Osuna *et al.* (2003) la dimensión de las granjas fluctúa entre 4 y 1, 200 ha, con un promedio de 150 ha. El tamaño de los estanques es variable pero puede enmarcarse entre las 2 y 40 ha, con una predominancia de 2 a 15 ha. En esta región, el sistema de manejo más común es semi-intensivo (89%), mientras que los sistemas intensivos y extensivos comprenden el 2 y el 9%, respectivamente. El promedio de densidad de siembra para granjas intensivas es de alrededor de 58 camarones m⁻², para semi-intensivas de 13 camarones m⁻² y para extensivas de 7 camarones m⁻². Hasta el 2001 la mayoría de las granjas operaban dos ciclos por año de corta duración; sin embargo, en los últimos años la tendencia ha sido a producir solamente un ciclo por año de mayor duración. La duración de los ciclos de cultivo de corta duración fluctúa en promedio entre los 90 y 140 días dependiendo de la temporada, demanda del mercado y enfermedades. Mientras que los ciclos de larga duración pueden durar de 140 a 200 días.

Delimitación de la región endémica y regímenes de infección del virus WSSV

Para llevar a cabo el presente estudio se utilizaron las bases de datos del 2007 y 2008 de los Comités de Sanidad Acuícola (CSA) de los estados de Baja California Sur (CSABCS), Sonora (COSAES), Sinaloa (CESASIN) y Nayarit (CESANAY), que mantienen agrupadas las granjas camarónícolas en JLSA (Fig. 1) Además, se utilizó información generada por los proyectos del Programa Integral de Sanidad Acuícola en Camarón (PISA Fases I-2007 y II-2008) y Alianza Estratégica y Red de Innovación de la Industria Acuícola (AERI-2008), que fueron coordinados y desarrollados por personal del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON), Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa), Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) y Universidad Autónoma de Nayarit (UAN).

El estudio se enfocó a delimitar la región endémica y regímenes de infección, tomando en cuenta los primeros brotes de la WSD confirmados con análisis de PCR (la metodología de análisis fue reportada por Esparza-Leal *et al.*, 2009), registrados en los ciclos de cultivo de primavera-verano del 2007 y 2008, en cada una de las JLSA del noroeste de México. El énfasis del estudio de los brotes de la WSD en primavera-verano se debe a que, por una parte, los ciclos de cultivo se inician generalmente en primavera después de un vacío sanitario de invierno que varía de uno a seis meses (de acuerdo con la región), y por la otra, que de acuerdo a los antecedentes históricos reportados por los CSA, la presencia del virus WSSV y los brotes de la WSD en el otoño por lo general ocurre en las JLSA que tienen antecedentes de haber tenido brotes de la WSD durante el periodo de primavera y/o verano. Adicionalmente, en el otoño las detecciones de éste patógeno asociadas a la expresión de la WSD ocurren normalmente al finalizar los ciclos de cultivo, con menor impacto productivo que en los ciclos de producción que se desarrollan en la época de primavera-verano.

RESULTADOS

Para los ciclos de cultivo del 2007-2008 se detectó una región endémica persistente con presencia del virus WSSV que se encuentra entre las JLSA de Tuxpan, Nayarit al sur de la región de cultivo y de Agiabampo, Sonora al norte (Figs. 2 y 3).

En el 2007, la región endémica presentó tres regímenes de infección: el primero entre los meses de marzo-abril en las granjas de la cuenca Mazatlán; el segundo para los meses de abril-mayo en las JLSA de la cuenca Pescadero y el tercero para mayo-junio en las JLSA de la cuenca Farallón (Fig. 2). A pesar de que la mayor parte de las JLSA de la cuenca del Carmen presentó brotes de la WSD durante junio de los años 2004, 2005, 2006, no los presentaron en 2007. De manera similar, las JLSA de las cuencas Guaymas y San Pedro Mártir y de las zonas de Baja California y Baja California Sur, también permanecieron libres de brotes de la WSD en el período primavera-verano del 2007.

El patrón espacio-temporal en el 2008 fue muy similar al del 2007 (Fig. 3), con algunas excepciones: el régimen de infección marzo-abril que se observó en las granjas de la cuenca Mazatlán se amplió a febrero-abril, en las granjas que se abastecen de la cuenca Pescadero se conservó el régimen de infección abril-mayo con un corrimiento en Navolato Sur hacia junio y en las granjas que se abastecen de la cuenca Farallón se repitió el régimen de infección mayo-junio, pero sin presentarse brotes de la WSD en las JLSA de Guasave Norte y Agiabampo-Sonora.

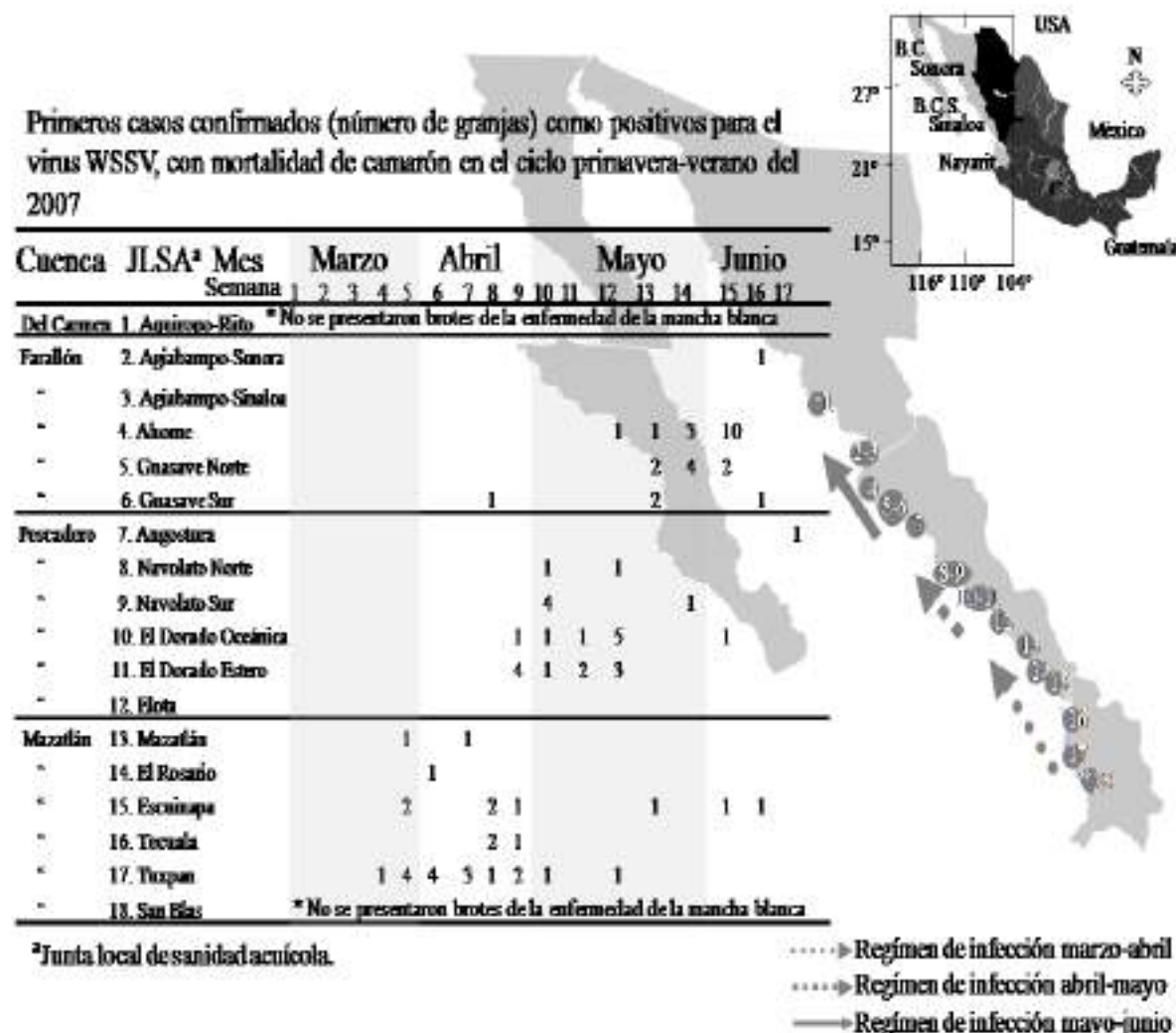


Figura 2. Región endémica y regímenes de infección durante los ciclos de cultivo primavera-verano del 2007 en las granjas camaronícolas del Noroeste de México (primeros casos confirmados como positivos para el virus WSSV, por la técnica de PCR).

Con respecto al balance general de la afectación que provocaron los brotes de la WSD en las granjas camaronícolas del noroeste de México, se observó una disminución de la superficie afectada pasando de 4, 556 ha en 2007 a 1, 114 ha en 2008. De igual manera disminuyó el número de granjas afectadas pasando de 102 en el 2007 a 29 en el 2008.

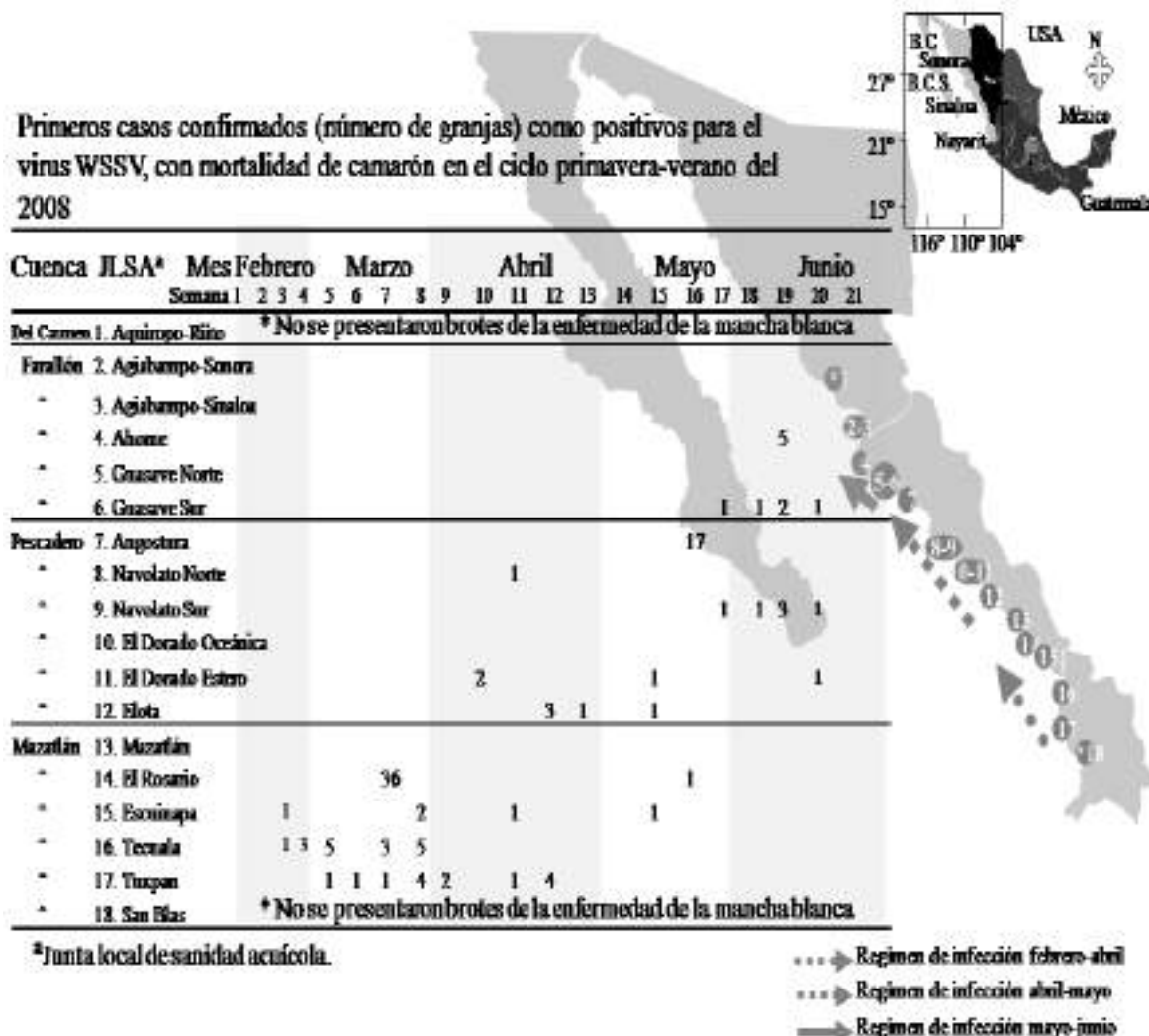


Figura 3. Región endémica y regímenes de infección durante los ciclos de cultivo primavera-verano del 2008 en las granjas camaronícolas del Noroeste de México (primeros casos confirmados como positivos para el virus WSSV, por la técnica de PCR).

DISCUSIÓN

Los regímenes de infección a lo largo de la región endémica, reportados en el presente estudio, coinciden con las cuencas oceanográficas de Mazatlán, Pescadero y Farallón. De acuerdo a los límites geográficos señalados por Figueroa *et al.* (2003) para las cuencas oceanográficas del Golfo de California y la ubicación de los regímenes epidémicos con respecto a éstas, surge la pregunta de ¿Hasta dónde existe una relación causa-efecto entre la circulación del agua marina dentro del Golfo de California y el patrón endémico anual? Al respecto, Martorelli *et al.* (2010) argumentan la posibilidad de que el virus WSSV puede ser transportado por corrientes marinas a través de huéspedes reservorios y vectores mecánicos. En términos de la circulación superficial del agua en el Golfo de California, Soto-Mardones *et al.* (1999) reportan que ésta es predominantemente estacional, donde el agua tiende a entrar durante la primavera-verano y a salir durante otoño-invierno. Otros reportes (Collins *et al.*, 1997; Castro *et al.*, 2000; Figueroa *et al.*, 2003; Marinone, 2003) indican la entrada de agua al Golfo de California a través de la cuenca Pescadero, desde el lado continental (Sinaloa) y, la salida del Golfo desde el lado Peninsular (Baja California Sur) y señalan que en la cuenca la circulación puede ser ciclónica o anticiclónica, con una tendencia a tener una mayor circulación anticiclónica entre octubre-marzo; también, señalan que en la Cuenca Farallón predomina la circulación anticiclónica en octubre-noviembre, con una mayor circulación

ciclónica en enero-marzo. De acuerdo con Parés-Sierra (Com. Pers.) cada región al interior del Golfo de California puede presentar patrones particulares de circulación de acuerdo a la diversas variables ambientales (temperatura, mareas, dirección y fuerza del viento, entre otros) por lo que es pertinente estudiar la relación entre patrones de circulación del agua del Golfo de California y la dispersión del virus WSSV mediante la aplicación de modelos de simulación oceanográficos. Dichas condiciones particulares podrían repercutir en la toma de decisiones para definir fechas de siembra y de cosecha de las granjas ubicadas en las JLSA infectadas con éste patógeno.

El desfase espacio-temporal de los regímenes epidémicos detectados en el presente estudio indica que los primeros brotes virales inician en las granjas que se abastecen de agua de la cuenca Mazatlán y, continúan detonando progresivamente en diferentes regímenes de infección de sur a norte hasta las granjas que se abastecen de agua de la cuenca Farallón. Se presentan tres hipótesis alternas para explicar éste desfase: (1) durante el invierno el virus WSSV se mantiene en algún reservorio situado en la zona tropical fuera del Golfo de California y en la primavera ingresa a éste infectando a las granjas camaronícolas de la zona tropical y desplazándose posteriormente por la vía acuática hacia dentro del Golfo de California; (2) el virus WSSV se mantiene en reservorios tanto de la zona costera adyacente al sur del Golfo de California (cuenca Mazatlán), como en la zona costera de las cuencas Pescadero y Farallón y, los eventos se detectan tardíamente en estas últimas por el disparo progresivo de algún factor ambiental, biológico o de manejo que incrementa la carga viral y, (3) el virus WSSV se mantiene en el invierno-primavera en los sistemas de cultivo de cualquiera de las zonas mencionadas, cuando no se cumple con los protocolos de saneamiento en post-cosecha.

Sustentos de la primera hipótesis para explicar el desfase espacio-temporal de los regímenes epidémicos

En muestreos invernales (diciembre del 2007 y Enero del 2008) realizados en granjas ubicadas en la región de Marisma Ancha-Teacapán-Valle de la Urraca (zona limítrofe entre Sinaloa y Nayarit) se detectó la presencia del virus WSSV en camarones *L. vannamei* cultivados en granjas que iniciaron operaciones entre agosto-septiembre del 2007 (PISA, 2008). Los resultados de los muestreos también revelaron la presencia del virus en organismos silvestres del ecosistema adyacente, tales como camarones *L. vannamei*, jaibas y huevos de jaibas. Lo cual es indicativo de que el virus puede permanecer en la región Sur adyacente al Golfo de California, cuando menos hasta el mes de enero, ofreciendo con ello al virus un puente entre un ciclo de cultivo y otro. Esto coincide con resultados observados en granjas camaronícolas de la misma región, donde se han reportado infecciones por el virus WSSV a partir de febrero (PISA, 2008). Un estudio realizado en Vietnam (Quang *et al.*, 2009) indica que el virus WSSV puede persistir en los estanques donde se han presentado brotes de la WSD y ecosistemas aledaños, al menos un año posterior al brote.

Esparza-Leal *et al.* (2009) determinaron que entre los meses de septiembre-octubre, es posible detectar al virus WSSV en varias fracciones líquidas y particuladas (0.45 a 100 µm) del agua de estanques camaronícolas infectados. Esto indica que el virus puede estar asociado con fracciones del plancton, tales como microplancton (20-200 µm), nanoplancton (2-20 µm) y/o picoplancton (0.2-2.0 µm), que tanto lo pueden albergar como transportar. En el mismo estudio, se determinó que el virus asociado a estas fracciones puede causar infección en camarones WSSV-negativos a 27 °C. Previamente, en condiciones de laboratorio se había demostrado que los camarones pueden ser infectados por inmersión en agua que contiene partículas virales (Chou *et al.*, 1998, Chen *et al.*, 2000) y que la infección también puede lograrse por la vía de la adhesión de partículas virales a células de fitoplancton, consumidas por rotíferos que posteriormente se utilizaron como alimento para camarones (Zhang *et al.*, 2006; Liu *et al.*, 2007). Hay evidencias que indican que los rotíferos constituyen un riesgo potencial para la transmisión del WSSV en langostinos (Yan *et al.*, 2007). Además, se ha demostrado que el agua misma puede ser un medio efectivo de transporte, aunque aparentemente éste virus no puede sobrevivir más que unos cuantos días fuera del huésped (Flegel *et al.*, 1997; Maeda *et al.*, 1998; Prior y Browdy, 2000). La viabilidad del virus WSSV en agua de mar reportada por Flegel *et al.* (1997) fue de 3-4 días, mientras que Maeda *et al.* (1998) indican que éste virus no es infectivo para *P. monodon* y *M. japonicus* después de 5-7 días en agua de mar.

Prior y Browdy (2000) determinaron que agua de mar que contenía camarones infectados por el virus permaneció infectiva por 48 h. En tanto que 3-7 días parece ser una buena estimación del periodo infectivo del virus fuera de un huésped en agua de mar y condiciones de cultivo. Dicho periodo en condiciones de laboratorio puede ser de 50 días a 25 °C (Momoyama *et al.*, 1998) y mayor de 60 días pero menor a 120 días a la misma temperatura (Maeda *et al.*, 1998).

Sustentos de la segunda hipótesis para explicar el desfaseamiento espacio-temporal de los regímenes epidémicos

Si se asume la posibilidad de que el virus WSSV se mantiene en reservorios virales tanto en la zona costera adyacente al Sur del Golfo de California como en la zona costera de las cuencas Mazatlán, Pescadero y Farallón, puede ser posible que algún mecanismo ambiental o biológico incremente la carga viral diferencialmente dependiendo de la época del año y la latitud. Uno de los factores podría ser la temperatura del agua. Se ha reportado que una de las diferencias relevantes entre las cuencas Oceanográficas del Golfo de California es el régimen térmico, particularmente el que se presenta en el periodo comprendido entre octubre y mayo (Soto-Mardones *et al.*, 1999), ya que el régimen térmico entre julio-septiembre es muy similar a lo largo del Golfo. El diferencial latitudinal consiste en que la amplitud de la oscilación de temperatura entre el invierno y el verano se incrementa de sur a norte (Fig. 4). Soto-Mardones *et al.* (1999) establecieron cuatro regiones térmicas desde el punto de vista geográfico: (1) Región Térmica Norte, situada al norte de las Grandes Islas, con una oscilación promedio invierno-verano de 10 a 32 °C; (2) Región Térmica de las Grandes Islas, que incluye la cuenca de San Pedro Mártir (10 a 32 °C); (3) Región Térmica Central, que incluye las cuencas de Guaymas y Del Carmen, oscilando entre 16 a 31 °C y (4) Región Térmica Sur, que comprende las cuencas Farallón y Pescadero con un intervalo de 20 a 31 °C (Fig. 4). Lo anterior implica que en verano se presente una pequeña diferencia en la temperatura superficial entre todas las cuencas y regiones térmicas del Golfo de California (≈ 2 °C), en comparación con el diferencial observado durante el invierno (≈ 7 °C).

Los brotes de la WSD que se han presentado en las granjas que se abastecen de agua de la cuenca Farallón (Región Térmica Sur) han ocurrido en una oscilación térmica de 27 a 31 °C (PISA, 2008), las cuales son similares a las reportadas en brotes de la WSD en Ecuador (Sonnenholzner *et al.*, 2002a, b). También, se ha estudiado la relación entre temperaturas estables, progreso de la infección viral y mortalidad en *L. vannamei* a diferentes intervalos: Colombia, 25-32 °C (Vidal *et al.*, 2001); Ecuador, 27-33 °C (Calderón, 2002) y Europa, 27-33 °C (Rahman *et al.*, 2006). Mientras que con temperaturas variables se ha estudiado la oscilación 27-33 °C (Rahman *et al.*, 2007a). En términos generales, los estudios mencionados mostraron un efecto protector de la hipertermia a niveles estables superiores a 32-33 °C y, con oscilaciones diarias de 27-33 °C cuando se mantiene a 33 °C.

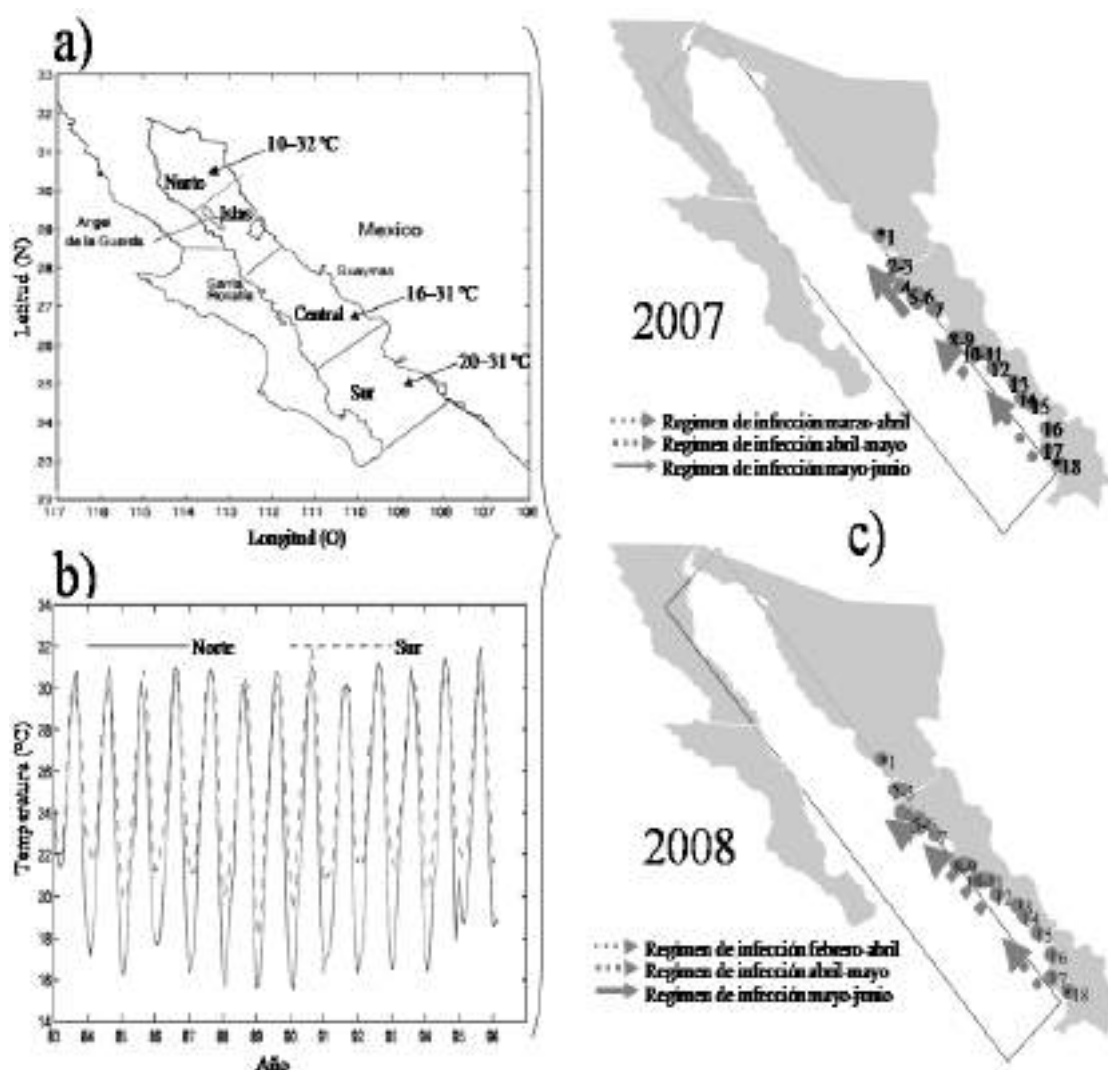


Figura 4. (a) Regiones térmicas dentro del Golfo de California (tomada y modificada de Soto-Mardones *et al.*, 1999); (b) serie temporal de los promedios espaciales del promedio mensual de la temperatura superficial del mar para las regiones norte y sur del Golfo de California (tomada de Soto-Mardones *et al.*, 1999) y, (c) región endémica y regímenes de infección de las granjas con el virus WSSV durante el 2007 y 2008 (la numeración descrita dentro del mapa representa la ubicación de las Juntas Locales de Sanidad Acuicola, la cual esta referenciada en las figuras 2 y 3).

Resultados similares fueron reportados por Esparza-Leal *et al.* (2010) y Esparza-Leal (2010), quienes observaron que la infección de organismos sanos sometidos en jaulas tanto en estanques con brotes de la WSD como en un dren de descarga, se presenta en dos períodos (120-168 y 360 h posteriores a la exposición) dentro del intervalo de temperatura de 24.9-33.4 °C e indican que la fluctuación diaria de la temperatura con períodos de alta temperatura (>32 °C) puede proveer una protección parcial por hipertermia que puede reducir la replicación viral en algunos estanques, tal como lo mencionan Vidal *et al.* (2001) y Rahman *et al.* (2007b). Ésta protección parcial puede decrecer después de que se presente una reducción de la temperatura.

Si se toman en cuenta las temperaturas que ocurren entre julio y septiembre en todas las cuencas del Golfo de California, es posible que la hipertermia pueda considerarse como uno de los factores que fortalecen la supervivencia del camarón y la disminución de la carga viral durante ese periodo, en granjas que experimentan la ocurrencia de eventos epidémicos durante el ascenso de la temperatura, tal como ya ha sido mencionado en párrafos anteriores. Sin embargo, la recurrencia de los brotes de la WSD en esas mismas granjas, posteriores a eventos ciclónicos, indica que a pesar de la dificultad para detectar el virus en temperaturas altas, éste puede persistir en las cuencas de

Farallón y Pescadero en el periodo de julio a septiembre; tal como se reporta para algunas granjas de Sonora (PISA, 2008) y resultados obtenidos en el presente trabajo.

El efecto protector de la temperatura (hipertermia) durante el verano no necesariamente implica la erradicación del virus WSSV de las granjas camaronícolas infectadas, pero es posible que si atenúe la replicación viral y/o la infectividad, tal como se determinó experimentalmente en *Marsupenaeus japonicus*, en la cual la infección con el virus WSSV progresó rápidamente en temperaturas de 23 a 28 °C, con una atenuación del efecto infectivo a 33 °C (Guan *et al.*, 2003). Un experimento adicional mostró que la atenuación de la infectividad también ocurrió con un cambio de la temperatura de 33 a 15 °C (Guan *et al.*, 2003), lo que sugiere que no sólo la hipertermia (>32-33 °C) sino también la hipotermia ($\approx$ 15 °C) pueden alterar la replicación viral, así como retrasar el progreso de la infección y/o mortalidad.

Si la hipotermia puede disminuir la replicación viral en crustáceos, tal como se ha demostrado en algunos estudios (Guan *et al.*, 2003; Du *et al.*, 2008) o en hospedantes alternos y, existe un reservorio viral en la Cuencas Pescadero y Farallón, es posible que la temperatura de invierno disminuya la carga viral, mientras que el ascenso de ésta durante la primavera-verano incrementa dicha carga. Si lo anterior es posible, la combinación del Régimen Térmico y corrientes marinas puede dificultar el ingreso del virus durante el verano y su permanencia entre ciclos de cultivo en las granjas que se abastecen de agua de las Cuencas de San Pedro Mártir, Guaymas y Del Carmen, ya que en estas cuencas la duración del período hipotérmico es mayor.

Sustentos de la tercera hipótesis para explicar el desfase espacio-temporal de los regímenes epidémicos

Si el virus WSSV se mantiene en el invierno-primavera en los sistemas de cultivo de camarón de cualquiera de las zonas ya mencionadas con anterioridad, ello puede estar dependiendo tanto del cumplimiento de los protocolos de saneamiento como de las condiciones ambientales en las que esté situada la granja. Los resultados del Programa PISA obtenidos entre los ciclos de cultivo 2006-2007 indicaron una ausencia de registros del virus WSSV previo a la operación en granjas que fueron seleccionadas para darles un seguimiento epidémico y que se abastecen de agua de la Cuenca del Carmen y Farallón; pero, con detecciones positivas para el virus WSSV en algunas granjas que se abastecen de agua de la cuenca Mazatlán (sistema Agua Brava) (PISA, 2008). Resultados obtenidos por el mismo grupo de trabajo, también indican que los paros o vacíos sanitarios conjuntos tuvieron efecto en algunas granjas camaronícolas que se abastecen de agua de las cuencas Farallón y Mazatlán. Lo que permite sugerir, que la combinación de paros sanitarios, su duración y aplicación de protocolos de manejo puede constituir un elemento clave para excluir al virus de los sistemas de cultivo camaronícola, ya que existen reportes que indican que el secado, remoción de sólidos y tratamiento de los estanques antes de sembrar, repercute no sólo en la eliminación de posibles patógenos sino también en sus huéspedes, portadores, depredadores y competidores (Chang *et al.*, 1998; Maeda *et al.*, 2000; Corsin *et al.*, 2005).

Si bien es posible que al retrasar las fechas de siembra para realizarlas en el período en los que la temperatura va en ascenso, puede ayudar a que los cultivos se mantengan sin brotes de la WSD por la posible protección hipertérmica, también debe de considerarse la posibilidad de que ésta decisión esté influyendo en la duración del periodo de exposición solar de los suelos de los sistemas de cultivo (reservorio, estanques y drenes) durante el periodo invernal y, su posible efecto sobre la exclusión o reducción de la carga viral. Otro de los puntos que se tendrían que considerar, es que la efectividad de los vacíos sanitarios puede ser dependiente de la localización de las granjas y la temperatura del periodo invernal, lo cual implica que el cumplimiento de los protocolos sanitarios en granjas ubicadas en regiones con temperatura invernal más alta (principalmente cuenca Mazatlán) requiere un mayor énfasis en cuanto a la sincronización, aplicación del protocolo sanitario y duración del periodo de secado.

CONCLUSIONES

En los ciclos de producción 2007-2008 fue definida una región endémica con presencia del virus WSSV, que se encuentra entre las zonas limítrofes de Tuxpan, Nayarit y Agiabampo, Sonora. Dicha región presentó tres regímenes de infección con un desfase espacio-temporal de Sur a Norte: 1) febrero-abril, 2) abril-mayo y 3) mayo-junio, que coincidieron con las cuencas Oceanográficas de Mazatlán, Pescadero y Farallón, respectivamente. Se tienen tres hipótesis para explicar las causas del desfase en los regímenes de infección, las cuales se relacionan con la permanencia del virus entre un ciclo y otro de cultivo en camarones y hospedante alternos, tanto en granjas de cultivo como en cuerpos de agua de las cuencas oceanográficas, los regímenes de temperatura en función de las cuencas y la latitud y de la capacidad de dispersión del virus a través de las corrientes del Golfo de California.

LITERATURA CITADA

- Calderón, J., 2002. **Análisis de una traumática experiencia: El WSSV en Ecuador.** Mundo Acuicola. 8(1): 20-24.
- Castro, R., A. S. Mascarenhas, R. Durazo, C. A. Collins. 2000. **Seasonal variation of the temperature and salinity at the entrance to the Gulf of California.** Ciencias Marinas. 26: 561-583.
- CESANAY (Comité Estatal de Sanidad Acuicola del Estado de Nayarit, A.C.). 2009. **Campañas: censo de granjas.** (En línea). Disponible en: <http://www.cesanay.com/boletines2009.htm>.
- CESASIN (Comité Estatal de Sanidad Acuicola de Sinaloa, A.C.). 2010. **Estadísticas: resúmenes de siembras y cosechas.** (En línea) Disponible en: <http://www.cesasin.com.mx/ESTADISTICAS.html>.
- Chang, P. S., H.C. Chen, Y.C. Wang. 1998. **Detection of white spot syndrome associated baculovirus in experimentally infected wild shrimp, crab and lobsters by *In situ* hybridization.** Special Issue: Proceedings of the 2nd International Conference on the Culture of Penaeid Prawns and Shrimps. E. T. Quintio and J. H. Primavera (eds.). Aquaculture. 164: 233-242.
- Chen, J.C., M.N. Lin, Y.Y. Ting, J.N. Lin. 1995. **Survival, haemolymph osmolality and tissue water of *Penaeus chinensis* juveniles acclimated to different salinity and temperature levels.** Comparative Biochemistry and Physiology. 110A: 253-258.
- Chen, L.L., C.F. Lo, Y.L. Chiu, C.F. Chang, G.H. Kou. 2000. **Natural and experimental infection of white spot syndrome virus (WSSV) in benthic larvae of mud crab *Scylla serrata*.** Diseases of Aquatic Organisms. 40: 157-161.
- Chou, H.Y., C.Y. Huan, C.F. Lo, G.H. Kou. 1998. **Studies on transmission of white spot syndrome associated baculovirus (WSBV) in *Penaeus monodon* and *P. japonicus* via waterborne contact and oral ingestion.** Aquaculture. 164: 263-276.
- Collins, C.A., N. Garfield, A.S. Mascarenhas, M.G. Spearman, T.A. Rago. 1997. **Ocean currents across the entrance to the Gulf of California.** Journal of Geophysical Research. 102: 20927-20936.
- Coman, G.J., P.J. Crocos, N.P. Preston, D. Fielder. 2002. **The effects of temperature on the growth, survival and biomass of different families of juvenile *Penaeus japonicus* Bate.** Aquaculture. 214: 185-199.
- CSABCS (Comité de Sanidad Acuicola de Baja California Sur, A.C.). 2009. **Cifras de producción: producción de camarón 2009.** (En línea). Disponible en: <http://www.cesabcs.org/cifrasproduccion.html>.
- Corsin, F., J.F. Turnbull, C.V. Mohan, N.V. Hao, K.L. Morgan. 2005. **Pond-level risk factors for white spot disease outbreaks.** Pages 75-92 in P. Walker, R. Lester and M.G. Bondad-Reantaso (eds.). *Diseases in Asian Aquaculture.* Asian Fisheries Society, Manila.
- COSAES (Comité Estatal de Sanidad Acuicola del Estado de Sonora, A.C.). 2010. **Diagnósticos sanitarios: Campañas de sanidad acuicola; resultados de producción.** (En línea). Disponible en: <http://www.cosaes.com/>.
- Du, H., W. Dai, X. Han, W. Li, Y. Xu, Z. Xu. 2008. **Effect of low temperature on viral replication of white spot syndrome virus in *Procambarus clarkii*.** Aquaculture. 277: 149-151.
- Esparza-Leal, H.M. 2010. **Región endémica, régimen de infección y evaluación de la vía acuática como mecanismo de dispersión del virus del síndrome de la mancha blanca (WSSV) en granjas camaronícolas del noroeste de México.** Tesis de Doctorado. Instituto Tecnológico de Sonora, Cd. Obregón, Sonora, México. (En línea). Disponible en: [http://cosaes.com/Tesis%20Doctorado%20Hector%20Esparza \(30-Jun-2010\).pdf](http://cosaes.com/Tesis%20Doctorado%20Hector%20Esparza%20(30-Jun-2010).pdf).
- Esparza-Leal, H.M., C.M. Escobedo-Bonilla, R. Casillas-Hernández, P. Álvarez-Ruiz, G. Portillo-Clark, R.C. Valerio-García, J. Hernández-López, J. Méndez-Lozano, N. Vibanco-Pérez, F.J. Magallón-Barajas. 2009. **Detection of white spot syndrome virus in filtered shrimp-farm water fractions and**

- experimental evaluation of its infectivity in *Penaeus (Litopenaeus) vannamei*.** Aquaculture. 292: 16-22.
- Esparza-Leal, H.M., F.J. Magallón-Barajas, G. Portillo-Clark, R. Perez-Enriquez, P. Álvarez-Ruiz, C.M. Escobedo-Bonilla, J. Méndez-Lozano, N. Mañón-Ríos, R.C. Valerio-García, J. Hernández-López, N. Vibanco-Pérez, R. Casillas-Hernández. 2010. **Infection of WSSV-negative shrimp, *Litopenaeus vannamei*, cultivated under fluctuating temperature conditions.** Journal of the World Aquaculture Society. 41: 912-922.
- Figuerola, J.M., S.G. Marinone, M.F. Lavin. 2003. **A description of geostrophic gyres in the Southern Gulf of California.** Pages 237-255 in O.U. Velasco-Fuentes, editor. Nonlinear Processes in Geophysical Fluid Dynamics, Kluwer. Academic Publishers, Netherlands.
- Flegel, T.W., S. Boonyaratpalin, B. Withyachumnarmkul. 1997. **Progress in research on yellow-head virus and white spot virus in Thailand.** Pages 285-295 in T.W. Flegel and I.H. MacRae (eds.). *Diseases in Asian Aquaculture III*. Asian Fisheries Society, Fish Health Section, Manila.
- Guan, Y., Z. Yu, C. Li. 2003. **The effect of temperature on white spot syndrome infections in *Marsupenaeus japonicus*.** Journal of Invertebrate Pathology. 83: 257-260.
- Hsu, H.C., C.F. Lo, Y.L. Chiu, C.F. Chang, G.H. Kou. 2000. **Effect of temperature shifts on shrimp lightly infected with white spot syndrome virus (WSSV).** Acta Zoologica Taiwanica. 11: 63-81.
- Juárez, L. M. 2008. **Current status of shrimp aquaculture in Mexico.** Panorama Acuicola Magazine Enero/Febrero. pp. 48-53.
- Kautsky, N., P. Rönnbäck, M. Tedengreen, M. Troell. 2000. **Ecosystem perspectives on management of disease in shrimp pond farming.** Aquaculture. 191: 145-161.
- Le Moullac, G., P. Haffner. 2000. **Environmental factors affecting immune responses in crustacean.** Aquaculture. 191: 121-131.
- Liu, B., Z. Yu, X. Song, Y. Guan. 2007. **Studies on the transmission of WSSV (white spot syndrome virus) in juvenile *Marsupenaeus japonicus* via marine microalgae.** Journal of Invertebrate Pathology. 95: 87-92.
- Maeda, M., T. Itami, A. Furumoto, O. Hennig, T. Imamura, M. Kondo, I. Hirono, T. Aoki, Y. Takahashi. 1998. **Detection of penaeid rod-shaped DNA virus (PRDV) in wild-caught shrimp and other crustaceans.** Fish Pathology. 33: 373-380.
- Maeda, M., T. Itami, E. Mizuki, T. Tanaka, Y. Yoshizu, K. Doi, C. Yasunaga-Aoki, Y. Takahashi, T. Kawarabata. 2000. **Red swampy crawfish (*Procambarus clarkii*): An alternative experimental host in the study of white spot syndrome virus.** Acta Virologica. 44: 371-374.
- Marinone, S.G. 2003. **A three-dimensional model of the mean and seasonal circulation of the Gulf of California.** Journal of Geophysical Research. 108(C10), 3325, 10.1029/2002JC001720.
- Martorelli, S.R., M.R. Overstreet, J.A. Jovonovich. 2010. **First report of viral pathogens WSSV and IHNV in Argentine crustaceans.** Bulletin of Marine Science. 86: 117-131.
- Momoyama, K., M. Hiraoka, H. Nakano, M. Sameshima. 1998. **Cryopreservation of penaeid rod-shaped DNA virus (PRDV) and its survival in sea water at different temperatures.** Fish Pathology. 33: 95-96.
- Páez-Osuna, F., A. Gracia, F. Flores-Verdugo, L.P. Lyle-Fritch, R. Alonso-Rodríguez, A. Roque, A.C. Ruiz-Fernández. 2003. **Shrimp aquaculture development and the environment in the Gulf of California ecoregion.** Marine Pollution Bulletin. 46: 806-815.
- Peinado-Guevara, L.I., M. López-Meyer. 2006. **Detailed monitoring of white spot syndrome virus (WSSV) in shrimp commercial ponds in Sinaloa, Mexico by nested PCR.** Aquaculture. 251: 33-45.
- PISA (Programa Integral de Sanidad Acuicola en Camarón). 2008. **Condiciones biológicas y ambientales relacionadas con los eventos epidémicos del virus de la mancha blanca (WSSV) en el cultivo de *Litopenaeus vannamei* en el noroeste de México.** Technical Repor N° 2 (Número de registro I0004-2006-02-6003) Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México, México, D.F.
- Prior, S., C. L. Browdy. 2000. **Postmortem persistence of white spot and taura syndrome viruses in water and tissue (abstract).** Page 402 in World Aquaculture Society, U.S. Chapter annual conference, editor. New Orleans, USA, 2-5 February 2000.
- Quang, N.D., P.T. Hoa, T.T. Da, P.H. Anh. 2009. **Persistence of white spot syndrome virus in shrimp ponds and surrounding areas after an outbreak.** Environmental Monitoring and Assessment. 156: 69-72.
- Rahman, M.M., C.M. Escobedo-Bonilla, M. Corteel, J.J. Dantas-Lima, M. Wille, V. Alday, M.B. Pensaert, P. Sorgeloos, H.J. Nauwynck. 2006. **Effect of high water temperature (33 °C) on the clinical and virological outcome of experimental infections with white spot syndrome virus (WSSV) in specific pathogen-free (SPF) *Litopenaeus vannamei*.** Aquaculture. 252: 45-56.
- Rahman, M.M., M. Corteel, J.J. Dantas-Lima, M. Wille, V. Alday-Sanz, M.B. Pensaert, P. Sorgeloos, H.J. Hauwynck. 2007a. **Impact of daily fluctuations of optimum (27 °C) and high water temperature**

- (33°C) on *Penaeus vannamei* juveniles infected with white spot syndrome virus (WSSV). Aquaculture. 269: 107-113.
- Rahman, M.M., M. Corteel, M. Wille, V. Alday-Sanz, M.B. Pensaert, P. Sorgeloos, H.J. Nauwynck. 2007b. **The effect of raising water temperature to 33 °C in *Penaeus vannamei* juveniles at different stages of infection with white spot syndrome virus (WSSV).** Aquaculture. 272: 240-245.
- Ruiz-Fernández, A.C., F. Páez-Osuna. 2004. **Comparative Survey of the influent and effluent water quality of shrimp ponds on Mexican farms.** Water Environment Research. 76: 5-14.
- Sonnenholzner, S., J. Rodríguez, F. Perez, I. Betancourt, F. Echeverria, F. Panchana. 2002a. **Supervivencia, prevalencia del virus y respuesta inmune de camarones juveniles, *L. vannamei*, desafiados a WSSV a diferentes temperaturas.** Boletín Informativo CENAIM 48. (En línea). Disponible en: www.cenaim.espanol.edu.ec.
- Sonnenholzner, S., J. Rodríguez, J. Calderón. 2002b. **Temperatura y WSSV: Estudios prometedores del CENAIM sobre técnicas de cultivo de camarón.** Advocate (agosto): 55-57.
- Soto-Mardones, L., S.G. Marinone, A. Parés-Sierra. 1999. **Variabilidad espacio temporal de la temperatura superficial del mar del Golfo de California.** Ciencias Marinas, 25: 1-30.
- Vidal, O.M., C.B. Granja, F. Aranguren, J.A., M. Salazar. 2001. **A profound effect of hyperthermia on survival of *Litopenaeus vannamei* juveniles infected with white spot syndrome virus.** Journal of the World Aquaculture Society. 32: 364-372.
- Yan, D.C., S.L. Dong, J. Huang, J.S. Zhang. 2007. **White spot syndrome virus (WSSV) transmission from rotifer inoculum to crayfish.** Journal of Invertebrate Pathology. 94: 144-148.
- Zhang, J.S., S.L. Dong, X.L. Tian, Y.W. Dong, X.Y. Liu, D.C. Yan. 2006. **Studies on the rotifer (*Brachiurus urceus* Linnaeus, 1758) as a vector in white spot syndrome virus (WSSV) transmission.** Aquaculture. 261: 1181-1185.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue parte de un proyecto financiado por CONACYT (I0004-2006-02-60030), CONAPESCA y Comités de Sanidad Acuícola de Sinaloa, Sonora, Nayarit y Baja California Sur, que llevó por título “Consorcio para la innovación y Competitividad Acuícola”, por lo cual se agradece a todas las instituciones mencionadas.

Héctor Manuel Esparza Leal

Doctor en Ciencias en Biotecnología por el Instituto Tecnológico de Sonora, México. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, CONACYT.

Francisco Javier Magallón Barajas

Doctor en Ciencias Biológicas por la Universidad de la Habana, Cuba. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, CONACYT.

Ricardo Pérez-Enriquez

Doctorado en Genética y Reproducción de Peces por The United Graduate School of Agricultural Science, Kochi University, Japan. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, CONACyT.

Ramón Casillas-Hernández

Doctor en Ciencias Biológicas por la Universidad de la Habana, Cuba. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, CONACYT.

Julio A. Cabanillas-Ramos

Maestría en Ciencias por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Mazatlán, Sinaloa, México.

Wenceslao Valenzuela-Quiñónez¹

Doctor en Uso Manejo y Preservación de los Recursos Naturales por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, BCS, México. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, CONACyT.

Ra Ximhai

Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo
Sustentable

Ra Ximhai
Universidad Autónoma Indígena de México
ISSN: 1665-0441
México

2012

EL CULTIVO DE CAMARÓN EN AGUA DE BAJA SALINIDAD CON ALIMENTO A BASE DE HARINA DE LOMBRIZ

Wenceslao Valenzuela-Quiñónez; Héctor Manuel Esparza-Leal; Eusebio Nava-Pérez y
Gerardo Rodríguez Quiroz

Ra Ximhai, septiembre - diciembre, año/Vol. 8, Número 3
Universidad Autónoma Indígena de México
Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. pp. 131-136.



e-revist@s

EL CULTIVO DE CAMARÓN EN AGUA DE BAJA SALINIDAD CON ALIMENTO A BASE DE HARINA DE LOMBRIZ

SHRIMP AQUACULTURE IN LOW SALINITY WATER FEEDED WITH WORM FLAVOR

Wenceslao Valenzuela-Quiñónez, Héctor Manuel Esparza-Leal, Eusebio Nava-Pérez, Gerardo Rodríguez Quiroz

Profesor Investigador. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Sinaloa. Instituto Politécnico Nacional. Blvd. Juan de Dios Bátiz Paredes 250, Col. San Joachin, Guasave, Sinaloa, México. grquiroz@ipn.mx

RESUMEN

El cultivo del camarón en el estado de Sinaloa es una de las principales actividades en la región, ya que genera una gran cantidad de empleos como de divisas cada año. La alimentación del camarón es una parte esencial para tener una producción sana. Como un acercamiento inicial al crecimiento del camarón en agua de baja salinidad se probaron dos fórmulas a base de proteína animal en el alimento del camarón, con un 40% (APL1) y 20% (APL2) de proteína de lombriz, un alimento comercial y otro sin alimento suplementario. Los parámetros físico-químicos del agua no tuvieron una influencia directa en el comportamiento del camarón. Después de seis semanas de experimento, los camarones alimentados con el alimento comercial tuvieron un aumento en peso 20% más alta que aquellos alimentados con la proteína de lombriz. No hubo diferencias significativas entre tallas entre el alimento con 40% proteína y 20% proteína con respecto al alimento comercial ($P \geq 0.05$). Sin embargo, los camarones alimentados con proteína de lombriz tuvieron una mortandad menor. El uso de la proteína de lombriz es una opción para mantener densidades altas de camarón cultivados en agua de baja salinidad.

Palabras clave: *Eisenia foetida*, *Litopenaeus vannameii*, proteína de lombriz, sobrevivencia, agua de baja salinidad.

SUMMARY

Shrimp aquaculture in Sinaloa is one of the top economic enterprises, generating many jobs and earns significant incomes every year. Shrimp feed is an essential part of maintaining healthy production. In this initial approach of shrimp growth in low salinity water, were tested two formulas of animal protein composed of 40% (APL1) and 20% (APL2) worm protein, a commercial diet, and no supplementary feed. Physicochemical parameters did not have a direct influence in shrimp behavior. After six weeks of experimentation, shrimp fed with commercial diet had a weight gain 20% higher than those feed with worm protein. There were no significantly differences between sizes with respect to 40% animal protein and 20% animal protein with the commercial diet ($P \geq 0.05$). However, shrimp fed worm protein had lower mortality. The use of worm protein could be an option to maintain a high quantity of shrimp reared in low salinity waters.

Key words: *Eisenia foetida*, *Litopenaeus vannameii*, worm protein, survival, low water salinity.

INTRODUCCIÓN

La búsqueda de nuevas fuentes proteicas para la alimentación de peces y crustáceos es un campo que cada día cobra mayor interés por el alto costo que esta representa dentro de los gastos de un cultivo (García *et al.*, 1998). Investigaciones realizadas sobre requerimientos proteicos en camarones pendidos han demostrado que estos son elevados (Gaxiola *et al.*, 1996), varias de estas investigaciones estiman que el alimento de camarón debe tener un rango mayor al 60% de proteína (García y Galindo, 1990; Gaxiola, 1991). Una de las alternativas es el empleo de proteína vegetal, aunque es menos costosa presenta un bajo valor nutritivo debido a su deficiencia en aminoácidos esenciales (Swaminathan, 1967). Lo cual surge el buscar otras fuentes de proteína en otro tipo de organismos como los gusanos, en específico los anélidos.

El lombrí compostaje es un recurso biotecnológico de elevado interés ecológico y nutricional. Se emplea a la lombriz *Eisenia foetida* por su versatilidad en su velocidad de reproducción y facilidad de adaptación a todo tipo de sustrato orgánico, así como a las temperaturas extremas (Rodríguez-Quiroz, 2003). Es en sí una fuente de proteína no convencional de bajo costo (Vielma-Rondón *et al.* 2003).

Trabajos realizados con camarones, han mostrado que distintas combinaciones de proteína animal y vegetal varía con la especie del animal o vegetal utilizado (Fenucci *et al.*, 1980, Lee *et al.*, 1984, Chen *et al.*, 1985). Tomando el alto requerimiento de proteína dietética que requiere el camarón durante su cultivo, es necesario buscar mejores combinaciones de esta proteína animal y vegetal, que permitan la elaboración de un alimento de alto valor nutricional al menor costo posible (Gaxiola *et al.*, 1996). Es por eso que se pretende con este estudio, evaluar la respuesta nutricional del camarón durante la engorda de las distintas combinaciones de la proteína de lombriz mezcladas con soya, sorgo y maíz, para valorar el efecto que pueda tener en la talla, peso y sobrevivencia alimentar al camarón con esta proteína.

MATERIALES Y MÉTODOS

En laboratorio se determino el valor nutritivo de la harina de lombriz. Se realizaron las combinaciones de las formulas adecuadas para tener alimento con 40% proteína de lombriz (APL1) y 20% alimento de proteína de lombriz (APL2), por lo que se determinó el contenido de proteínas en muestras de harina de lombriz, sorgo, soya y maíz (Cuadro 1). Durante esta etapa del experimento se analizaron las cantidades de lípidos y grasas, fibras, cenizas y humedad que contienen cada uno de los insumos y se calcularon las dosis que se deben agregar para hacer el peletizado según lo establecido por las marcas comerciales, y se establecieron las formulas y se les hizo su respectivo análisis comparativo. Los resultados quedaron de la siguiente manera para su aplicación durante el experimento (Cuadro 1).

El cultivo se hizo en estanques de concreto divididos en cuatro partes. En cada una de las divisiones se pusieron 100±5 camarones para su alimentación. Se probaron las dos formulas de alimento con harina de lombriz, con alimento comercial para camarón con 40% de proteína de pescado (Ralston Purina®) y otro sin alimento. A cada uno de los tratamientos se les hicieron tres repeticiones. El experimento se llevo a cabo por ocho semanas.

Cuadro 1. Composición nutricional de los elementos y granos que se utilizaron en el alimento de los camarones. Valor dado en porciento (%).

	Proteína	Lípidos	Carbohidratos	Fibra	Cenizas
Lombriz	68.6	15	1	7	3.2
Soya	15.1	21.1	42.8	4.4	9.8
Sorgo	6.7	3.8	68.3	1.5	9
Maíz	9.6	4.7	64.2	1.5	9.4
APL1	40	12.5	28.6	4.75	6.1
APL2	20	10.7	49.2	3.1	8.4
Testigo	40	8	26	4	10
Blanco	0	0	0	0	0

Fuente: Laboratorio de análisis bromatológico CIIDIR-IPN, Unidad Sinaloa. APL: Alimento con harina de lombriz.

Se sembraron los camarones juveniles con un peso promedio de 1.73 g, y a partir de los 15 días se muestrearon por seis semanas. Se les dio concentraciones de alimento conforme al peso total semanal del camarón, iniciando con un 16% de su peso y hasta bajar gradualmente hasta terminar con el 4% de su peso a la hora de la cosecha¹. El alimento se les dio dos veces al día, siendo el 40% por la mañana y el 60% por la tarde, ya que es en esa hora del día cuando los camarones presentan

¹ Manual para la alimentación y manejo del camarón. Camaronina. PURINA-AQUALINE.

mayor actividad. Se observó la temperatura, salinidad y oxígeno. También se tomaron datos de la talla, peso y sobrevivencia de los organismos. El crecimiento de los camarones se comparó con un análisis de la desviación estándar, y se hizo una prueba de Tukey-Kramer para identificar una separación de los grupos.

RESULTADOS

Parámetros físico-químicos

La temperatura en el agua en los estanques fue constante variando de los 26° hasta los 28.2 °C durante el día con una temperatura promedio de 27°C para cada uno de los tratamientos (Cuadro 2). Las variaciones de temperatura en cada uno de los estanques se presentaron durante la época de lluvias con una ligera variación entre 0.08 °C y 0.11 °C. La variación más alta de temperatura se presentó durante la sexta semana de muestreo.

Cuadro 2. Promedio de la temperatura, oxígeno y salinidad en el agua de cultivo durante el experimento.

	APL 1	SD	APL 2	SD	Testigo	SD	Blanco	SD
Temperatura (°C)	27.18	0.55	27.24	0.44	27.18	0.44	27.36	0.42
Oxígeno (mg.L ⁻¹)	3.28	0.63	3.31	0.62	3.66	0.6	3.22	0.57
Salinidad (ups)	4.01	0.52	3.93	0.51	4.04	0.52	4.01	0.55

APL1: Alimento harina de lombriz 40%, APL2: Alimento harina de lombriz 20%.

Con respecto al oxígeno disuelto, en el Cuadro 2 se observa que la variación en el consumo de oxígeno es indistinta en cada uno de los tratamientos, aunque a partir de la segunda semana se aumentó el intercambio de agua debido al incremento de algas en el agua para controlar el consumo de oxígeno por estas en la noche. La salinidad se trató de mantener en los 4.00 g L⁻¹. Los cambios en la salinidad en cada uno de los estanques se debieron a la cantidad de agua que se perdió por filtración, sus promedios en los tratamientos durante el proceso del experimento fueron entre 3.93 ± 0.51 g L⁻¹ como mínimo y 4.04 ± 0.52 g L⁻¹ como máximo, teniendo al tratamiento APL1 como aquellos que mantuvieron la mayor estabilidad de salinidad durante todo el trabajo de investigación.

Crecimiento del camarón

Desde el principio de la corrida del experimento los camarones con alimento a base de harina de lombriz tienden a incrementar su peso, pero de una manera sobresaliente aquellos en el tratamiento APL1 (Cuadro 3), pero a partir de la semana 3 estos camarones empezaron a tener una desaceleración en la ganancia de peso. Los camarones alimentados con APL1 y APL2 mantuvieron un peso promedio similar durante todo el experimento variando en 0.2 g mas el de APL1 con respecto al los alimentados con APL2. Al final del experimento los camarones testigos tuvieron el mayor peso de los cuatro tratamientos (6.5 ± 1.56 g), y le siguieron los camarones alimentados APL1 y APL2 con 6.4 ± 1.14 y 5.86 ± 1.47 g respectivamente.

Cuadro 3. Desarrollo del camarón al final del experimento (media ± SD, n = 3).

Dieta	Peso final	Talla final	Biomasa	Sobrevivencia
	g	cm	g·m ²	%
APL1	6.04±1.14 ^a	9.1±0.72	535.1±94.10 ^a	91.0±7.55
APL2	5.86±1.47 ^{ad}	9.0±1.08	546.5±34.99 ^a	96.7±8.50
Blanco	3.91±0.89 ^{bcd}	8.1±0.77	133.1±30.80 ^c	34.7±10.12

Testigo	6.50±1.56 ^{ab}	9.5±0.99	521.2±98.93 ^b	85.0±20.22
---------	-------------------------	----------	--------------------------	------------

APL1: Alimento harina de lombriz 40%, APL2: Alimento harina de lombriz 20%.

Los camarones crecieron durante todo el experimento entre 2.1 y 2.9 cm. Siendo el testigo que presento el mejor crecimiento para llegar a los 9.5 ± 0.99 cm y el blanco con el menor desarrollo a tener 8.1 ± 0.77 cm. Los camarones alimentados con harina de lombriz tuvieron un crecimiento similar teniendo una diferencia no aparente pero si significativa al evaluarlos y determinar su desviación estándar siendo sus valores de 9.1 ± 0.72 y 9.0 ± 1.08 para el alimento APL1 y APL2, respectivamente.

Con respecto a la sobrevivencia, los camarones alimentados con APL1 y APL2 presentaron el índice de organismos vivos más alto con 91.0 y 96.7% respectivamente, y teniendo en una de las repeticiones de los camarones con APL1 una sobrevivencia del 100%, caso que no se presento en ninguno de los otros tratamientos. Los camarones en el blanco tienen la menor sobrevivencia con un promedio de 34.7 organismos por estanque.

En relación a la biomasa calculada, los camarones alimentados con APL1 y APL2 al tener una mayor sobrevivencia y un peso alto presentaron un volumen de producción de 14 g por arriba del testigo. El blanco tuvo la menor producción con 133.1 ± 30.803 g promedio en cada uno de las repeticiones en los estanques.

DISCUSIÓN

El efecto de los parámetros físico-químicos medidos en el crecimiento de los camarones para cada una de las replicas no fue determinante durante el desarrollo del camarón. El crecimiento, engorda y sobrevivencia de los camarones durante las seis semanas del experimento fue constante y de acuerdo a lo que reportan otros autores como Tomás *et al.* (2005). Por otro lado, la sobrevivencia en los camarones fue alta en los tratamientos con alimento y su diferencia fue mínima (Smith, 2005; Cho *et al.* 2005), con un promedio en los tratamientos de APL1 , APL2 y testigo de 86.7, 92.1 y 81.0 % respectivamente, siendo de esta manera mínima la mortandad de los organismos, sobre todo en el caso de los camarones alimentados con APL2 de proteína de lombriz, aunque contrario a lo que reporta Hernández (1997), donde menciona que la mayor sobrevivencia se da en los organismos alimentados con niveles altos de proteína.

Contrario a lo que reporta Hernández (1997) y Cortés-Jacinto *et al.* (2005), los camarones alimentados con concentraciones de proteína animal por arriba del 30%, tuvieron un mayor peso con respecto a aquellos en los que la calidad de proteína animal en su alimento es bajo. Como se pudo observar, el alimento por arriba del 40% de proteína como lo fue el testigo y el de APL1, los camarones tuvieron pesos de 6.2 ± 1.56 y 5.9 ± 1.14 g respectivamente, pero también los camarones con APL2 proteína, tuvieron un peso similar a estos dos anteriores con un 5.7 ± 1.47 g, al final de las seis semanas del experimento.

Las combinaciones de alimento tienen un contenido diferente de lípidos, siendo estos un factor importante en el crecimiento e incremento de peso de los camarones. Al respecto, Kim y Lee (2005), muestran que el alimento que contenga cantidades de lípidos similares o por de bajo del 10%, requiere de cantidades altas de proteína para que los camarones tengan un excelente desarrollo y crecimiento. Por su parte Millar *et al.* (2005) y Kim y Lee (2005) nos muestran que entre mayor sea la cantidad de proteínas menor deberá ser la cantidad de lípidos para que haya un mejor crecimiento de los camarones como fue lo que sucedió con los camarones testigo con respecto a su similar APL1.

El tamaño de los camarones también fue determinado por el tipo de alimento proporcionado a los camarones. Aunque no hay reportes sobre la talla en otras especies o en esta de camarón, podremos definir que al igual que en el peso la cantidad de lípidos presentes en la dieta del camarón testigo fue determinante para hacer la diferencia en el tamaño que se obtuvo de los organismos, donde la diferencia con respecto al blanco fue de 1.4 cm y con las dietas de proteína de lombriz en 0.4 y 0.5 cm para el de APL1 y APL2 respectivamente.

CONCLUSIONES

Los parámetros físico químicos sobre todo lo salinidad no fueron un factor limitante para el crecimiento y sobrevivencia de los organismos, en donde la alimentación jugó un papel importante en su crecimiento, ya que los organismos alimentados con alimento con bajas concentraciones de lípidos y alto contenido de proteína presentaron un mejor desarrollo, caso que sucedió con el testigo y el APL2, donde tuvieron un mejor peso y talla al final del experimento. Otro factor importante que se observó fue la sobrevivencia de estos organismos al final del experimento donde aquellos alimentados con proteína de lombriz tuvieron una alta sobrevivencia, el cual para la acuicultura empresarial es un indicativo de negocio al tener la mínima pérdida de organismos.

LITERATURA CITADA

- Chen, H. Y., Zein-Eldin, Z. P., Aldrich, D. 1985. **Combined effect of shrimp size and dietary protein source on the growth of *Penaeus setiferus* and *P. vannamei***. World Maricult. Soc. 16: 288-296.
- Cho, S. H., S. M. Lee, S. M. Lee y J. H. Lee. 2005. **Effect of dietary protein and lipid levels on growth and body composition of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.) reared under optimum salinity and temperature conditions**. Aquaculture Nutrition. 11; 235-240.
- Cortés-Jacinto, E., H. Villareal-Colmenares, L. E. Cruz-Suárez, R. Civera-Cerecedo, H. Nolasco-Soria and A. Hernández-Llamas. 2005. **Effect of different dietary protein and lipids levels on growth and survival of juvenile Australian red claw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (von Martens)**. Aquaculture Nutrition. 11; 283-291.
- Fenucci, J. L., Zein-Eldin, Z. P., Lawrence, A. L. 1980. **The nutritional response of two penaeid species to various levels of squid meal in prepared fed**. Proc. World Maricult. Soc. 11: 403-409.
- García, T., Galindo, J. 1990. **Requerimientos de proteína en post larvas de camarón blanco *Penaeus schmitti***. Rev. Invest. Mar. 11(3): 247-250.
- García, T.; Alfonso, E.; y Jaime, B. 1998. **Evaluación de la lombriz de tierra *Eudrilus eugenia* en la alimentación de camarones peneidos**. Avances en nutrición acuícola III. pp: 349-361.
- Gaxiola, G. 1991. **Requerimientos nutricionales en post larvas de *Penaeus schmitti*: relación proteína/energía y proteína animal/vegetal**. Cuba, Universidad de la Habana. Tesis de Maestría. 120 pp.
- Gaxiola, G.; García, T.; Jaime, B.; y González, R. 1996. **Evaluación de diferentes razones de proteína animal/vegetal en dietas para post larvas de camarón blanco *Penaeus schmitti* (Burkenroad, 1936)**. Rev. Invest. Mar. 17(1): 73-84.
- Hernández G, G. 1997. **Estudios sobre los requerimientos en proteína de juveniles del camarón café *Penaeus californiensis***. Tesis de Licenciatura. UABCS, Departamento de Biología Marina. p. 48.
- Kim, L. O. and S. M. Lee. 2005. **Effects of the dietary and lipid levels on growth and body composition of bagrid catfish, *Pseudobagrus fulvidraco***. Aquaculture. 243; 323-329.
- Lee, P., Smith, L. L., Lawrence, A. L. 1984. **Digestive proteases of *Panaeus vannamei* Boone: relationship between enzyme activity, size and diet**. Aquaculture. 42: 225-239.
- Miller, C. L., Allen D, D., Phelps, R. P. 2005. **The effect of dietary protein and lipid on growth and body composition of juvenile and sub-adult red snapper, *Lutjanus campechanus* (Poey, 1860)**. Aquaculture research. 36; 52-60.
- Rodríguez-Quiroz, G., Armenta-Bojórquez, A. D., Valenzuela-Quiñónez, W., Camacho-Báez, J. R. y Esparza-Leal, H. M. 2003. **Evaluación de sustratos orgánicos para la producción de lombricomposta con *Eisenia foetida***. Naturaleza y Desarrollo. 1: 1-9.

- Smith, D. M., S. J. Tabrett, M. C. Barclay and S. J. Irvin. 2005. **The efficacy of ingredients included in shrimp feeds to stimulates intake.** Aquaculture Nutrition. 11; 263-272.
- Swaminathan, M. 1967. **Availability of plant proteins.** In: *Newer methods of nutritional biochemistry.* A. Albanese (ed) N.Y. Acad. Press. 13, 197-241.
- Tomás, A., F. de la Gándara, A. García-Gómez, L. Pérez y M. Jover. 2005. **Utilization of soybean meal as an alternative protein source in the Mediterranean yellowtail, *Seriola dumerili*.** Aquaculture Nutrition. 11: 333-340.
- Vielma-Rondón, R.; Ovalles-Durán, J. F.; León-Leal, A.; Medina, A. 2003. **Valor nutritivo de la harina de lombriz *Eisenia foetida* como fuente de aminoácidos y su estimación cuantitativa mediante cromatografía en fase reversa (HPLC) y derivatización precolumna con o-ftalaldehído (OPA).** Ars Pharmaceutica. 44(1): 43-58.

AGRADECIMIENTOS

Rodríguez-Quiroz agradece al CECyT del Estado de Sinaloa por su apoyo económico para la realización de éste proyecto.

Wenceslao Valenzuela Quiñónez. Doctor en Uso Manejo y Preservación de los Recursos Naturales por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. Maestría en Ecología Marina por el Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE). Licenciado en Biología Pesquera por la Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Autónoma de Sinaloa.

Gerardo Rodríguez-Quiroz. Doctor en Uso Manejo y Preservación de los Recursos Naturales por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. Maestría en Administración Integral del Ambiente por el Colegio de la Frontera Norte. Lic. en Oceanología por la Facultad de Ciencias Marinas de la Universidad Autónoma de Baja California con Diplomado en Administración de los Recursos Marinos.

Héctor Manuel Esparza Leal. Doctor en Ciencias en Biotecnología por el Instituto Tecnológico de Sonora. Maestro en Ciencias por el Centro de Investigación en alimentación y Desarrollo (CIAD A.C.). Biólogo Acuacultor. Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Autónoma de Sinaloa.

Eusebio Nava Pérez. Maestría en Ciencias y Tecnología de Alimentos. Facultad de Ciencias Químico-Biológicas de la Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS). Ingeniero Bioquímico en el Instituto Tecnológico de los Mochis, Sinaloa. Profesor Investigador CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa.

Ra Ximhai

Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo
Sustentable

Ra Ximhai
Universidad Autónoma Indígena de México
ISSN: 1665-0441
México

2012

MASCULINIZACIÓN DE LA TILAPIA ROJA *OREOCHROMIS* SPP. CON EL ESTEROIDE ACETATO DE TREMBOLONA (ATB) SUMINISTRADO EN EL ALIMENTO

Apolinar Santamaría-Miranda; Jesús Humberto Heredía-Bacasegua; Juan Pablo Apún-Molina;
Martín Armando Román-Vega; Luis Daniel García-Rodríguez y
José Ángel Trigueros-Salmerón

Ra Ximhai, septiembre - diciembre, año/Vol. 8, Número 3

Universidad Autónoma Indígena de México

Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. pp. 137-142.



e-revist@s

MASCULINIZACIÓN DE LA TILAPIA ROJA *Oreochromis* spp. CON EL ESTEROIDE ACETATO DE TREMBOLONA (ATB) SUMINISTRADO EN EL ALIMENTO

MASCULINIZATION OF RED TILAPIA *Oreochromis* spp. WITH STEROID TRENBOLONE ACETATE (TBA) PROVIDED IN THE FOOD

Apolinar **Santamaría-Miranda**¹; Jesús Humberto **Heredía-Bacasegua**²; Juan Pablo **Apún-Molina**¹; Martín Armando **Román-Vega**¹; Luis Daniel **García-Rodríguez**¹ y José Ángel **Trigueros-Salmerón**

¹Profesor Investigador. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional-IPN Unidad Sinaloa, Boulevard Juan de Dios Bátiz Paredes # 250, Guasave, Sinaloa 81101, México. ²Profesor Investigador. Universidad de Occidente Campus Mochis. Ave. Gabriel Leyva No. 169 Sur, Los Mochis, Sinaloa. C. P. 81200 México. asantama@ipn.mx.

RESUMEN

El cultivo de la tilapia en nuestro país ha presentado en los últimos años un auge y diversificación importante, esto debido al déficit alimenticio tanto en nuestro país como en el resto del mundo, existen algunas alternativas para aumentar la rentabilidad de su cultivo siendo también una actividad importante en el Estado de Sinaloa, principalmente en las comunidades adyacentes a las presas y embalses de agua. En la presente investigación se presentan los resultados obtenidos en el proceso de reversión sexual de alevines de tilapia roja *Oreochromis* sp., efectuado en las instalaciones del CIIDIR-IPN, Guasave Sinaloa. En el experimento se utilizó una población total de 4000 organismos, los cuales se distribuyeron en tres estanques, tratamiento hormonal mediante su integración en el alimento (ATB) y tres controles (C), los estanques eran de concreto con una capacidad de 500 L. de agua, la hormona fue aplicada al alimento, para ser suministrada por vía oral. El porcentaje de cambio de sexo fue determinado por la técnica "Squash". En el tratamiento de suministro de alimento hormonado. Los parámetros fisicoquímicos no presentaron diferencias significativas debido a que están en los límites permitidos en el cultivo de tilapias. La supervivencia en el tratamiento de suministro de hormona fue del $89.6 \pm 2.5\%$ y el control de 78.0 ± 3.2 . En el peso final (g) en el tratamiento de aplicación de hormona fue de 0.52 ± 0.02 g y en el control fue de 0.50 ± 0.04 g. En el porcentaje de la reversión sexual el tratamiento de hormona (ATB) fue de $89.7 \pm 3.0\%$, en el control (C) fue de $57.0 \pm 2.3\%$. Esto permitió conocer que es eficaz el uso de la hormona en el alimento.

Palabras clave: *Oreochromis* spp, reversión sexual, acetato de trembolona (ATB).

SUMMARY

The tilapia culture in our country has presented in recent years a significant rise and diversification, this due to the food shortage in our country and in the rest of the world, there are some alternatives to increase the profitability of their crop and is also an activity important in the state of Sinaloa, mainly in the communities adjacent to the dams and reservoirs of water. In the present study we present the results obtained in the process of sex reversal of red tilapia fingerlings *Oreochromis* sp., held at the premises of CIIDIR-IPN, Guasave, Sinaloa. The experiment used a total population of 4000 organisms, which were distributed in three hormonal treatment ponds by integrating them into the food (ATB) and three controls (C), were concrete ponds with a capacity of 500 L. water was applied to the food hormone to be administered orally. The percent change of sex was determined by the technique "Squash". In the treatment hormonado food supply. The physicochemical parameters were not significantly different because they are within the limits allowed in growing tilapia. Survival in the treatment of hormone delivery was the result was $89.6 \pm 2.5\%$ and $78.0 \pm 3.2\%$ control. In her final weight (g) application in the treatment of hormone was 0.52 ± 0.02 g and the control was 0.50 ± 0.04 g. The percentage reversal of the sexual hormone treatment (TBA) was $89.7 \pm 3.0\%$ in the control (C) was $57.0 \pm 2.3\%$. This allowed to know which is more effective use of the hormone in the food.

Keywords: *Oreochromis* spp, sex reversal, trenbolone acetate (TBA).

INTRODUCCIÓN

La acuacultura que se realiza en México gira alrededor de pocas especies de cíclidos, las cuales son en su mayoría introducidas. Es evidente que la actividad ha tenido un desarrollo lento y poco eficiente, debido a la variedad de dificultades inherentes a la misma. Tales como deficiencias de orden técnico, ambiental, legal y financiero así como con la dependencia hacia insumos externos para su producción (Castillo, 2001). Por lo tanto, es necesario desarrollar tecnologías con el fin de optimizar la producción y suplir esta necesidad del mercado. La reversión sexual es una tecnología aplicable cuando se desean producir organismos de un sólo sexo. La manera más sencilla de crear poblaciones de un sólo sexo es la aplicación de hormonas el cual es el método utilizado normalmente en el país en la producción de crías masculinizadas.

Adicionalmente a esto, la producción de peces de un sólo sexo evita la reproducción no controlada y por consiguiente el tener productos de diferentes tamaños. El producto terminado en poblaciones de un sólo sexo son peces de tamaño uniforme (Mair *et al.*, 1997). Ha sido utilizada exitosamente en peces, incluyendo especies de tilapia. La razón es que en muchos organismos cultivados, los rasgos productivos como la tasa de crecimiento, edad de maduración, coloración, etc., difieren significativamente entre sexos (Lutz, 2001). Por ejemplo, en tilapia los peces machos tienen una tasa de crecimiento más alta que las hembras lo cual significa que es más redituable cultivar y comercializar los organismos machos. Con el objeto de asegurar tallas homogéneas en el cultivo de *Oreochromis* spp., se ha empleado la hormona androgénica 17 alfa-metil-testosterona, la cual modifica directamente las características sexuales y tiene un efecto adicional sobre las gónadas. De esta forma e independientemente de la utilización de la hormona, los individuos mantienen la segregación normal esperada de la especie en el momento de la fertilización en *Oreochromis* spp. (Castillo, 2001) y con la hormona Acetato de Trembolona en *Carassius auratus* (Marañón-Herrera *et al.*, 2008).

El tratamiento consiste en aplicar una hormona masculina para que los individuos genotípicamente hembras se conviertan en machos funcionales. En este trabajo de investigación se utilizara esta técnica para conocer los porcentajes de reversión sexual mediante la utilización de la hormona acetato de trembolona.

MATERIALES Y MÉTODOS

Fueron extraídos 4000 huevos los cuales fueron puestos en piletas de incubación con capacidad de 500 L. Al momento de la absorción del saco vitelino y a partir de la apertura de la boca del alevino, aproximadamente 15 días post-eclosión, se inicio el suministro de alimento concentrado que contenía la hormona (ATB) durante 60 días, En la preparación del alimento se utilizó el esteroide acetato de trembolona en el alimento, el cual contenía un 45% de proteína. La dosis empleada fue de 6 mg/kg de alimento, disuelta en 100 mL de alcohol etílico al 97% el cual fue incorporado al alimento por el método de evaporación de alcohol, la mezcla fue distribuida sobre una capa fina del alimento y se homogenizó vigorosamente (Guerrero, 1975). La preparación del alimento del grupo testigo se realizó con el mismo procedimiento (incluyendo el alcohol), pero sin el esteroide. Los tratamientos se conformaron en dos grupos experimentales, con y sin esteroide, cada uno con tres repeticiones. Se registró diariamente en cada uno de las pilas de eclosión la temperatura, el oxígeno disuelto (oxímetro digital YSI® con precisión de ± 0.1 °C para temperatura y ± 0.1 mg/L), el pH (potenciómetro digital Ohaus® con precisión de ± 0.1). Se realizaron evaluaciones morfométricas cada semana se evaluaron el 50% de los organismos y fue registrado el peso total con una balanza digital marca Ohaus® con capacidad de 450 ± 0.001 g. El agua de las piletas se mantuvo con aireación constante y el volumen perdido por evaporación fue recuperada en cada recambio de agua. Los desechos fisiológicos como heces y alimento no consumido fueron retirados diariamente con redes para acuario con luz de malla de 0.3 mm y con la ayuda de un sifón de manguera transparente de acuario 0.5 cm de diámetro.

Evaluación de parámetros productivos

Se tomaron biometrías, cada semana, a el 50% de los organismos de cada replica en los tratamientos y grupo control, para hacer las mediciones de peso (g). La toma de datos se llevo a cabo hasta los dos meses de edad. Para establecer la efectividad de cada uno de los tratamientos sobre el desarrollo gonadal de los organismos estos fueron sacrificados, al final del experimento, el 50% de ellos para realizar la técnica de squash, el cual consiste en aplicar una fuerte presión sobre las gónadas a las que previamente se les realizó una tinción con azul de metileno, puestas en un portaobjetos para observar la morfología del tejido con un microscopio, para determinar tejido uniforme sin células redondeadas visible correspondía a un macho, si se observaban, células grandes, redondas y si todo el tejido

presentaba oogonias correspondía a una hembra. Los datos fueron registrados en una hoja de cálculo Microsoft Excel procesados en el programa statistic versión 7.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros fisicoquímicos

El uso de compresores de aire para la inyección de oxígeno no fue un problema en el desarrollo del cultivo, exceptuando el inicio del experimento, cuando se presentaron ciertos problemas técnicos que fueron solucionados a la brevedad. Las concentraciones de oxígeno disuelto se presentaron entre 8.0 ± 0.5 y 8.5 ± 0.5 mg/L, La temperatura entre 26.0 ± 0.2 y 27.0 ± 0.3 °C, el pH entre 7.0 ± 0.5 y 7.5 ± 0.5 (Cuadro 1). Estos parámetros se consideran óptimos para el desarrollo adecuado de alevines de tilapia (ALICORP, 2004). En cuanto a la temperatura esta se mantuvo dentro de los 26.0 ± 0.2 °C y 26.5 ± 0.5 °C, intervalo que se encuentra dentro del óptimo para la especie (Bocek *et al.*, 1991; ALICORP, 2004). El pH es un factor variable que se ve directamente influenciado por la concentración de carbonatos (CO_3), bicarbonatos (HCO_3) y dióxido de carbono (CO_2). El intervalo de pH adecuado para tilapia es de 7.0 ± 0.5 a 7.5 ± 0.3 (Timmons *et al.*, 2002). En lo que respecta al presente experimento los valores de pH se encontraron dentro de los valores óptimos registrados de 7.30 a 7.70, lo cual implica la ausencia de problemas en el desarrollo.

Cuadro 1. Parámetros fisicoquímicos durante los 30 días de muestreo.

Parámetros	Estanque 1	Estanque 2	Estanque 3	Control
Oxígeno Disuelto	$8.5 \pm 0.5a$	$8.0 \pm 0.5a$	$8.2 \pm 0.5a$	$8.5 \pm 0.5a$
Temperatura	$26.3 \pm 0.3a$	$26.5 \pm 0.5a$	$27.0 \pm 0.3a$	$26.0 \pm 0.2a$
pH	$7.4 \pm 0.5a$	7.0 ± 0.5^a	$7.5 \pm 0.3a$	$7.5 \pm 0.2a$

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes, según MDS $P < 0.05$

Supervivencia

En el Cuadro 2 se presenta la cantidad de organismos observados y el porcentaje de cada sexo, identificados a través de la técnica de squash. En el análisis de supervivencia final se observaron los resultados esperados al obtener en el tratamiento con hormona 89.6 ± 2.5 %, en el control esta supervivencia fue de 78.0 ± 3.2 %. En cuanto a la sobrevivencia, en los dos grupos fue baja comparada con la esperada para la especie (80%) y se encontró que el tratamiento hormonal no afectó la sobrevivencia.

Cuadro 2. Supervivencia de alevines hormonados.

Parámetro	Tratamiento	Control
Supervivencia final (%)	$89.6 \pm 2.5a$	$78.0 \pm 3.2b$
Peso final (gr)	$0.52 \pm 0.02a$	$0.50 \pm 0.04a$

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes, según MDS $P < 0.05$

En estudios previos obtuvieron una sobrevivencia menor en el grupo tratado con hormona; sin embargo, en ambos casos el valor fue muy similar (sin descender del 95%), indicando que la hormona utilizada bajo las condiciones de ese estudio no afectó la sobrevivencia de las truchas. En tilapia roja se observaron valores de sobrevivencia similares entre el grupo tratado y el control de más del 75% reportado para la especie durante los tres primeros meses de vida (López *et al.*, 2007). Para este trabajo la sobrevivencia de los alevines sometidos al tratamiento de inmersión también fue levemente superior a la de los alevines del tratamiento de reversión por alimento. El mayor porcentaje de reversión fue obtenido suministrado la hormona con el alimento, pero en este trabajo resultó mucho más costoso producirlo, por lo tanto, para aprovechar los bajos costos por el tratamiento por inmersión se sugiere modificar los momentos de exposición a la hormona.

Crecimiento

En el peso final éste fue mayor en los organismos del tratamiento hormonal con 0.52 ± 0.02 g, y en el control de 0.50 ± 0.04 g. En el porcentaje de reversión sexual hormona (ATB) de 1000 organismos muestreados se obtuvo un total de 897 ± 3.0 y de hembras 103 ± 0.3 , siendo dicha reversión eficaz, dado que esta reversión en porcentaje equivale al $89.7 \pm 3.0\%$, en cuanto al control se obtuvieron 570 ± 2.3 macho y 430 ± 2.3 en el cual la reversión natural fue $57.0 \pm 2.3\%$ (Cuadro 3). Se observan los resultados estadísticos para los pesos para el tratamiento y el control. En la Fig. 1 se observa un alevín de tilapia hembra a los 30 días y en la Fig. 2, se observa a un alevín de tilapia macho a los 30 días de nacida.



Figura 1.- Gónada de alevín ♀, de 30 días.



Figura 2. Gónada de alevín ♂, de 30 días.

Cuadro 3. Porcentaje de reversión sexual en alevines de tilapia después de 30 días de crecimiento.

Tratamiento	Número de organismos	Machos	Hembras	Reversión (%)
Hormona ATB	1000	897 ± 3.0	103 ± 0.3	89.7 ± 3.0
Control	1000	570 ± 2.3	430 ± 2.3	57.0 ± 2.3

El crecimiento en el control fue menor comparado con el tratamiento hormonal, sugiriendo que existió una relación positiva de la hormona sobre el crecimiento. Para la tilapia roja (*Oreochromis* spp.). El tratamiento hormonal con andrógenos se ha venido utilizando en tilapia (*Oreochromis* sp.) para obtener lotes solo hembras (monosexo). Se han utilizado diferentes dosis en alimento suministradas en las

primeras etapas de la vida del pez, buscando la reversión. Con los resultados encontrados se pudo observar que hubo reversión sexual de células gaméticas en los tratamientos con hormonas respecto al control.

La reversión se dio en un porcentaje alto, comparado con los resultados esperados basados en estudios anteriores y se sugiere que probablemente se deba a que la dosis utilizada en este trabajo fue el punto para obtener una buena reversión. La dosis de hormona se utilizó bajo un protocolo de preparación diferente al que había dado buenos porcentajes de reversión. Teniendo en cuenta la dosis utilizada, en el alimento garantiza la incorporación y homogenización de todo el concentrado con la hormona, llevando así a que todos los peces puedan tener igual contacto con la hormona durante el consumo.

En una investigación realizada en Chile, dosis de 1,0 y 0,5 mg/kg de alimento produjeron buenos porcentajes de neomachos (80%). Las dosis administradas oralmente de 250mg/kg de alimento ofrecida durante 60 a 90 días a partir del inicio de alimentación exógena produjo un 95% de masculinización en lotes 100% hembras. La dosis utilizadas para la aplicación de la hormona en tratamientos con el alimento había sido de 3 mg/kg alimento con una reversión del 90%. Se utilizó la misma dosis con un 57% de las hembras masculinizadas, 27% presentaron gónadas atrofiadas y 16% no fueron afectadas por el tratamiento (Mair *et al.*, 1997).

El uso de agentes masculinizantes ha sido reportado para acelerar el crecimiento de los peces (Lone and Matty, 1980; Marañón-Herrera *et al.*, 1999). En estudios sobre utilización de anabólicos, Lone and Matty (1980) reportaron un incremento significativo en la tasa de crecimiento de *Cyprinus carpio*, de 30 días de edad, tratados durante 90 días con 17α -MT a dosis entre 2.5 a 5 mg/kg de alimento; Manzoor and Satyanarayana (1989) emplearon *C. carpio* tratada con 17α -MT, donde utilizaron peces de un día de edad con tratamientos cortos de 30 días y altas concentraciones, de 300 y 400 mg/kg, de alimento. Después de 365 días, los resultados indicaron que los peces tratados crecieron mucho mejor que los peces del testigo con una ganancia de biomasa de entre el 40.6 y 46.9%. De esa manera los organismos invirtieron energía en el crecimiento y no en la maduración de las gónadas, que ocupan entre el 25 y 35% del peso total de la carpa.

La aplicación del ATB a una concentración de 300 mg/kg de alimento en juveniles de la carpa dorada de 60 días de edad fue exitosa, considerando que no causó daño a los peces tratados y funcionó como un eficiente agente anabólico, ya que al finalizar el período experimental los valores de supervivencia fueron del 100% (Marañón-Herrera, *et al.*, 2008).

CONCLUSIONES

La aplicación del acetato de trembolona en la tilapia es una alternativa en el manejo de técnicas para mejorar el cultivo sobre el proceso productivo de una granja comercial, donde el alimento es el concepto más caro en el costo de operación de la unidad de producción. De lo anterior, se deduce la importancia en el porcentaje de efectividad de la reversión hormonal observada en éste experimento.

LITERATURA CITADA

- ALICORP, S. A. 2004. **Manual de crianza de tilapias**. (En línea). Disponible en: www.alicorp.com.pe.
- Bocek, A. J., R. P. Phelps and T. J. Popma. 1991. **Effect of feeding frequency on sex reversal and growth of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus***. Journal of Applied Aquaculture. 1:97-103.
- Castillo Campo, L. F. 2001. **Tilapia roja una evolución de 20 años, de la incertidumbre al éxito doce años después**. Cali, Valle, Colombia. (En línea). Disponible en: www.todomaiz.com/acquapia/
- Guerrero, R. 1975. **Use of androgens for the production of all-male tilapia aurea (Steindachner)**. Transaction of the American Fisheries Society. 2: 342-348.

- Lone, K., Matty A. 1980. **The effect of feeding methyltestosterone on the growth and body composition of common carp (*Cyprinus carpio* L.)**. General Comparative Endocrinology. 40: 409-424.
- López, C. A., Botero M. C., Carbajal D. L. 2007. **Masculinización de tilapia roja (*Oreochromis* spp.) por inmersión utilizando 17 α metil testosterona**. Rev. Col. Cienc. Pec. 20:318-326.
- Lutz, C.G. 2001. **Practical genetics for aquaculture**. Fishing News Books, Blackwell Science, Oxford, U.K. November 2001. 256 p.
- Mair, G. C., Abucay J. S., Skibinski D. O. F., Abella T. A., Beardmore J. A. 1997. **Genetic manipulation of sex ratio for the large scale production of all-male tilapia *Oreochromis niloticus* L.** Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 54(2): 396-404.
- Manzoor, P., Satya G., Naraya N. A. 1989. **Growth improvement in carp, *Cyprinus carpio* (Linnaeus), sterilized with 17 α -methyltestosterone**. Aquaculture. 76:157-167.
- Marañón Herrera, S., Maya E., Salgado H. 1999. **Masculinización de *Xiphophorus helleri* (Pisces: Poeciliidae) inducida por los esteroides norgestrel y androstenediona**. Hidrobiológica. 9(1): 31-38.
- Marañón Herrera, S., V. Tijera Demesa, H. Salgado Zamora y E. Maya Peña. 2008. **Efecto del anabólico acetato de trembolona sobre el crecimiento de *Carassius auratus* (Pisces: Cyprinidae)**. Hidrobiológica. 18 (1): 41-50.
- Menéndez, L. 1985. **Evaluación del cultivo de *Carassius auratus* y su rentabilidad en el criadero de producción ejidal en Atlacomulco, Morelos**. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Metropolitana, México, D. F. 82 p.
- Timmons, M. B., Ebeling J. M., Wheaton F. W., Summerfelt S. T., Vinci B. J. 2002. **Recirculating aquaculture systems. 2nd Ed., Northeastern regional aquaculture** Center, Cayuga Aquaculture Ventures, LLC Ithaca, NY. 650 p.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología de Sinaloa por los apoyos otorgados a través de los proyectos “Optimización del cultivo de tilapia roja *Oreochromis mozambicus* durante la etapa de larva y juvenil” y del proyecto SIP-IPN “Análisis del cultivo de tilapia *Oreochromis* sp utilizando bacilos nativos con potencial probiótico”.

Apolinar Santamaría Miranda

Profesora Investigador Titular C del IPN-CIIDIR, Unidad Sinaloa. Realiza investigación en biotecnología del cultivo de peces marinos y dulceacuícolas.

Jesús Humberto Heredia Bacasegua

Alumno de la licenciatura de Biología de la Universidad de Occidente, Campus Los Mochis.

Juan Pablo Apún Molina

Profesor Investigador Titular B del IPN-CIIDIR, Unidad Sinaloa. Realiza investigación en biotecnología de cultivos acuícolas.

Martín Armando Román Vega

Alumno de la maestría en Recursos Naturales y Medio Ambiente del IPN-CIIDIR, Unidad Sinaloa.

Luis Daniel García Rodríguez

Profesor asociado del IPN-CIIDIR, Unidad Sinaloa.

José Ángel Trigueros-Salmerón

Profesor-Investigador de la Universidad de Occidente, Campus Los Mochis. Realiza Investigación en Biología y ecología de peces.

Ra Ximhai

Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo
Sustentable

Ra Ximhai
Universidad Autónoma Indígena de México
ISSN: 1665-0441
México

2012

DISEÑO Y APLICACIÓN DE UN EQUIPO PARA EL MONITOREO DE LA SALINIDAD EN EL SUBSUELO

Mariano Norzagaray-Campos; Patricia Muñoz-Sevilla y Cipriano García-Gutiérrez

Ra Ximhai, septiembre - diciembre, año/Vol. 8, Número 3

Universidad Autónoma Indígena de México

Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. pp. 143-147.



e-revist@s

DISEÑO Y APLICACIÓN DE UN EQUIPO PARA EL MONITOREO DE LA SALINIDAD EN EL SUBSUELO

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF EQUIPMENT FOR MONITORING THE SALINITY IN THE SUBSOIL

Mariano Norzagaray-Campos¹; Patricia Muñoz-Sevilla² y Cipriano García-Gutiérrez¹

¹Profesor Investigador. CIIDIR-COFAA IPN-SINALOA. Boulevard Juan de Dios Bátiz Paredes #250, Guasave, Sinaloa. Teléfonos: 687 8729625 y 8729626. Ext. 87615. mailto: mnorzacam@yahoo.com.mx. ²Profesor Investigador. CIEMAD-IPN-México. Calle 30 de Junio de 1520 s/n, Barrio la Laguna Ticomán C.P. 07340 Del. Gustavo A. Madero México, D.F. Tel. 57 29 60 00 Ext. 52711 y 52735.

RESUMEN

Los equipos de exploración geoquímica que permiten conocer los contaminantes y estructuras geológicas del subsuelo provienen del extranjero, son costosos y en ocasiones las piezas para reemplazo no están disponibles en el mercado, por lo que es necesario desarrollar equipos que satisfagan estas necesidades. Para el monitoreo de las variaciones de la salinidad existen algunos equipos semiautomáticos, pero son de difícil manejo. Sin embargo, para el estudio indirecto de la salinidad del subsuelo no existen equipos. En este trabajo se diseñó un equipo para realizar las mediciones de la resistividad aparente del subsuelo, mismas que permitieron conocer la salinidad del subsuelo y la detección de algún contaminante en las aguas subterráneas. Para su construcción se seleccionó un diseño de puesta a tierra con aditamentos electrónicos que se unieron para aplicar al subsuelo corriente eléctrica continua (CD) mediante un arreglo dipolo-dipolo y un sondeo eléctrico vertical, con electrodos de latón y de acero inoxidable. En la puesta a tierra los electrodos fueron colocados en línea equidistante entre los detectores del potencial y los de corriente. Se utilizó un factor geométrico (K) que depende de la distancia electrónica y la corriente eléctrica directa (I) inyectada por los electrodos A y B, para medir la diferencia de potencial entre los electrodos M y N; se logró calcular la resistividad punto a punto para obtener en conjunto una tomografía geoelectrica del subsuelo. El equipo se calibró con errores muy pequeños ($rms < 2\%$) respecto a curvas obtenidas en equipos comerciales similares. Se construyó un aparato automático para determinar la salinidad del subsuelo, y se probó en la zona de las microcuencas de Texcoco, Estado de México, logrando definir la geometría del medio formado por sedimentos aluviales o lacustres provenientes de rocas ígneas (andesitas, riolitas y tobas vítreas o "tepetates") que por su composición mineralógica permitió a las variaciones laterales de la resistividad asociarlas con los elementos traza que se desprenden dentro del acuífero libre: Cd, Cu, Cr, Co, Ni, Pb o Zn, entre otros. Este método constituye un avance en los estudios de impacto ambiental, sobre todo para el monitoreo de subsuelos de sitios en vías de recuperación.

Palabras clave: Acuífero, equipo, subsuelo, resistividad, remediación, aguas subterráneas.

SUMMARY

Geochemical exploration equipments to explore the contaminants and structures geological in the subsoil come from abroad are expensive and sometimes parts for replacement are not available in the market. So it is necessary design apparatus that meet cover these needs. To the monitoring of variations in salinity there is semi-automatic equipment, but it always has difficult to manage. However, is not equipment for the indirect study of salinity in the subsoil. In this work was design equipment for measurement the apparent resistivity in the subsoil, at same time allow know the salinity, as well as the detection of any pollutant in groundwater. For make it, was selected a design of earthing systems, with electronic hardware which were jointed for apply to subsoil a direct current (DC) through an array dipole-dipole and vertical electric sounding, with brass and stainless steel electrodes. In the earthing systems the electrodes were collocated in the equidistant line between the detectors of potential and current. A geometric factor (K), that depend on the electrodes distance and direct current (I) injected in the electrodes A and B, was used for measure the potential difference between the electrodes M and N; after was calculate the resistivity point to point for obtain a subsoil tomography geoelectrical. The equipment was calibrated with minimum error ($rms < 2\%$) whit respect to curves obtained in similar commercial equipment. On this situation, in this work was modernized and automated an equipment to determine the salinity of the subsoil. The instrument was tasted in the micro basin Texcoco, State of Mexico, to define the environment geometry formed by alluvial or lake sediments from igneous rocks (andesites, rhyolites and tuffs vitreous or "tepetates") which by its mineralogical composition allowed to the lateral resistivity be associate with free components trace from the aquifer: Cd, Cu, Cr, Co, Ni, Pb or Zn and others. This method constitutes an advance in studies of environmental impact, especially for the monitoring of sites where the subsoil are in process of recovery.

Key words: Aquifer, equipment, subsoil, resistivity, remediation, groundwater.

INTRODUCCION

Según Telford *et al.* (1990) y Sánchez (2004), la localización de los recursos naturales y estructuras geológicas inmersas en el subsuelo se puede realizar con técnicas geofísicas basadas en la medición de las variaciones de sus propiedades físicas. En nuestro país, un fenómeno que altera la calidad del agua en los acuíferos costeros es la intrusión salina provocada por el agua salada (procedente del mar) cuando fluye hacia el subsuelo continental mezclándose con las reservas de agua dulce. Este

proceso se debe a la mayor densidad del agua del mar, ya que contiene más solutos con respecto a la del agua dulce; lo cual provoca que la presión en el fondo de una columna de agua salada sea mayor que la de una columna de agua dulce de la misma altura (Calvache y Bosh, 2003).

Cuando llegan a conectarse ambas columnas de agua con una perforación, inmediatamente el agua salada fluiría hacia la columna de agua dulce contaminando el pozo, debido a que la disolución solo se detiene cuando la columna de agua dulce es mayor, provocando que la presión aumente y en consecuencia la concentración sea igual a la del agua de mar, inundando así al acuífero de agua salada y con ello haciendo muy difícil su recuperación. Posh (1999) señala que para evitar que el agua dulce llegue al agua salada se debe definir la profundidad a la que se encuentra la interfase salobre y para ello de manera indirecta se calcula la profundidad que tiene la resistividad de los materiales en el subsuelo o el inverso de ésta, también conocida como conductividad. Esta profundidad y magnitud de la resistividad del subsuelo se mide con técnicas geofísicas eléctricas y electromagnéticas. Algunas de estas técnicas son más modernas y más precisas, pero la interpretación de los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV's) y las tomografías geoeléctricas (TGe's) siguen siendo las más importantes por ser herramientas ampliamente utilizadas por su sencillez y relativa economía. El SEV sirve para obtener un perfil de la variación vertical de la resistividad considerando que el suelo está compuesto por minerales que pueden, según el paso de la corriente, considerarse como resistivos y conductores.

Según Orellana *et al.* (1995) y Boyd (1996) cuando se utiliza el método de resistividad en prospección geofísica, se introduce una corriente eléctrica que puede ser continua o alterna de baja frecuencia en el terreno; esto se realiza por medio de un par de electrodos que mide la diferencia de potencial entre otro par de electrodos dispuestos en una configuración ya establecida, dando como resultado un perfil del terreno (SEV's) o las variaciones de la resistividad en la lateral (TGe's).

Para realizar esta determinación en campo, la mayoría de los equipos son de procedencia extranjera y en México son muy pocas las investigaciones al respecto; por mencionar una, la del CIIDIR-Oaxaca del Instituto Politécnico Nacional donde se realizó un aparato que realiza la medición de la resistividad (Sepúlveda, 2009); el cual es un buen equipo, pero es voluminoso y poco automatizado; y solo trabaja hasta 110 VDC, por lo que el objetivo de este trabajo fue; el diseño y aplicación de un equipo de bajo costo para el monitoreo indirecto de contaminantes geoquímicos en el subsuelo.

El diseño del equipo se realizó debido a que los aparatos utilizados en las exploraciones geoquímicas del subsuelo provienen del extranjero, son costosos, delicados y si se descomponen las piezas para repararlos no se encuentran en el mercado.

Por esta razón es necesario el desarrollo de tecnología propia que satisfagan las necesidades de este tipo de investigaciones. La metodología para el estudio de las propiedades de los materiales en el subsuelo es típica en la localización del petróleo, aguas subterráneas y minerales. Los intentos por construir aparatos eficientes deben evitar que sean voluminosos, semiautomáticos con la finalidad de satisfacer algunas de las necesidades que otros equipos no tenían; en este trabajo se diseñó, modernizó y automatizó un equipo de mejor funcionamiento para realizar las mediciones geoeléctricas que permitan obtener pseudosecciones de la resistividad aparente del subsuelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se diseñó un equipo para mediciones geoeléctricas que funciona mediante una pila recargable de 12 VCD que eleva mediante un circuito electrónico el voltaje hasta 157 V y 278 VCD, necesarios para energizar al subsuelo y obtener la corriente inyectada y el potencial inducido a distancias horizontales por arriba de los 500 m de profundidad. El equipo permite elegir la polaridad de la corriente inyectada; esto con el fin de eliminar las dos fuentes principales de ruido: la polarización de electrodos y las corrientes telúricas.

En el mercado nacional se compro un amperímetro (6 A) y un voltímetro (3 V), un botón de encendido, distintas resistencias variables y fijas, un transformador de 12 VCD a 110 VAC, un transformador de 110 VAC a 220 VAC, perillas de baquelita que se usaron en los dos selectores de funciones; botón para energizar y botón que alimenta el voltaje, diversos conectores, cable de distintas medidas, condensadores de 470 μF para 250 VAC, diodos leed, conectores hembra y macho, interruptores, entre otros. Todos los materiales en base al diseño de la Fig. 1. Para ponerlos en operación se unieron las partes sobre una tabla de madera por ser aislante y evitar posibles cortos eléctricos. Una vez montados los circuitos se procedió al diseño de la presentación comercial, la cual se hizo con el programa Corell Draw versión X4 (2008) y se imprimió sobre un papel especial, contra el agua y el sol, ya que el aparato comúnmente trabaja a la intemperie.

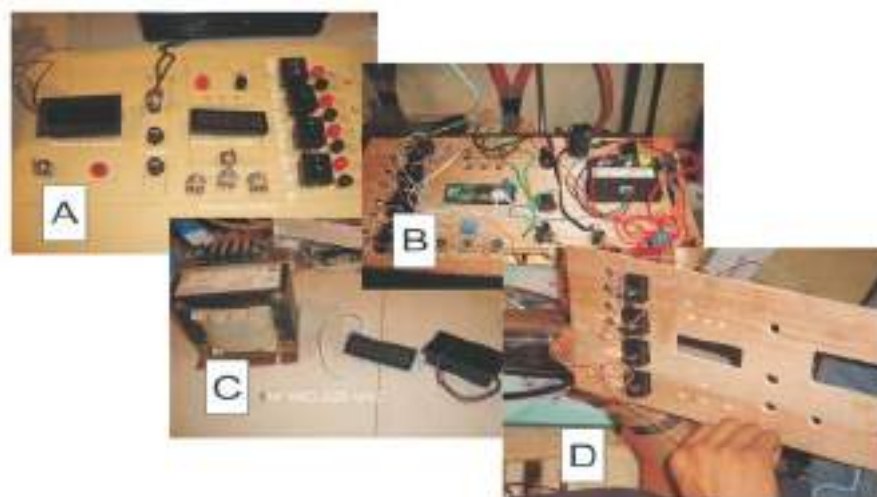


Figura 1. Pasos del armado del equipo de resistividad: A) diseño previo del equipo antes de conjuntar todos los dispositivos electroditos, B) unión de todos los dispositivos electroditos, C) convertidor de corriente 110 VAC a 220 VAC, y madera donde se montaron todos los aditamentos electrónicos.

Debido a la sensibilidad de los aparatos de medición de la corriente y el voltaje, se colocaron en la parte lateral derecha cuatro salidas que provienen de la estructura interna del aparato para medir la corriente y el voltaje con un multímetro convencional, previendo así cualquier falla en campo. Para ponerse a prueba, el equipo operó en las microcuencas de Texcoco, Estado de México mediante una TGe y un SEV cerca del río Papalotla, en el Municipio de Tezoyuca. Los resultados fueron comparados con un equipo comercial de procedencia extranjera. Para validar su funcionamiento se compararon las curvas obtenidas entre los dos equipos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se construyo un equipo útil en investigación que permite una exploración profunda del subsuelo, manejando grandes cantidades de energía, con aplicación en diferentes ramas del conocimiento. Su validación en campo dio la certeza de su funcionalidad para el uso propuesto, ya que al comparar la curva de resistividad aparente obtenida con este aparato y la resistividad del aparato comercial se manifestó una diferencia de un rms $<2\%$.

El equipo terminado se presenta en la Fig. 2, en la que se puede observar que es un equipo portátil, de buen diseño y pequeño (36x18x15-19cm). El tablero frontal tiene un ángulo de 25 grados que permite al observador mejor comodidad al hacer las lecturas en campo. Se aprecia también que es un equipo funcional, automático y moderno, útil, para su uso en trabajos de investigación. Además se evito comprar un aparato en el extranjero a costo elevado; y en caso de falla del aparato la reparación es en nuestro laboratorio a precio económico.



Figura 2. Equipo terminado, A) muestra las salidas para las lecturas de la corriente, B) la salida para la lectura de la diferencia de potencial y C) las salidas alternativas en caso de falla en campo de los lectores de corriente y diferencia de potencial.

En México este equipo constituye un avance en los estudios de impacto ambiental; por citar un ejemplo, en el monitoreo de sitios en vías de recuperación donde se aplica un método de remediación. Con este equipo todo sitio puede ser monitoreado en el espacio y tiempo con más facilidad que los métodos tradicionales.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

De los resultados de su aplicación en una de las microcuencas de Texcoco, Estado de México, donde se puso a prueba el aparato para su validar su funcionalidad, se logro definir la geometría del medio formada por sedimentos aluviales o lacustres provenientes de rocas ígneas (andesitas, riolitas y tobas vítricas o tepetates) que por su composición mineralógica fácilmente alterables, permitió observar las variaciones laterales de la resistividad y asociarlas con los elementos traza producidos por la contaminación antropogénica y que se desprenden dentro del acuífero libre: *Cd*, *Cu*, *Cr*, *Co*, *Ni*, *Pb* o *Zn*.

Por el resultado de la pseudosección (Fig. 3) de la microcuenca antes mencionada, elaborada a través de la interpolación de los datos de campo (Emery, 2007) en el programa SURFER 9.0 y DIP.for y Fortan 8.0., se logro calcular la distancia de cobertura y profundidad de la TGe. De igual manera para los SEV's realizados en campo, con lo que quedo demostrada la funcionalidad y efectividad de este equipo para monitorear la salinidad del subsuelo. Este método constituye un avance en los estudios de impacto ambiental, sobre todo para el monitoreo de subsuelos de sitios en vías de recuperación.

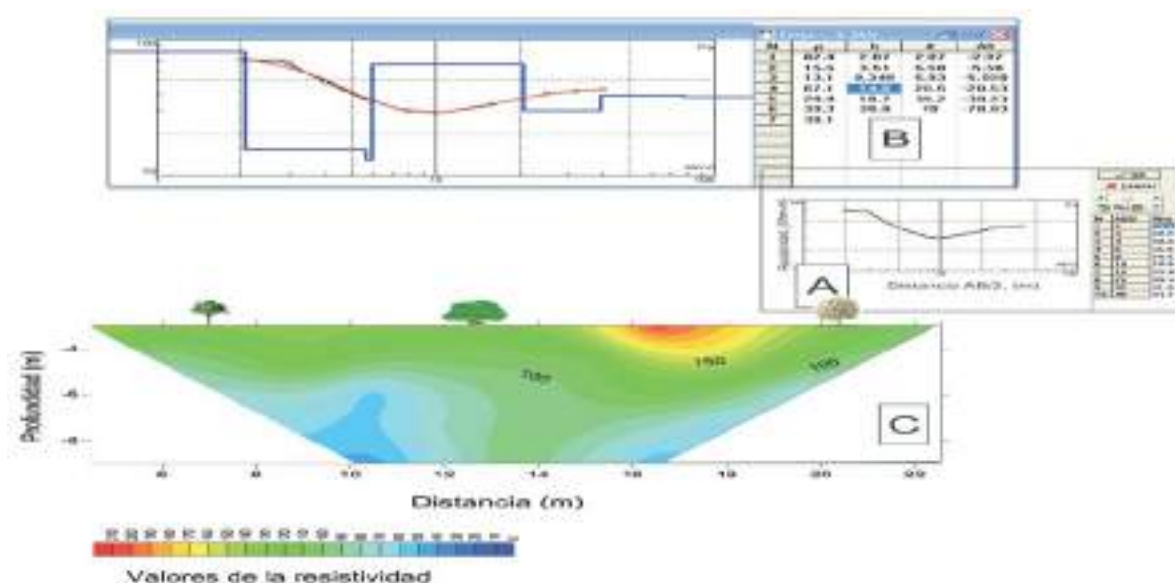


Figura 3. A) Curva de datos de campo para la resistividad aparente de un perfil SEV-Schlumberger, B) tomografía geoelectrica Wenner y C) modelo calculado para la curva de resistividad aparente en una de las macrocuencas de Texcoco, Estado de México.

LITERATURA CITADA

- Boyd, T. 1996. **Introduction to geophysical exploration.** (En línea). Disponible en: http://galitzin.mines.edu/INTROGP/main_template.jsp?menu=res_menu.html&page=DC%20Resistivity%3A%20Home&url=RES%2Fmain.html
- Calvache, P. M. and Bosch A. 2003. **Saltwater intrusion into a small coastal aquifer (Río Verde, Almuñecar), southern Spain.** Journal of Hydrology. 129 (4):1945-213.
- Emery, X. 2007. **Conditioning simulations of Gaussian random fields by ordinary kriging.** Mathematical Geology. 39(6): 607-623.
- Orellana, E., Higuera M., Merchán F. 1995. **La interpretación automática (por medio de ordenador) en la prospección geofísica.** Caso de refracción sísmica y de SEV. Física de la Tierra no. 7. pp. 33-51.
- Poch, M. 1999. **Las calidades del agua.** Cuadernos del medio ambiente. Rubes Editorial. Barcelona. 256 pp.
- Sánchez, F. 2004. **Prospección geofísica: Sondeos eléctricos verticales.** Departamento de Geología. Universidad de Salamanca España. (En línea). Disponible en: <http://web.usal.es>
- Sepúlveda, E. E. 2009. **Diseño de un resistivímetro de corriente directa para realizar estudios geoelectricos en los valles centrales.** Tesis Maestría. CIIDIR-IPN-Sinaloa. Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. 188 p.
- Telford W., Geldart L., Sheriff R. 1990. **Applied Geophysics.** (2nd. Ed.) Cambridge University Press. 672 pp.

Mariano Norzagaray Campos

Doctor en Ciencias Marinas y Dr. en Geohidrología con especialidad en Contaminación Costera y Geohidrología. Miembro del sistema Nacional de Investigadores y miembro honorífico del Sistema Sinaloense de Investigadores. Profesor Investigador Titular del CIIDIR-IPN-Sinaloa.

Patricia Muñoz Sevilla

Doctora en Ciencias con especialidad en Oceanografía Biológica. Profesor Titular. Actualmente Directora del CIEMAD-IPN-México.

Cipriano García Gutiérrez

Licenciatura en Biología por el Instituto Politécnico Nacional y Maestría en Ciencia en Entomología y Acarología por el Colegio de Posgraduados. Doctor en Ciencias en Ingeniería Bioquímica con especialidad en Biotecnología. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel II y miembro honorífico del Sistema Sinaloense de Investigadores. Profesor Investigador Titular en el Dpto. de Biotecnología Agrícola del CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa.