



Producción, postproducción y agrotecnias de semillas, hortalizas y frutas. *Coadyuvantes en la seguridad alimentaria en México y Cuba*

Teresa de Jesús Reyna Trujillo,
Michely Vega León
y Mirian Gordillo Orduño
(Coordinadoras)



Producción, postproducción y agrotecnias de semillas, hortalizas y frutas. Coadyuvantes en la seguridad alimentaria en México y Cuba

D.R. © 2016 Universidad Nacional Autónoma de México
Instituto de Geografía,
Ciudad Universitaria,
Coyoacán, 04510,
México, D. F.
www.igeograf.unam.mx

ISBN: 978-607-02-8595-0
DOI: <http://dx.doi.org/10.14350/gd.02>

Teresa de Jesús Reyna Trujillo,
Michely Vega León
y Mirian Gordillo Orduño
(Coordinadoras)

Contenido

Introducción.....	5
Capítulo 1. El derecho a la propiedad intelectual y la semilla. Una aproximación al análisis.....	8
<i>María del Carmen del Valle Rivera</i>	
Capítulo 2. Los frijoles (<i>Phaseolus</i> spp.) en México Producción y seguridad alimentaria.....	25
<i>Francisco Alberto Basurto Peña</i>	
Capítulo 3. Producción y postproducción de frijolen Cuba.....	43
<i>Michely Vega León, Nelson León Nicolau y Juan José García Rodríguez</i>	
Capítulo 4. Producción y postproducción de arroz (<i>Oriza sativa</i> L.) en México y la importancia en la seguridad alimentaria.....	66
<i>Leticia Tavitas Fuentes, Leonardo Hernández Aragón y Teresa de Jesús Reyna Trujillo</i>	
Capítulo 5. Sistemas de información geográfica y percepción remota en las actividades agrícolas.....	91
<i>Rebeca Granados Ramírez y Gabriela Gómez Rodríguez</i>	
Capítulo 6. Manejo del agua y nutrición del cultivo de brócoli (<i>Brassica oleracea</i>).....	103
<i>Marco Antonio Vuelvas Cisneros y José Gonzalo Díaz de León Tobías</i>	
Capítulo 7. Sostenibilidad de los suelos en diferentes ecosistemas de Cuba y México.....	120
<i>Norma Eugenia García Calderón Alberto Hernández Jiménez y Marisol Morales Díaz</i>	

Capítulo 8. Manejo integrado de la fertilización.....	142
<i>Bernardo Dibut Álvarez</i>	
Capítulo 9. ¿Es posible una producción segura de alimentos en suelos contaminados?.....	169
<i>Claudia Ponce de León Hill,</i> <i>María del Pilar Fernández Lomelín y Silke Cram Heydrich</i>	
Capítulo 10. Transición del manejo de plagas y enfermedades sobre bases agroecológicas.....	188
<i>Luis L. Vázquez Moreno</i>	
Capítulo 11. Diversidad de chile (<i>Capsicum</i> spp.) en México y su colocación en mercados nacionales e internacionales.....	210
<i>Teresa de Jesús Reyna Trujillo y Sonia García Barragán</i>	
Capítulo 12. Experiencias en la producción de hortalizas en la Ciudad de México.....	231
<i>Marisol Morales Díaz, Jorge Luis Pozo,</i> <i>María Benítez Alzola y Pedro Pablo Rivero Hayes</i>	
Capítulo 13. Producción y postproducción de aguacate (<i>Persea americana Mill</i>). Importancia cultural y socioeconómica en Michoacán, México.....	243
<i>Teresa de Jesús Reyna Trujillo, Mirian Gordillo Orduño</i> <i>y Sara Becerra Lellenquién</i>	

Introducción

En este libro se expone parte de las experiencias vertidas por algunos de los ochenta y dos profesores e investigadores de México y Cuba, que mostraron una amplia visión desarrollada desde el año 2000 hasta el 2012, al impartir diecinueve Cursos-Taller de Capacitación y Extensión en las sedes del Instituto de Geografía de la UNAM y del Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical, La Habana, Cuba. Estos cursos hubieran sido impensables sin el apoyo de la Secretaría Técnica de Intercambio Académico de la Coordinación de la Investigación Científica de la UNAM.

Nueve de los cursos se llevaron a cabo en México y diez en Cuba, manteniendo en todos como base fundamental la *Producción y Post-producción de semillas, frutas y hortalizas en Mesoamérica* (particularmente en México) y en el Caribe (específicamente en Cuba). En estos cursos se analizaron, en forma interactiva, la preparación de la comunidad científica compartida con alumnos de educación media, media superior, superior (licenciatura y posgrado) de Geografía, Biología, Agronomía, Ciencias de la Tierra, Comunicación de la Ciencia y también con productores y agroindustriales entre otros, para enfrentar la crisis y los retos actuales que padece la actividad agrícola ante nuevos esquemas y dependencias políticas y económicas insertas en desequilibrios financieros, de producción y de mercados, tanto locales como mundiales, que han propiciado entre otros fenómenos, la globalización.

Ante tal heterogeneidad de los grupos, cada curso se adecuaba e impartía tocando temas organizados por bloques, que más tarde darían

origen a los capítulos que conforman el libro. Algunos de los temas abordados y organizados se enuncian brevemente por bloques:

Bloque I. Importancia económica de la agricultura. Principios básicos del manejo postcosecha de semillas, hortalizas y frutas. Factores físico-geográficos y ecológicos idóneos para la agricultura. Agua-suelo-clima y producción vegetal. Tratado Internacional de la Protección Intelectual y la Semilla. Producción de semillas de importancia alimentaria y de alta calidad para México y Cuba (métodos artesanales y convencionales). Dependencia de las importaciones de granos y semillas.

Bloque II. Sistemas de Información Geográfica, Teledetección Satelital y agricultura de precisión. Degradación de los suelos agrícolas debido a actividades humanas. Perjuicios de la fertilización química o bondades de la fertilización orgánica. Deficiente o adecuado manejo hídrico en la agricultura. Agrotécnicas implementadas para cultivos específicos. Plagas y enfermedades, implementación técnica para la supresión.

Bloque III. Convención de la Biodiversidad Vegetal Biodiversidad de semillas, hortalizas y frutos en México y Cuba. Ejemplos de caso Los huertos caseros y/o de traspatio. Mejoramiento, recursos y reserva fitogenética para la agricultura y la alimentación mexicana y cubana.

Bloque IV. Acuerdos sobre la agricultura, la alimentación y los obstáculos técnicos para el comercio. Medidas fitosanitarias y de calidad para los recursos vegetales Impactos de la calidad e inocuidad vegetal indispensables para la salud, los mercados y el comercio nacional e internacional. Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y Buenas Prácticas de Mercado (BPM). Reglamentos Vigentes específicos de la Organización Mundial del Comercio, de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y de la Federal Food and Drug Administration. Mercados nacionales e internacionales de México para los fitorecursos.

Bloque V. Nuevas agriculturas: orgánica, urbana, periurbana y/o suburbana. La estructura y funcionamiento de estas agriculturas en

Cuba. Ejemplos de caso de la aún incipiente agricultura urbana y periurbana en México.

Si bien algunos temas abordados en los cursos mostraban un carácter específico sobre ciertas especies vegetales, en varios de los capítulos conformados en el libro se conjugaron los conocimientos fitogeográficos, aspectos técnicos y métodos para favorecer la producción de alimentos vegetales, que coadyuvarán en el desarrollo y evolución de una mejor agricultura, así como para elevar la salud y la seguridad alimentaria en ambos países.

Se considera que los cursos impartidos contribuyeron en la educación de doscientos ochenta y dos estudiantes, técnicos, productores y agroindustriales mexicanos y cubanos, y permitieron también la realización de tesis de grado y de posgrado, favoreciendo así la formación docente y la investigación sobre tan compleja temática.

Agradecimientos

A los Institutos de Geografía de la UNAM, y de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical de Cuba, así como a la Secretaría Técnica de Intercambio Académico de la Coordinación de la Investigación Científica, por el apoyo y las facilidades brindadas para la realización de los Cursos-Taller de Capacitación y Extensionismo y la publicación de algunos capítulos derivados de los objetivos de éstos.

A los dictaminadores anónimos por las sugerencias y correcciones plasmadas en el documento original para enriquecer y mejorar este libro; a la activa geógrafa Silvana Enríquez Nolasco, Leonor Pérez y Andrea del Pilar González, incansables colaboradoras en la logística y apoyo tecnológico para el buen funcionamiento de los cursos tanto en México como en Cuba.

Al Dr. José Luis Palacios, Martha Pavón, Raúl Marcó del Pont, Diana Chávez y Laura Diana López de la Sección Editorial del Instituto de Geografía de la UNAM, por su eficiente trabajo.

Capítulo 1. El derecho a la propiedad intelectual y la semilla: Una aproximación al análisis

Introducción

En el capitalismo actual, se es testigo de avances sin precedentes de la ciencia y la tecnología. La globalización se extiende, anexando cada vez más espacios del mundo. Al mismo tiempo, la pobreza se profundiza, existen poblaciones que padecen hambre y están desnutridas, las condiciones medioambientales están en crisis y la desigualdad social es más difícil de superar entre países y entre los propios habitantes que los integran. Estos constituyen los desafíos más importantes que se presentan hoy para el desarrollo (Del Valle, 2011).

La mitigación del hambre y una distribución más equilibrada de los alimentos constituyen aspectos de alta prioridad en la región Mesoamericana. Dos preocupaciones se presentan al respecto, una se refiere a asegurar la disponibilidad de alimentos con suficiencia alimentaria nutritiva y saludable, y la otra es garantizar el acceso al consumo, mediante niveles de precios y de ingresos que permitan arribar a la seguridad alimentaria.¹ A lo largo del siglo XX, diversas instituciones internacionales enfatizaron sobre el tema de la producción de alimentos, destacando el papel de la tecnología como elemento fundamental en el aumento en la productividad y la obtención de más y mejores alimentos, por lo que la investigación agrícola adquirió gran importancia, considerando a los resultados de la investigación como bienes públicos

¹ Debate sobre la sustentabilidad alimentaria que se está llevando a cabo en el Observatorio Iberoamericano de la Ciencia, la tecnología y la sociedad (Bisang y Campi 2009).

(semillas de alto rendimiento, fertilizantes, sistemas de riego, herbicidas y maquinaria e instrumentos). Sin embargo hasta ahora, ha persistido la ausencia de reconocimiento de la diversidad biológica como recurso limitado que está degradándose. Hacia fines del siglo pasado se introduce la idea de la sustentabilidad en términos ambientales. Con estos elementos, en el año 2000, se suscribe la Declaración del Milenio por los países miembros de las Naciones Unidas para reducir los niveles de extrema pobreza. En el tema que nos ocupa, la Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación se integran en el concepto de Seguridad alimentaria, entendida como la disponibilidad de alimentos suficiente, estable, autónoma y sustentable en el largo plazo, así como el acceso universal a los alimentos, necesarios para la supervivencia y el pleno desarrollo de las potencialidades de los individuos. Mientras que la corriente crítica de Vía Campesina (1996),² incorpora la importancia de la producción de base campesina frente a los procesos de globalización y producción industrial, con el concepto de soberanía alimentaria, entendida como la facultad de cada Estado para definir sus propias políticas alimentarias y agrarias, de acuerdo a metas de desarrollo sustentable y a seguridad alimentaria, dándole importancia a la producción de base campesina, a sistemas alimentarios locales y a cuestiones culturales.³ Desde nuestro punto de vista, los aspectos relativos a la seguridad alimentaria y a la conservación y uso de los recursos biológicos, constituyen elementos estratégicos para la soberanía de un país y por lo tanto forman parte de la concepción de seguridad nacional.⁴

En este marco, la realidad y la información que aportan los expertos indican que el objetivo acordado en la Cumbre Mundial de la Alimentación de 1996, de reducir a la mitad el número de personas hambrientas en 2015, no sólo no está garantizado; por el contrario, la nueva generación de semillas y el fortalecimiento de las regulaciones sobre

² Vía campesina es una red global de organizaciones rurales que critican el concepto de seguridad alimentaria, que vincula los alimentos baratos a la importación y resta importancia a la producción y a la cultura de las localidades. (www.viacampesina.org)

³ Tomados de Bisang y Campi (2009).

⁴ Para un desarrollo mayor de esta idea ver Chauvet (1994).

los Derechos de la Propiedad Intelectual (DPI) sobre los recursos biológicos, da lugar a formas de adquisición que encarecen y restringen la utilización de variedades mejoradas; indican, además, que la producción de alimentos está sujeta a regulaciones cada vez más estrictas, en las que ocupa un papel prioritario la producción de semillas.

El empleo del paquete tecnológico agrícola actual, en el contexto de la crisis detonada en 2008, se ha visto afectado en costos económicos por el aumento en los precios de los insumos alimentarios (semillas modificadas genéticamente, fertilizantes, etc.), más los altos precios del petróleo que afectan a la producción de fertilizantes químicos y al desvío en el uso de cereales para producir biocombustibles, aunado al aumento de la demanda de alimentos por los países asiáticos, los cambios en patrones de consumo y la especulación en los mercados financieros. A estos costos económicos hay que agregar los costos ambientales y sociales.

La repercusión política y económica que tienen los DPI sobre las plantas y sus variedades, en el marco de las actuales relaciones internacionales, contribuyen a aumentar la vulnerabilidad de nuestros países en las negociaciones. Como bien se afirma por la Comisión sobre los Derechos de la Propiedad Intelectual creada por el gobierno del Reino Unido en el 2000, para considerar “cómo deben desarrollarse las reglas de la propiedad intelectual en el futuro”, la cual expresó:

“Los países en desarrollo negocian desde una posición de relativa debilidad. El impacto de la protección de la propiedad intelectual es beneficiar financieramente a los que tienen conocimientos y poder, y aumentar el costo de acceso a los que no lo tienen”. (...) “La extensión de la protección de la propiedad intelectual corre el riesgo de restringir los derechos de los agricultores a volver a utilizar, intercambiar y vender semillas, las mismas prácticas que constituyen la base de su papel tradicional en la conservación y desarrollo” (Tansey, 2009).

Situación actual de la Propiedad Intelectual y la utilización de las semillas.

El sistema de derechos de propiedad intelectual (DPI) son recursos legales e institucionales para proteger creaciones de la mente como son los inventos, obras de arte y literatura, y diseños entre otros. Este concepto, que había sido bastante flexible, ha sido ampliado para incluir no sólo patentes, derechos de autor, marcas y diseños industriales, sino también secretos comerciales, derechos de obtentores de nuevas variedades vegetales, indicaciones geográficas y derechos para diseñar circuitos integrados (Tansey, 2009).⁵

La inclusión de los DPI en el Acuerdo sobre los Derechos de Propiedad Intelectual Relacionados con el Comercio (ADPIC), no se negoció como un tratado por separado, sino que se incluyó como parte del conjunto de acuerdos de la Ronda de Uruguay (GRAIN, 1999).⁶ El ADPIC señala que los países miembros de la Organización Mundial de Comercio (OMC) deben establecer derechos de propiedad intelectual para las nuevas variedades de plantas, ya sea mediante la Ley de Patentes o de un sistema *sui generis* (diseñado por cada país), pero compatible con la esencia del ADPIC.

Existen distintas formas de DPI sobre las plantas y sus variedades ya establecidas; como la Ley de Patentes y los modelos de las Actas de la Unión Internacional para la Protección de Nuevas Variedades de Plantas (UPOV por sus siglas en francés: Union pour la Protection des Obtentions Végétales) de 1978 y 1991.

⁵ Los DPI "son derechos que resultan de la actividad intelectual en áreas industriales, científicas, literarias y artísticas, cuyo fin es salvaguardar a los creadores y productores de bienes y servicios intelectuales, garantizándoles ciertos derechos, transitorios, a fin de controlar el uso de dicha producción intelectual" (Organización Mundial de la Propiedad Intelectual, OMPI, 2004) Así la producción de estos bienes se convierte en derecho exclusivo del titular.

⁶ Acuerdo ADPIC, negociado en la Ronda Uruguay (1986-94), en el que se incorporaron por primera vez normas sobre la propiedad intelectual en el sistema multilateral de comercio.

La emergencia de la industria moderna de semillas se remonta al siglo XIX, con la expansión hacia el oeste de los Estados Unidos; cuando el gobierno, con el interés de promover los asentamientos, encomendó la selección, mejora y multiplicación de semillas, a los mismos agricultores (Dutfield, 2009). Estas semillas, junto a las introducidas por los inmigrantes, eran utilizadas por los agricultores para seleccionar variedades adaptadas a sus necesidades y condiciones ecológicas locales. Las variedades seleccionadas y mejoradas formaron la base de los programas de selección. Ya, en 1890, estaban implicadas en la producción comercial de semillas 596 firmas americanas, organizadas en la American Seed Trade Association (ASTA, por sus siglas en inglés), entre cuyos objetivos estaba oponerse a que los agricultores guardaran las semillas. También, en esa época, se constituyeron en el mundo otras asociaciones de productores de semillas, como la de Suecia en 1886, y se establecieron centros de investigación como el Instituto Federal de Agricultura y Análisis de Semillas de Austria, creado en 1881.

Posteriormente, las investigaciones para el desarrollo de variedades híbridas de maíz, carentes de estabilidad genética, que provocaban la necesidad recurrente de la compra de las semillas, condujo a la conciencia de la posesión de cierto derecho de propiedad intelectual, en virtud de la ley del secreto comercial, lo que les permitía evitar el acceso a las líneas parentales. Para otros cultivos, que no dependen de semilla híbrida y que tienen la capacidad de reproducirse por sí solos, sin que se pueda controlar su multiplicación, los obtentores necesitaban controlar el uso y producción de las variedades mejoradas, lo que condujo a que se desarrollara la regulación para la utilización de las variedades de plantas, conocido como Convenio UPOV.

La ley de patentes

El Acuerdo ADPIC de la OMC que sostiene que la patente le confiere a su propietario los derechos exclusivos señalados en su inciso a) que dice:

“Si el objeto de una patente es un producto (por ejemplo una nueva variedad de planta, o una planta resistente a un herbicida) excluye a terceras

partes, que no tengan el consentimiento de su obtentor, del acceso a ese producto para: hacer, usar, ofrecer para la venta, vender o importar con los propósitos antes mencionados”.

Actas UPOV como formas de propiedad intelectual sobre las nuevas variedades de plantas

Según el Acta de la UPOV de 1991, una variedad de planta es:

“Un conjunto de plantas de un solo taxón botánico del rango más bajo conocido que, con independencia de si, responde o no plenamente a las condiciones para la concesión de un derecho de obtentor, pueda: 1) definirse por la expresión de los caracteres resultantes de un cierto genotipo o de una cierta combinación de genotipos; 2) distinguirse, de cualquier otro conjunto de plantas por la expresión de uno de dichos caracteres por lo menos; y 3) considerarse como una unidad, teniendo en cuenta su aptitud a propagarse sin alteración”.

La protección estipulada por el Acta UPOV 1978, es considerablemente más débil que la prevista en la ley de patentes y en el Acta UPOV de 1991. El Acta UPOV 1978 exige la autorización del obtentor para las actividades de comercialización, mientras que el Acta de 1991 la exige para la producción y reproducción de la variedad.

Leyes nacionales y regionales para preservar los derechos sobre los recursos genéticos y el folclore

En respuesta al establecimiento y al fortalecimiento de los derechos de la propiedad intelectual en los acuerdos internacionales, se hace notar que hay países en desarrollo que han elaborado sus propias leyes nacionales y regionales para la protección de sus recursos fitogenéticos, la expresión del folclore (aspectos culturales) y los derechos de las poblaciones autóctonas.

El “Modelo de Legislación Africano para la Protección de las Comunidades Locales, los Campesinos y los Mejoradores, y para la Regulación

de Acceso a los Recursos Biológicos”, ofrece una referencia del alcance de estas legislaciones (Organización de la Unidad Africana, 2000). Entre los aspectos más significativos de esta ley, se destaca que la misma no reconoce las patentes sobre las formas vivas y los procesos biológicos; también establece que cualquier acceso a un recurso biológico y al conocimiento y las tecnologías de las comunidades locales, debe estar sujeto a una solicitud del consentimiento fundamentado previo y del permiso escrito. Sobre la participación en los beneficios, se establece que el beneficio será: económico, social, técnico, biotecnológico, científico, medioambiental o cualquier otro beneficio que se proyecte, o que pueda ser probable, ya sea en provecho de la comunidad rural y local que proporciona el recurso biológico o del colector y el país o países donde el/ella opera. En cuanto a la utilización de las semillas, la Legislación confiere el derecho a los campesinos para guardar, usar, intercambiar y vender la semilla/el material de propagación producido por ellos; así como usar una nueva variedad originada por los fitomejoradores, protegida por esta ley, para desarrollar variedades de los agricultores incluyendo materiales obtenidos de un banco de germoplasma o de un centro de recursos genéticos vegetales.

Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB)

En las negociaciones de la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (conocida como la Cumbre de la Tierra) en Río de Janeiro, en junio de 1992, se aprobó el Convenio sobre la Diversidad Biológica por 156 países, el cual fue ratificado en el 2007 por 190 participantes o Partes (Bragdon *et al.*, 2009).

En el ámbito de aplicación del CDB, se incluyen todos los aspectos de la biodiversidad biológica, que se define como la “variabilidad entre los seres vivos de todas las fuentes incluidos, entre otras cosas, los ecosistemas terrestres, marinos y acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende además, la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas.” El Convenio tiene tres objetivos: la conservación de la diversidad biológica, el uso sostenible de sus componentes y la participación justa y equitativa en

los beneficios derivados de la utilización de los recursos genéticos; que incluye el acceso adecuado a dichos recursos y la transferencia apropiada de tecnologías pertinentes.

Un aspecto de relevancia en el Convenio en relación con los Derechos de Propiedad Intelectual, son las Tecnologías Genéticas de Restricción de Uso (TGRU). Bragdon *et al.* (2009) indican que estas tecnologías se dividen generalmente en dos categorías: la relacionada con la variedad (TGRU-V) y la relacionada con el carácter (TGRU-C). Las TGRU-V se refieren a plantas modificadas genéticamente para producir semillas estériles. Las TGRU-C, por otra parte, son modificaciones realizadas en una planta de forma que no se active determinado carácter o característica, a menos que sea tratada con un producto químico. La consecuencia de ambos tipos de TGRU, es que los agricultores compren insumos -ya sean semillas o productos químicos- a la compañía para poder cultivar estas plantas. En esencia, las TGRU pueden permitir que una compañía impida el uso de semillas que ella no aprueba, en lugar de basarse en la ley de la Propiedad Intelectual, para poner remedio después de que haya tenido lugar un uso no aprobado de las semillas. Las TGRU pueden ser perpetuas, lo que tiene como resultado una protección mucho mayor que la que podría ser otorgada por otras formas de DPI.

El Protocolo sobre Bioseguridad de Cartagena

El Protocolo es un instrumento subsidiario del CDB. Bragdon *et al.* (2009) señalan que, según la Secretaría del CDB, “bioseguridad es un término empleado para describir los esfuerzos para reducir los riesgos potenciales procedentes de la biotecnología y sus productos”. En los riesgos potenciales está la posibilidad de que un organismo genéticamente modificado, pueda competir con otro organismo una vez introducido en el medio ambiente, convirtiéndose en una plaga, y que los genes introducidos en un organismo puedan extenderse a otros organismos, provocando daños ambientales, económicos y/o sociales. La introducción al ambiente de los organismos modificados genéticamente, mediante las técnicas de la biotecnología moderna, es objeto

de gran controversia entre los investigadores e instituciones, que, por una parte, centran su acción en la conservación de la biodiversidad y, por la otra, los que apoyan la transgénesis.

El Tratado Internacional sobre Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (TIRFAA)

El TIRFAA, constituye un marco general para la conservación y el uso sostenible de los RFAA., Halewood y Nnadozie (2009) señalan que el Tratado se basa, al igual que el CDB, en el concepto de soberanía nacional, pero ejercida de tal forma que se mantenga un sistema relativamente abierto. Aunque permite la posibilidad de la propiedad privada (a través de los DPI), desarrolla “un fondo común” de los recursos fitogenéticos, por lo que no considera la necesidad de negociaciones individuales sobre el acceso y participación en los beneficios (APB), como las encontradas en los tipos de leyes de acceso orientadas bilateralmente en la implementación del CDB. Según el Tratado, las decisiones también deben realizarse colectivamente, y los beneficios deben ser compartidos de una manera multilateral y con un fondo común, bajo la dirección del Órgano Rector (que está compuesto por todos los países que lo han ratificado). El Tratado es distinto de las leyes citadas anteriormente, porque se centra en definir y mantener un patrimonio común e internacional de los recursos genéticos –el “sistema multilateral de acceso y participación en los beneficios”–, dentro del cual sus miembros, en el ejercicio de su soberanía, comparten el acceso libre (o casi libre) a los recursos fitogenéticos del resto de los miembros, para fines de investigación, mejora genética, conservación y capacitación.

Con este recuento, se puede afirmar que el establecimiento de las regulaciones cada vez más estrictas de los Derechos de Propiedad Intelectual sobre las plantas y sus variedades, son un indicador de que el control sobre la producción y disponibilidad de las semillas, por parte de las compañías productoras de semillas también se incrementa, lo que denota que el control sobre la producción de alimentos, se está convirtiendo en un fuerte instrumento de poder especialmente sobre

los países más vulnerables, por estar en condiciones más débiles en cuanto a la producción de alimentos y medicamentos.

El fortalecimiento de los DPI y su significación para el control de la producción de alimentos y productos medicinales, es un tema que compromete a los actores sociales públicos y privados y a la sociedad de los países afectados, a actuar para lograr la seguridad alimentaria y la protección de los recursos genéticos de estas naciones, como una estrategia de sobrevivencia y un reconocimiento del importante valor del legado, que han aportado las comunidades indígenas y campesinas en el resguardo de los recursos naturales.

Desde la academia, es necesario profundizar en el conocimiento sobre el tema, para contribuir a generar conocimiento e influir en los tomadores de decisiones, para optar por las más acertadas y, así, afrontar las necesidades de la alimentación, sin afectar la biodiversidad ni poner en riesgo la salud humana.

El caso de México

La presión internacional política y económica ha hecho que los países establezcan legislaciones para la protección legal del valioso material que significan las plantas, dadas las nuevas tecnologías y los altos costos de investigación que se arguyen; políticas que no necesariamente han sido diseñadas de acuerdo a las condiciones nacionales de la producción, y la consideración de los actores involucrados.

México cuenta con legislaciones para regular el acceso a recursos genéticos.

El 18 de marzo de 2005, se publicó el Decreto por el que se crea la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (OGM), que “tiene por objeto regular las actividades de utilización confinada, liberación experimental, liberación en programa piloto, liberación comercial, comercialización, importación y exportación de organismos genéticamente modificados, con el fin de prevenir, evitar o reducir los

posibles riesgos que estas actividades pudieran ocasionar a la salud humana, o al medio ambiente, y a la diversidad biológica y o a la sanidad animal, vegetal y acuícola". El Reglamento de esta Ley se publicó también en el Diario Oficial de la Federación el 19 de marzo de 2008.

Sobre la protección de nuevas variedades, las regulaciones son las siguientes:

- Se protegieron las variedades vegetales primero como patentes en 1991 y después como derechos de obtentores vegetales, el 3 de octubre de 1996, con la aprobación de la Ley Federal de Variedades Vegetales, que está conforme con el Acta UPOV'78 firmada por México el 9 de agosto de 1997. Su Reglamento se publicó el 24 de septiembre de 1998. Hay que agregar las reglamentaciones establecidas en el capítulo XVII del Tratado de Libre Comercio de América del Norte TLCAN.

En estas condiciones, el desarrollo de México -y que se puede extender esta afirmación para la región mesoamericana- dependerá de la capacidad que tenga para generar e incorporar creativamente, el avance tecnológico y los conocimientos tradicionales, a las particulares necesidades y problemas que existan en cada país, mediante un manejo consciente de la diversidad biológica y del pluralismo tecnológico. Particularmente, el sector agroalimentario puede ser impulsor del desarrollo y un motor de crecimiento, desde el punto de vista de la dotación de recursos (materias primas), como generador de empleo productivo, para mejorar el nivel de vida de la población rural y desde la perspectiva de dirigirse a la satisfacción de la necesidad de alimentación (Del Valle, 2011).

A fin de abonar en el conocimiento y análisis desde una perspectiva socioeconómica, a continuación se exponen las manifestaciones de estas circunstancias en el caso del maíz y de las hortalizas, elementos que sirvan para afianzar propuestas de políticas proactivas para el aprovechamiento de los recursos en beneficio de nuestras poblaciones.

La producción de semillas y el caso del maíz en México

Hacia los años cuarenta, el gobierno mexicano establece un convenio con la Fundación Rockefeller de EUA y el Instituto de Investigaciones Agrícolas (IIA), para crear variedades de maíz (en 1947), de trigo (en 1948) y de frijol (en 1949) con mayor rendimiento, en un marco de política agrícola con impulso a la investigación endógena, vinculada al consumo nacional de granos básicos. Para 1947, se había conformado un sistema de innovación con organismos públicos para la producción, investigación y distribución de semillas, de acuerdo a una política agrícola para el fomento de los bienes básicos. Más adelante, entre 1960 y 1976, se empezaron a dar espacios a cultivos vinculados al sector agroindustrial, alimentos balanceados y otros productos de carácter comercial. Con la crisis de 1982 y la nueva política de retiro del Estado, los recursos destinados a estas actividades disminuyeron y, hacia 1984, la participación de dichos organismos en el mercado de semillas, se redujo seriamente respecto a los requerimientos nacionales, dando lugar a la importación y a la participación de una industria local de semillas.

Con la aplicación de técnicas biotecnológicas y el paquete tecnológico presente, el empleo de semillas modificadas genéticamente, fertilizantes químicos, etc., son el resultado de innovaciones que se patentan y se registran para protección de la propiedad intelectual, y se encuentran bajo la legislación internacional, correspondiente a la establecida en los tratados comerciales y las propias legislaciones nacionales. Con ello, se han incrementado las barreras de entrada, y han aumentado los costos económicos para la producción de cereales y hortalizas, de manera que se favorece más a los “agribusiness” y se deja desprotegido y se margina a las comunidades indígenas y campesinas; incluso a aquellas que han empleado y protegido las semillas durante muchos años.

Es el caso del maíz en México, centro de origen y diversidad, junto con el resto de Mesoamérica.⁷ Para sus pobladores, es más que un

⁷ No sólo maíz, sino la milpa, como una forma de producción de Mesoamérica, integrada tradicionalmente por maíz, frijol y calabaza. Lo que se conoce como la tríada

alimento, es parte de su cultura. La introducción al ambiente de los organismos modificados genéticamente, mediante las técnicas de la biotecnología moderna es objeto de gran controversia, por una parte, entre los investigadores e instituciones que centran su acción en la conservación de la biodiversidad y, por la otra, entre los que apoyan la transgénesis.

Al respecto, Bragdon *et al.* (2009) cita que “en el 2001, los investigadores de México informaron que habían hallado maíz genéticamente modificado en la región de Oaxaca. El descubrimiento de estos transgenes, produjo gran preocupación por el impacto que los genes introducidos, podrían tener en las razas locales de maíz autóctono de México, y en la gran riqueza de biodiversidad de maíz que se encuentra en el país. También existe preocupación por los impactos socioculturales de los genes introducidos, en un contexto en el que el maíz es considerado sagrado”. Esta situación se dio en el marco de la moratoria que existía para la producción de maíz transgénico, generando una controversia con científicos (también reconocidos) que sostienen que no hay posibilidades de contaminación que afecte a la diversidad genética. Discusión que se continúa, pero ahora enfrentamos una situación en la que, no obstante la existencia de una Ley con medidas de protección a la biodiversidad, después de 11 años de moratoria, el gobierno mexicano autorizó la siembra de maíz transgénico a escala piloto para el 2012, apoyados en una modificación que se hizo al Reglamento de la Ley,⁸ aún con la protesta de productores, científicos y organizaciones civiles. Las Secretarías responsables emitieron 33 permisos entre 2009 y 2010, para las empresas Monsanto, Dow AgroSciences, Pioneer y

mesoamericana. El maíz, una especie con alrededor de 60 razas nativas, el frijol con 5 especies y diversas razas y la calabaza con 4 especies y algunas razas. (Linares y Bye, 2011).

⁸ El 15 de marzo de 2009 se estableció un artículo transitorio que dice: “Las solicitudes de permisos presentadas con antelación a la entrada en vigor del presente Reglamento, y aquellas que se presenten en tanto no se emitan los acuerdos a que se refiere el artículo 86 de la ley, deberán ser resueltas por la Secretaría competente previa consulta con las instituciones señaladas en el citado artículo”.

Syngenta en Sonora, Sinaloa, Tamaulipas, Coahuila y Durango.⁹ Consideramos un asunto que afecta no sólo a los recursos naturales, sino a la seguridad y soberanía alimentarias, así como a las variedades nativas que son la base de más del 75% de la producción de maíz (blanco) para consumo humano (Álvarez-Buylla, E. 2011).

Por otro lado, observamos la participación de actores sociales críticos y proactivos, que permiten avances en la resistencia y de alguna manera en la regulación de las innovaciones. En Tlaxcala, el 13 de enero de 2013, se aprobó la Ley de fomento y protección al maíz como patrimonio originario en diversificación constante y alimentario, para el Estado; en ella, se establecen mecanismos para impedir la siembra de maíces transgénicos en territorio tlaxcalteca, y la creación de Fondos locales de semillas nativas custodiados por ejidos y comunidades campesinas. También vale destacar que en el Distrito Federal, hay un proyecto en marcha para rastrear la presencia de maíz transgénico en las tierras productivas, -de manera que pueda lograrse- una certificación de la calidad de los maíces libres de transgenes, así como la creación de Fondos locales de semillas nativas.

Reflexiones a manera de conclusión

Se requiere una política nacional que contemple la problemática alimentaria, que conjunte la seguridad alimentaria con estímulos para alcanzar la autosuficiencia en alimentos básicos, con cuidado del medio ambiente, incorporando políticas apoyadas en la soberanía alimentaria, para incluir la producción campesina, sistemas alimentarios locales y cuestiones culturales. Esto significa el aprovechamiento de los recursos genéticos y las potencialidades en conocimientos. Además, incorporar en las legislaciones sobre recursos genéticos y regímenes de propiedad intelectual, elementos que atiendan a las necesidades de cada país. Sin

⁹ En el mercado mundial, la producción de semillas se realiza por grandes empresas transnacionales, tales como: Monsanto (EUA), Dupont (EUA), Syngenta (Suiza), Grupe Limagrain (Francia), que tienen el 53% del mercado de semilla patentada (ETC. 2008, citado en Sandoval, Seyka 2011). Syngenta, Monsanto y Dupont, junto con Bayer (Alemania), son también las principales empresas de agroquímicos.

embargo, se considera que esta propuesta tendrá que acompañarse de iniciativas de carácter global en los foros internacionales. La integración con países de la región latinoamericana, con estos propósitos podría ayudar en ese sentido. Así como la inclusión de conocimientos tradicionales, campesinos e indígenas en las actividades productivas.

La inversión en la investigación agrícola para lograr aumentos en la producción, básicamente la inversión pública para definir las líneas de investigación en función de las necesidades. Aumentar la productividad, con una mejor distribución del ingreso es condición para mejorar el acceso a la alimentación.

Referencias bibliográficas

- Álvarez-B, E., (2011). Comunalidad: imprescindible para la sobrevivencia de la diversidad del maíz campesino. En: E. Álvarez-B, A. Carreón G y A. San Vicente (coords). *Haciendo Milpa. México, UNAM*. pp. 13-16.
- Bifani, P., (2001). "CARICOM Interest in Relation to Biodiversity and Intellectual Property Rights in the Context of FTAA Negotiations CRNM/IDB Technical Cooperation Project". ATN/JF/SF-6158.RG. 91p.
- Bisang, R. y M. Campi. (2009). *Un desafío a inicios del siglo XXI. Hambre, alta tecnología y desigualdad social en Iberoamérica*. (Documento base para un foro de discusión). Observatorio Iberoamericano de la Ciencia, la Tecnología y la Sociedad. Buenos Aires, AECID y OEI-CAEU. s/p.
- Bragdon, S., K. Garforth y J. E. Haapala Jr., (2009). Protección de la Biodiversidad: El Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB). El control futuro de los alimentos. Guía de las negociaciones y reglas internacionales sobre la propiedad intelectual, la biodiversidad y la seguridad alimentaria. G. Tansey y T. Rajotte, (eds). Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, pp. 113-148.
- Chauvet, M., (1994). Los flancos expuestos de la seguridad nacional: la soberanía alimentaria y la bioseguridad. En: *Sociológica*. Año 9, Núm. 25. pp: 231-241.

- Collin, M. A., (2008). "Driving Innovation: Intellectual Property Strategies for a Dynamic World", Cambridge University Press. En: El control futuro de los alimentos. Guía de las negociaciones y reglas internacionales sobre la propiedad intelectual, la biodiversidad y la seguridad alimentaria. G. Tansey y T. Rajotte, (eds). Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 303 p.
- Del Valle R., M del C., (2011). Reflexiones sobre la sociedad del conocimiento y nuevos actores en el desarrollo agrícola y rural en México. En: Crisis estructural y alternativas del desarrollo en México. Del Valle R. M. del C. (coord). IIEC-UNAM. México. 25 p.
- Dutfield, G., (2009). "La conversión de las variedades vegetales en propiedad intelectual: el Convenio de la UPOV". El control futuro de los alimentos. Guía de las negociaciones y reglas internacionales sobre la propiedad intelectual, la biodiversidad y la seguridad alimentaria. G. Tansey y T. Rajotte, (eds). Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, pp. 35-54.
- Halewood, M., y K. Nnadozie, (2009). "La priorización de los bienes comunes. El Tratado Internacional sobre Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (TIRFAA)". El control futuro de los alimentos. Guía de las negociaciones y reglas internacionales sobre la propiedad intelectual, la biodiversidad y la seguridad alimentaria. G. Tansey y T. Rajotte, (eds). Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, pp. 177-209.
- Jaffé W. R. y J. van Wijk, (1996). *Intellectual property rights and agriculture in developing countries*. Darby, PA: Diane Publishing Co. pp. 1-126.
- Leskien D. y M. Flitner., (1997). "Intellectual Property Rights and Plant Genetic Resources: Options for a *Sui Generis* System". Issues in Genetic Resources. IPGRI, No. 6, 84 p.
- Linares E. y R. Bye., (2011). La milpa no es solo maíz. En: E. Álvarez-B., A. Carreón G. y A. San Vicente. *Haciendo Milpa*. UNAM. México. pp. 9-12.
- Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI), (2004). WIPO Intellectual Property Handbook: Policy, Law and Use. WIPO *Publication* No. 489, Second Edition, Ginebra. pp. 1-460.

- Parrott, W., (2010). "Genetically modified myths and realities". New Biotechnology, Vol. 27, No.25, pp. 545-551.
- Tansey, G., (2009). "Agricultura, alimentación y reglas globales". El control futuro de los alimentos. Guía de las negociaciones y reglas internacionales sobre la propiedad intelectual, la biodiversidad y la seguridad alimentaria. G. Tansey y T. Rajotte, (eds). Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. pp.13-34.
- Wendt J. y J. Izquierdo., (2000). *La Práctica del Acceso a los Recursos Genéticos y de los Derechos de Obtenciones Vegetales en América Latina*, Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, Santiago de Chile. pp. 2-22.

Referencias electrónicas

- Becerra R, M., La ley mexicana de variedades vegetales. Artículo publicado en www.bibliojuridica.org/libros/3/1328/8.pdf. Consulta: 2012.
- Organización internacional de ayuda a campesinos y a movimientos sociales. (GRAIN). (1999). "TRIPS versus Biodiversity: Options for the 1999 review of Article 27.3 (b) in the context of CBD". <http://www.grain.org>. Consulta: 2012.
- Organization of African Unity. (2000). "African Model Legislation for the Protection of the Rights of Local Communities, Farmers and Breeders and for the Regulation of Access to Biological Resources". (OAU/STRC) jekpere@rcl.nig.com (oua-modellaw-2000) <http://www.grain.org>. Consulta: 2012.
- Vía Campesina www.viacampesina.org. Consulta: 2012.

Capítulo 2. Los frijoles (*Phaseolus* spp.) en México. Producción y seguridad alimentaria

Introducción

Los frijoles del género *Phaseolus* incluyen más de 70 especies, todas nativas del continente americano (Delgado-Salinas, A. *et al.*, 2006; Freytag y Debouck, 2002). De estas, cinco han sido domesticadas en México y los Andes Centrales (Gepts, P., 1998).

Dichas especies son: *Phaseolus vulgaris* L. 'frijol común', *P. coccineus* L. 'ayocote, botil o patol', *P. lunatus* L. 'ibes o frijol navajita', *P. dumosus* Macfady (= *P. polyanthus* Greenm.) 'frijol gordo o acalete' y *P. acutifolius* A. Gray 'frijol teparí o escumite'.

De estas especies, la más importante es sin duda el frijol común *P. vulgaris* L, ahora cultivado en prácticamente todo el mundo, donde es una fuente de proteínas de bajo precio y de buena calidad en África, Asia y América Latina; sin embargo, las otras especies son también muy importantes a nivel regional, desde los puntos de vista cultural, económico y nutricional (Basurto, F. 2000; Martínez-Castillo, J. *et al.*, 2004).

El género *Phaseolus* se distribuye en zonas cálidas y templadas de América, desde el sur y este de Estados Unidos (*P. polystachyus*), pasando por México y Centroamérica hasta la región andina, incluyendo Ecuador, Perú, Bolivia y Argentina (*P. augustii* y *P. pachyrhizoides*). Se cultiva en suelos bien drenados, tanto ácidos como neutros o ligeramente alcalinos, en climas con lluvias en verano, entre los 0 y 3 000 metros de altitud, donde también se desarrolla con una amplia gama

de tipos de vegetación, siendo más comunes en los Bosques de *Quercus* (encinos).

La acción del hombre es un factor que ha influido en la dispersión de algunas especies de este género (Delgado-Salinas, A., 1985) y sólo tres especies tienen una distribución tan amplia como el género: *P. vulgaris*, *P. lunatus* y *P. coccineus*, todas cultivadas y con sus contrapartes silvestres y ferales.

Este género tiene su centro de diversidad y probablemente su centro de origen en México, donde existe el 90% de las especies, distribuidas principalmente a lo largo de la Sierra Madre Occidental, del Eje Neovolcánico y de la Sierra Madre Oriental.

Los frijoles se han cultivado desde hace, al menos, 7000 a 9000 años (Smarrt, J., 1976). Los restos más antiguos de frijol en México datan de hace 10000 y 7500-9000 años y corresponden a *P. coccineus*, encontrados en Guilá Naquitz y en la región de Ocampo, respectivamente (Delgado-Salinas, A., 1988; Flannery, K., 1986; Hernández X. *et al.*, 1979; Kaplan, L. *et al.*, 1960; Kaplan, L., 1967).

Los frijoles han sido y son parte de uno de los sistemas agrícolas más importantes de Mesoamérica, la milpa, cultivos de maíz en asociación con frijol, calabaza y chile, que fueron la base del desarrollo de las culturas de la región, y continúan siendo parte esencial en la producción de alimentos en Mesamérica y México en general.

26

Varios códices y reseñas sobre la Nueva España, hacen referencia al frijol en México; por ejemplo: el Códice Mendocino, La Matrícula de Tributos, el Códice Florentino, las Relaciones Geográficas del Siglo XVI y el trabajo de Francisco Hernández (Acuña, R., 1985; Estrada, E., 1989; Hernández X., E. *et al.*, 1979; Kaplan, L., 1965; Sahagún, B., 1989; Torres, B., 1985).

En estos escritos se da testimonio del uso y nombres de estos frijoles, así como de su papel como tributo y alimento. Al respecto, se calcula

que el imperio azteca recibía, en tiempos de Moctezuma Xocoyotzin, 21 “arcas” de frijol, cada una representando 4000-5000 “fanegas”, 5000 de las cuales son equivalentes a 8000 bushels (1 bushel= 35.238 l) (Kaplan, L., 1965).

Hernández X., E. *et al.* (1979), mencionan que el tributo anual de frijol a los aztecas era de 5280 toneladas y, según cálculos basados en la Matrícula de Tributos y el Códice Mendocino, se estima que los aztecas recibían 5 000 toneladas de frijol anualmente (Kaplan, L., 1965).

Fray Bernardino de Sahagún (1989), refiere que los frijoles variaban en función del tamaño y color de la testa y que tenían uso como: alimento, medicina, forraje y uso ceremonial, con aprovechamiento del fruto tierno o ‘ejote’, grano, follaje y raíz, todos ellos cocidos.

Con base en lo anterior, puede afirmarse que, desde mucho antes de la conquista, la producción, almacenamiento y consumo de frijoles, eran parte integrante y muy importante de la cultura agrícola en México.

Luego de la conquista española, con la introducción de nuevas plantas alimenticias y hábitos de consumo los frijoles, así como otros cultivares nativos, fueron desplazados tanto en el consumo como en la producción (Hernández X., E. *et al.*, 1979); sin embargo, estas plantas siguen siendo parte de la dieta básica en México y uno de los cultivos más importantes del país.

Los frijoles del género *Phaseolus* son cultivados también en diversas zonas tropicales de Asia, África y América Latina, donde son usados como grano seco y representan una importante fuente de proteínas de bajo costo; asimismo, se cultivan en Europa y Estados Unidos donde se producen principalmente para consumo del fruto tierno o “ejote” como verdura, *P. coccineus* con vistosa floración en rojo o blanco y se siembra en estos lugares también como ornamental (Burkart, A. 1945; Evans, A., 1979; Purseglove, J., 1968).

Estado del arte

Los frijoles en México tienen gran importancia desde diversos puntos de vista: económico, alimentario, biológico y cultural. Son el segundo cultivo en importancia en cuanto a superficie sembrada y son también, sobre todo en poblaciones rurales y en sectores urbanos de escasos recursos, un alimento básico, con un notable aporte proteico a la dieta.

La producción de frijoles en México tiene dos esquemas como objetivo principal: producción comercial y bajo esquemas de agricultura tradicional para autoabasto del hogar. Por lo general, los sistemas comerciales de producción de frijol requieren de fuertes inversiones en maquinaria, fertilizantes, riegos y plaguicidas, teniendo como objetivo el máximo rédito de la inversión. En México sin embargo, mucho del frijol es producido en sistemas tradicionales de cultivo, sin inversión de capital, en superficies relativamente pequeñas y frecuentemente en asociación con maíz, a pesar de tener una relación con el hombre de muchos siglos antes, del que junto con el maíz, calabaza y chile, fue el sustento de las civilizaciones mesoamericanas, luego de la conquista española y de la introducción de nuevos cultivos, implementos agrícolas y sistemas de producción, así como de cambios en los valores sociales. Debido a ello, los frijoles fueron desplazados hasta constituir en la actualidad, un elemento característico de la dieta de grupos de escasos recursos aunque en las últimas décadas y sin embargo, debido al cambio en el enfoque económico del país, hacia el modelo neoliberal y a la firma del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), y como consecuencia del incremento notable en el precio del frijol, aun las clases más marginadas han disminuido su consumo (Campos, J., 1987; Delgado-Salinas, A., 1988; Engleman, M., 1979; Hernández X., E. *et al.*, 1979; Lépiz, I., 1978; Morales, N., 2008; Sangerman-Jarquín, D. *et al.*, 2010).

Para México, los datos técnicos acerca de la producción, rendimiento y superficie sembrada, se refieren sólo al frijol común sembrado en monocultivo y del cual se mencionan hasta 20 variedades. El promedio de superficie sembrada entre 2000 y 2010, de 1 872 582 ha, muestra

una tendencia constante al decremento (Figura 1); en tanto que el precio del frijol se ha duplicado en el mismo periodo (Morales, N., 2008; Sangerman-Jarquín, *et al.*(2010); Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2010).

En las estadísticas oficiales no se incluye el frijol sembrado en asociación con otras plantas, especialmente con maíz, ni las cuatro especies diferentes de frijol común, ello a pesar de la importancia que tienen en el autoabasto de los hogares campesinos y su contribución a la seguridad alimentaria.

Investigaciones sobre frijol en México

En México las investigaciones sobre frijol se inician hacia 1936, por parte de la Oficina de Campos Experimentales de la Dirección General de Agricultura de la Secretaría de Agricultura y Fomento, reuniendo una serie de variedades de frijol de distintas partes de México con propósitos de evaluación agronómica. A partir de 1944, el programa se encomienda a la Oficina de Estudios Especiales, programa cooperativo

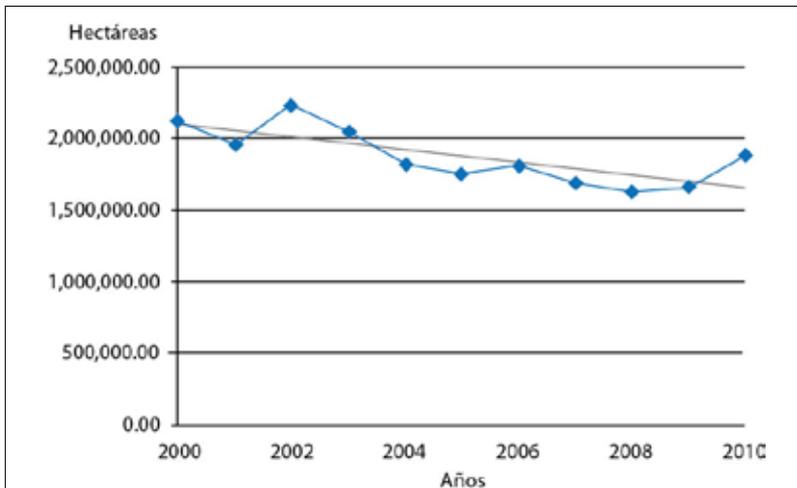


Figura 1. Superficie sembrada con frijol en México 2000-2010. Fuente: Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2010).

entre la Secretaría de Agricultura y Fomento y la Fundación Rockefeller, aumentando las colecciones e iniciando trabajos de fitopatología, entomología y selección de variedades.

En los diez años siguientes (1945-1955), se continuaron los estudios sobre fitomejoramiento y resistencia a plagas y enfermedades y, en 1954, se establece el Departamento de Frijol en la Oficina de Estudios Especiales, trabajando en problemas de parasitología, biosistemática y de fitomejoramiento.

En 1959, se describe la subespecie *P. coccineus* L. ssp. *darwinianus* Hernández X. y Miranda actualmente denominada *P. dumosus* (Hernández X, *et al.*, 1959, Miranda, 1959, Engleman, 1979, Schmit y Debouck, 1991).

A partir de 1960, el Programa de Mejoramiento de Frijol estuvo a cargo del Departamento de Frijol y Soya, luego llamado Departamento de Leguminosas Comestibles del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA).

En 1972 se inician, de manera sistemática y coordinada, estudios sobre frijol en el Colegio de Postgraduados y, en 1976, con la inclusión de investigadores del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México, se instituye el Programa de Investigación Interdisciplinaria de Frijol (PIIF), que tiene como objetivos principales generar y reunir información sobre frijol, estudiando sistemas tradicionales y comerciales de producción, el contenido químico del grano y partes vegetativas y sus cambios, así como entender la dinámica de domesticación y evolución del frijol; este programa cristaliza en 1979 con la edición del libro "Contribuciones al Conocimiento del Frijol *Phaseolus* en México" (Engleman, 1979).

En 1978 se crea la Unidad de Recursos Genéticos del INIA, ahora Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), con la conservación de germoplasma de especies cultivadas de *Phaseolus*, como una de sus actividades prioritarias que, para 1988,

contaba con 10651 colectas del género, de las cuales, 9662 pertenecían a las especies cultivadas de *P. vulgaris*, *P. acutifolius*, *P. coccineus*, *P. lunatus* y *P. dumosus*; de ellas, 8395 (86.7%) pertenecientes a *P. vulgaris* L (Cárdenas, F. et al., 1996).

En los últimos 25 años, la investigación sobre frijol en el país se ha desarrollado en diversas instituciones de investigación y educación superior, cubriéndose aspectos: socioeconómicos, agronómicos, taxonómicos, fisiológicos, ecológicos, de evolución y conservación de la agrobiodiversidad *in situ* y *ex situ*, y de fitomejoramiento (enfocados principalmente a *P. vulgaris* L); con el establecimiento de bancos de germoplasma que mantienen colecciones activas de *Phaseolus*, aunque con un sesgo hacia las formas cultivadas de *P. vulgaris* L y carencias en la representatividad de las otras especies cultivadas, sobre todo de materiales criollos formas ferales o escapadas, así como de especies silvestres (Basurto et al., 1998, Cárdenas, 1996, Delgado-Salinas et al., 2006; Jacinto et al., 2002, Lépiz, 1978, Llaca et al., 1994, Mercado y Delgado-Salinas, 1998, Morales, 2008, Sangerman-Jarquín et al., 2010, Sousa-Peña, 1992, Sousa-Peña et al., 1996).

Se tienen notables avances en aspectos de sistemática y evolución del género (Delgado-Salinas, 1985 y 2000, Delgado-Salinas et al., 2006, Freytag et al., 2002). Se han clarificado los procesos de domesticación del frijol común (Singh et al., 1991) y se reconoce el papel de las formas silvestres en la evolución bajo domesticación de los frijoles (Martínez-Castillo et al., 2004) y de su importancia en programas de fitomejoramiento.

En el aspecto nutricional, se cuenta con el análisis químico proximal de las especies domesticadas de frijol (Cuadro 1); como otras leguminosas, los frijoles tienen elevado contenido de proteínas y también proporcionan carbohidratos y minerales.

A pesar de lo anterior, se siguen teniendo carencias en el conocimiento, sobre todo, de las formas cultivadas que no pertenecen al frijol común *P. vulgaris* L., de la diversidad existente y su distribución; así

Cuadro 1. Análisis bioquímico proximal de *Phaseolus* spp. (g/100g muestra).

Especie	Humedad	Ceniza	Grasa	Fibra	Carbo hidratos	Proteína (crudo)	Proteína (cocido)
<i>P. vulgaris</i> L.							
promedio	9.9	5.0	1.4	6.2	60.5	26.8	
blancos	9.8	5.5	1.3	6.2	60.1	26.9	
colores	9.7	4.7	1.6	6.7	57.8	28.2	
negro tropical	9.6	4.8	1.2	6.1	60.2	27.7	
negro arribeño	9.4	5.2	1.4	6.3	59.0	28.0	
canario	9.9	4.5	1.4	6.8	58.8	29.0	
bayo grande	10.2	4.9	1.5	6.0	63.0	24.5	
frijol de vara	12.8	3.9	1.7	7.1	64.4	23.0	
villa guerrero	9.8	4.1	1.6	6.0	55.0	23.5	24.7
canario	10.2	4.2	1.4	6.6	55.7	21.9	22.1
jamapa	9.3	4.1	1.7	5.0	54.6	25.3	24.9
bayo	9.7	4.2	1.7	5.3	59.1	20.1	19.7
silvestre (promedio)		5.2	0.6	7.1	61.6	25.6	
cultivados (promedio)		4.2	0.9	5.0	68.0	21.8	
<i>P. coccineus</i>							
silvestres	9.6	4.4	1.6	8.6	62.1	23.6	
intermedios	9.0	4.7	1.7	7.7	62.1	23.9	
ayocotes	9.2	4.4	1.8	6.6	62.2	22.9	
botiles	9.7	4.5	1.7	6.9	63.9	23.1	
ayocote crudo	8.5	4.0	2.0	5.8	60.9	18.8	
ayocote cocido (con caldo)	3.3	4.8	2.5	7.3	62.7		20.8
<i>P. polyanthus</i>							
ibes	9.3	4.6	1.0	6.8	62.0	25.5	
<i>P. lunatus</i>							
cultivado crudo	6.9	4.0	1.3	6.0	70.7	18.4	
cultivado cocido	2.1	3.4	1.0	3.5	74.2		17.9
silvestre crudo	9.0	3.9	1.6	5.8	67.5	29.0	
silvestre cocido	6.7	2.2	0.9	4.4	57.7		28.0

Fuentes: Arteaga, 1976, Ortega et al. 1976, Uvalle, 1978, Ortega, 1979, Hernández y Sotelo, 1980, Bruner, 1982, De la Vega y Sotelo, 1986.

como de las tecnologías agrícolas practicadas por los distintos grupos humanos, de sus características morfológicas y fisiológicas, de la representatividad de los materiales resguardados en bancos de germoplas-

ma y de las formas de uso, aprovechamiento y manejo que se hace de estas plantas en distintos ambientes por diferentes grupos étnicos. Un aspecto muy importante a considerar y que permea todo lo anterior, es la problemática de la producción y comercialización del frijol en México a la luz del TLCAN, y del pobrísimo desarrollo socioeconómico bajo el modelo neoliberal impuesto al país, que trae consecuencias graves para la consecución de la soberanía y seguridad alimentarias.

Importancia regional de las diferentes especies de frijol

De *Phaseolus vulgaris*, se tiene las variedades de: frijol mateado, frijol enredador, flor de mayo, bayo, azufrado, peruano, canario, ojo de cabra, pinto americano, negros, mantequilla, jamapa, cacahuate, garbancillo, mayocoba y numerosos nombres comunes más. También de este existen variedades con distintos hábitos de crecimiento: erecto determinado, erecto indeterminado y trepador indeterminado, con ciclos de vida que van de 3 a 10 meses, los colores de la testa varían muchísimo y pueden ser lisos, pintos o rayados; la flor es de color morado o blanco. Se cultivan en todo el país, para grano y para ejote, desde el nivel del mar a 2 500 msnm; las formas silvestres se distribuyen sobre todo a lo largo de la Sierra Madre Occidental y del Eje Neovolcánico Mexicano. Tienen un patrón de consumo diferenciado de tal modo que, en el norte y occidente del país, se prefieren colores claros y no se consume frijol negro, en el centro del país se comen de todos tipos y en las costas del Golfo y el sureste se prefieren los frijoles negros. Se produce como monocultivo y también en asociación con maíz y otras plantas; es la especie con mayor distribución geográfica e importancia económica.

Phaseolus coccineus. Conocido como ayocote, patol o frijolón, es de grano grande y muestra hábitos de crecimiento tanto trepador, como indeterminado y erecto, con variación en la forma, tamaño y colores de la semilla y diferentes diseños en la testa; el ciclo de vida varía entre 3 y 12 meses. De esta especie, suelen aprovecharse las flores, el follaje tierno y también la raíz como alimento, además del grano. Se cultiva a pequeña y mediana escala en 25 estados del país, en zonas

de clima templado y, regionalmente, puede ser de gran importancia económica, como en Durango, donde se selecciona semilla de color blanco llamada patol, que alcanza precios mayores al del frijol común. También es común en regiones indígenas del país como la Sierra Norte de Puebla y los Altos de Chiapas, donde forma parte de la milpa. Las formas silvestres se encuentran en tierras altas del país, a lo largo de los sistemas montañosos y suelen ser aprovechadas para el consumo y venta local de las flores como alimento. La flor es de color rojo o blanco.

Phaseolus dumosus; con nombres comunes en todos los casos: frijol gordo, acalete, patashtle y exoyema, es una especie de gran importancia económica y cultural en la región de la Sierra Norte de Puebla, incluyendo municipios limítrofes de Hidalgo y Veracruz, donde se consume como ejote, grano tierno y grano seco, y alcanza precios que superan al del frijol común. Se cultiva en zonas de clima templado húmedo entre los 1 000 y 1 800 msnm, en los estados de Puebla, Hidalgo, Veracruz, San Luis Potosí, Chiapas y Oaxaca; principalmente en la milpa, asociado al maíz, pero también en monocultivo en sistemas de roza, tumba y quema; tiene hábito de crecimiento indeterminado trepador, y su ciclo de vida es de 6 a 10 meses. La semilla es de tamaño medio, de forma orbicular y el color de la testa es beige o negro; las flores varían de poco más o menos intenso color lila o violeta al blanco. La forma silvestre de esta especie se reporta en Guatemala.

Phaseolus lunatus; frijol comba, navajita o ibes. Es una especie netamente tropical que se cultiva en las tierras bajas y cálidas del país, siendo la Península de Yucatán la región de mayor cultivo y consumo, y en donde se encuentra también la mayor diversidad; tiene semilla grande, ariñonada y de colores lisos o con diseños diversos, blanco, negro, púrpura, amarillo y marrón. Es quizá, la especie con mayor contenido de glucósidos cianogénicos; a tal grado, que en regiones en donde conviven formas cultivadas y silvestres, como en Santa Rosa Loma Larga, Veracruz, si la gente detecta disminución del tamaño de la semilla y un cierto sabor amargo en los cultivados, no los consume.

Phaseolus acutifolius; tépari o escumite. Es la especie domesticada de frijol más adaptada a condiciones de aridez; se encuentra distribuida principalmente en la región noroccidental del país, donde también prospera la forma silvestre. Es de hacerse notar que se cultiva también en el Soconusco, que es una de las regiones con mayor precipitación pluvial en México y muy lejos de sufrir aridez, en donde esta especie es muy estimada y utilizada en la preparación de alimentos de importancia cultural. Se cultiva en pequeñas parcelas como monocultivo; la semilla es más bien pequeña, con colores blanco, negro o pinto y se consume como grano seco.

Seguridad alimentaria y desarrollo sustentable.

El caso de la Sierra Norte de Puebla.

El concepto de seguridad alimentaria ha sido utilizado en diferentes sentidos a lo largo del tiempo. En los años setenta la atención mundial se enfocaba en la oferta global y almacenamiento de alimentos, como factor esencial para responder a la escasa disponibilidad de alimentos en regiones con problema de hambrunas.

En los años ochenta, resultó evidente que la oferta no bastaba por sí sola para asegurar el acceso de la población a los alimentos. Quedó demostrado que las hambrunas ocurren sin que exista déficit de alimentos a nivel mundial, y que el acceso a los alimentos depende de los ingresos y derechos, que individuos y familias puedan tener en el entorno social e institucional donde se desarrollan.

A comienzos de los años noventa, se incorporó el término Seguridad Nutricional, y se consideró que las condiciones de desnutrición no obedecen únicamente al escaso consumo de alimentos, sino que a ello se suman las inadecuadas condiciones de salud en la población (Vega, 2008).

En 1994, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) inició el Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA) que, en 2002, se comenzó a aplicar en México en zonas de alta y muy alta marginación. En el PESA se entiende por

seguridad alimentaria, “el acceso de las familias de las zonas rurales marginadas, a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimentarias, con el objeto de llevar una vida activa y sana, preferentemente basado en el aprovechamiento de los recursos locales, sustentado en aspectos ambientales, sociales y económicos, y con certidumbre en el tiempo”.

Contrario a la idea generalizada de que el hambre y la desnutrición son consecuencia de la gran población mundial actual, la realidad es que la producción de alimentos ha crecido en los últimos 20 años, a una tasa mayor que la población humana; sin embargo, a pesar de esto, 25 000 seres humanos mueren de hambre todos los días (Programa Mundial de Alimentos, 2008).

El caso de la Sierra Norte de Puebla, sirve para ilustrar lo arriba mencionado, ya que si bien, en la región se cuenta con una gran cantidad de recursos naturales alimentarios y el conocimiento tradicional para su producción y aprovechamiento, con un inventario de más de 300 especies de plantas comestibles, incluyendo granos y semillas, frutas, hortalizas, flores, quelites y raíces o camotes, y con un superavit en producción de maíz para la alimentación humana de más de 59 000 toneladas anuales; 53, de los 59 municipios que integran la región, presentan índices de marginación altos y muy altos (Basurto *et al.*, 1998; Basurto *et al.*, 2008; Martínez *et al.*, 1995; Martínez, 2007).

Esta situación de marginación, en condiciones de pobreza extrema, con desnutrición y carencias de todo tipo, hacen realmente difícil aspirar a lograr un modelo de desarrollo sustentable, entendido este como la “satisfacción de las necesidades de la actual generación, sin sacrificar la capacidad de las futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades (Informe Brundtland, 1987).

Fortalezas y oportunidades para el desarrollo

Es claro que el potencial que representan los frijoles en México para lograr la seguridad y soberanía alimentarias es muy alto, pues se cuenta

con muchas ventajas. Al respecto, se tiene en el país la mayor biodiversidad y agrobiodiversidad del género en el mundo, además de contar con las formas y parientes silvestres de las especies cultivadas.

Se cuenta con las instituciones y los recursos humanos capacitados para llevar a cabo trabajos de fitomejoramiento, conservación, aprovechamiento y potenciación de los recursos que representa esta agrobiodiversidad.

Existe en el país un conocimiento ancestral sobre las formas de producción y de transformación para el consumo de estas especies, además de numerosas razas nativas de frijoles, adaptadas a los más diversos ambientes y formas de cultivo, y aunque falta mucho por hacer, cada vez están mejor documentadas.

Sin embargo, todas estas ventajas son desperdiciadas ante el muy pobre desarrollo económico y social del país, carente de una política eficaz de apoyo al campo, que padece niveles extremos de corrupción e impunidad, lo que tiene como consecuencia el que, como nación, no se hayan alcanzado ni la seguridad ni la soberanía alimentarias, llegando al absurdo de que en uno de los muy pocos centros de origen de la agricultura y de domesticación de plantas que se reconocen en el mundo, donde se han originado cerca de un centenar de cultivos, muchos de los cuales tienen, en la actualidad, una gran importancia en la producción de alimentos a nivel mundial, gran parte de la población sobreviva en condiciones de pobreza extrema, sin poder satisfacer los mínimos requerimientos para tener una vida digna, cancelando al mismo tiempo cualquier posibilidad de lograr un desarrollo sustentable.

Conclusiones

Los avances y logros alcanzados en el conocimiento del origen, evolución, domesticación, manejo y producción de frijol en el país son notables; sin embargo, aún persisten lagunas en el conocimiento, sobre todo de la diversidad y características de las formas criollas y de las especies menos conocidas de estos frijoles.

Pese a que México es uno de los países considerados como megadiversos, tanto de plantas silvestres como de cultivadas; en particular, resalta el caso del frijol como uno de los principales recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura, con un valioso conocimiento tradicional acerca de las formas de producción y transformación para el consumo, no se tienen políticas para que el aprovechamiento de todas estas ventajas contribuya al avance y desarrollo del país.

Para el logro de la seguridad alimentaria, que debe considerarse como una estrategia de seguridad nacional, no basta con tener a disposición los numerosos recursos naturales con que cuenta el país, sino que es indispensable un desarrollo económico con enfoque social y totalmente incluyente, que asegure una vida digna activa y sana para toda la población, condición sin la cual, hablar de desarrollo sustentable es mera fantasía.

Referencias bibliográficas

- Acuña, R. (ed). 1985. *Relaciones geográficas del siglo XVI. Tlaxcala*. Tomo segundo. Instituto de Investigaciones Antropológicas. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 484 p.
- Arteaga, M., (1976). *Inhibidores nutricionales en leguminosas comestibles*. Tesis profesional. Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México. 90 p.
- Basurto, F., M. A. Martínez y G. Villalobos. (1998). Los quelites de la Sierra Norte de Puebla, México: Inventario y formas de preparación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 62: 49-62.
- Basurto, F., (2000). *Aspectos etnobotánicos de Phaseolus coccineus L. y P. polyanthus Greenman en la Sierra Norte de Puebla, México*. Tesis Maestría en Ciencias. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 104 p.
- Basurto, F., V. Evangelista, M. Mendoza y A. Aguilar, (2008). Biodiversidad y seguridad alimentaria en el norte de Puebla, México. En: Reyes A.E y Paredes S.J.A. (coord). *Seguridad alimentaria en Puebla: Prioridad para el desarrollo*. Colección "La agricultura en Puebla"

- Serie "seguridad alimentaria" 2. Colegio de Postgraduados Campus Puebla, México. pp. 256-270.
- Bruner, M., (1982). *Análisis químico de 47 genotipos del complejo Phaseolus coccineus L. en México*. Tesis profesional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. México, D. F. 112 p.
- Burkart, A., (1945). *Las leguminosas argentinas silvestres y cultivadas*. ACME Agency, Buenos Aires, Argentina. 590 p.
- Campos, J., (1987). *Enfermedades del frijol*. Editorial Trillas. México, D. F. 132 p.
- Cárdenas, F., J. Muruaga y J. Acosta, (1996). *Catálogo. Banco de Germoplasma de Phaseolus spp.* del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. INIFAP. México, D. F. 421 p.
- De la Vega, A., & A. Sotelo, (1986). The nutritional quality and toxin content of wild and cultivated Lima beans (*Phaseolus lunatus*). *Qual. Plant. Food Hum. Nutr.* 36: 75-83.
- Delgado-Salinas, A., (1985). Systematics of the genus *Phaseolus* (Leguminosae) in Mexico and Central America. Ph.D. dissertation. Austin: University of Texas. 363 p.
- Delgado-Salinas, A., (1988). Variation, taxonomy, domestication and germplasm potentialities in *Phaseolus coccineus*. In: Paul Gepts (ed.) *Genetic resources of Phaseolus beans*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Holland. pp. 441-463.
- Delgado-Salinas, A., (2000). New species of Mexican *Phaseolus* (Fabaceae). *Systematic Botany* 25: 414-436.
- Delgado-Salinas, A., R. Bibler & M. Lavin, (2006). "Phylogeny of the Genus *Phaseolus* (Leguminosae): A Recent Diversification in an Ancient Landscape". *Systematic Botany* 31(4): 779-791.
- Engleman, M., (ed), (1979). *Contribuciones al conocimiento del frijol Phaseolus en México. Introducción general*. Colegio de Postgraduados. Chapingo. Estado de México. pp: 15-22.
- Estrada, E., (1989). *El Códice Florentino. Su información etnobotánica*. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Estado de México. 399 p.
- Evans, A., (1979). Beans. In: N. Simmonds (ed). *Evolution of crop plants*. Longman, London. pp: 168-172.

- Flannery, K., (1986). The problem and the model. In: K. Flannery (ed). Guilá Naquitz. *Archaic foraging and early agriculture in Oaxaca*, Mexico. Academic Press. Orlando FL. pp 3-18
- Freytag, G. F. & D. Debouck, (2002). Review of taxonomy, distribution, and ecology of the genus *Phaseolus* (Leguminosae-Papilionoideae) in North America, Mexico, and Central America. *Sida, Botanical Miscellany* 23: 1–300.
- Gepts, P., (1998). Origin and evolution of common bean: past events and recent trends. *HortScience* 33: 1124–1130.
- Hernández X., E., S. Miranda y C. Prywer, (1959). El origen de *Phaseolus coccineus* L. *darwinianus* Hdz. X. y Miranda C., subespecies nova. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* 20: 99-121.
- Hernández X., E., A. Ramos y M.A. Martínez, (1979). Etnobotánica. En: Mark Engleman (ed) Contribuciones al conocimiento del frijol *Phaseolus* en México. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Estado de México. pp: 113- 138.
- Hernández, I. y A. Sotelo, (1980). Calidad nutritiva del ayocote (*Phaseolus coccineus*) suplementado con metionina en diferentes etapas de la cocción. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* XXX (1): 99-116.
- Jacinto, C., L. Bernal y G. Garza (2002). Food quality of drybean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces from different states of Mexico. *Bean Improvement Cooperative (BIC) Michigan State University* 45: 222-223.
- Kaplan, L. y R. MacNeish, (1960). Prehistoric beans from caves in the Ocampo region of Tamaulipas, Mexico. *Bot. Museum Leaflets*. Harvard University 19(2): 33-56.
- Kaplan, L., (1965). Archeological and domestication in American *Phaseolus* (beans). *Economic Botany* 49: 358-369-8.
- Kaplan, L., (1967). Archeological *Phaseolus* from Tehuacan. In: D. Byers (ed.) *The prehistory of the Tehuacan Valley*. V I. Environment and subsistence. University of Texas Press. Austin pp. 201-211.
- Llaca, V., A. Delgado-Salinas y P. Gepts, (1994). Chloroplast DNA as an evolutionary marker in the *Phaseolus vulgaris* complex. *Theor Applied. Genet.* 88: 646-652.

- Lépiz, R., (1978). Frijol. En: Tarcisio Cervantes (ed). *Recursos genéticos disponibles a México*. SOMEFI. Chapingo, Estado de México. pp. 239-251.
- Martínez, M. A., V. Evangelista, M. Mendoza, G. Morales, G. Toledo y A. Wong, (1995). *Catálogo de plantas útiles de la Sierra Norte de Puebla, México*. Cuadernos 27. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 303 p.
- Martínez, M. A., (2007). Los frutales del norte de Puebla. En: Raúl Nieto (ed). *Frutales nativos de México. Recursos Fitogenéticos para la alimentación y la agricultura*. Universidad Autónoma Chapingo. Servicio Nacional de Información y Certificación de Semillas. Chapingo, México. pp: 139-174.
- Martínez-Castillo, J., D. Zizumbo, H. Perales y P. Colunga, (2004). Intraspecific diversity and morphophenological variation in *Phaseolus lunatus* L. from Yucatan Peninsula, Mexico. *Economic Botany* 58(3): 354-380
- Mercado, P. y A. Delgado-Salinas, (1998). Karyotypic studies on species of *Phaseolus* (Fabaceae-Phaseolineae). *American Journal of Botany* 85 (1): 1-9.
- Miranda, S., (1959). Estudio biosistemático para definir el fenómeno de infiltración genética entre *Phaseolus coccineus* L. y *Phaseolus vulgaris* L. Tesis Profesional. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo. Estado de México. 89 p.
- Morales, N., (2008). Políticas públicas sobre frijol y apertura total del TLCAN. *Revista de Geografía Agrícola* 41: 37-53.
- Ortega, M., (1979). Bioquímica. En: Mark Engleman (ed). *Contribuciones al conocimiento del frijol Phaseolus en México*. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Estado de México. pp. 101-112.
- Ortega, M., C. Rodríguez y E. Hernández X., (1976). *Análisis químico de 68 genotipos del género Phaseolus cultivados en México*. *Agrociencia* 24: 23-42
- Purseglove, J., (1968). Tropical crops. Dicotyledons. Longman. London. 719 p.
- Sahagún, B., (1989). *Historia general de las cosas de la Nueva España*. Introducción, paleografía, glosario y notas por Alfredo López Austin y Josefina García Quintana. 2ª. Ed. CNCA, México, D. F. Tomo II. 508 p.

- Sangerman-Jarquín, D., J. Acosta, R. Schwenstesius, M. Damian y B. Larqué, (2010). Consideraciones e importancia social en torno al cultivo del frijol en el centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1(3): 363-380.
- Schmit, V y D. Debouck, (1991). Observations on the origin of *Phaseolus polyanthus* Greenman. *Economic Botany* 45(3): 345-364.
- Singh, S.; P. Gepts y D. Debouck, (1991). Races of common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae). *Economic Botany* 45(3): 379-396.
- Smartt, J., (1976). Tropical pulses. Longman. London. 348 p.
- Sousa-Peña, M., (1992). Polinización del complejo *Phaseolus coccineus* L. (Fabaceae). Tesis profesional. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- Sousa-Peña, M., A. Wong y A. Delgado, (1996). Pollination dynamics and evolution in the *Phaseolus coccineus* L. complex. In: Barbara. Pickersgill & J. M. Lock (eds). *Advances in Legume Systematic 8: Legumes of Economic Botany*. pp 75-81. Royal Botanic Gardens, Kew.
- Torres, B., (1985). Las plantas útiles en el México antiguo según las fuentes del siglo XVI. En: Teresa. Rojas y W. Sanders. (eds). *Historia de la agricultura. Época prehispánica siglo XVI*. Tomo I. INAH. México, D. F. pp: 53-128.
- Uvalle, A., (1978). Evaluación nutricional de 7 frijoles comestibles del estado de Chiapas. Tesis profesional. Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México.

Referencias electrónicas

- Informe Brundtland. <http://www.un.org>. Consulta: 2010.
- Programa Mundial de Alimentos. 2008. www.wfp.org/spanish/?NodeID=2página. Consulta: 2012.
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. (SIAP). 2010. www.siap.gob.mx. Consulta: 2010
- Vega, A., (2008). www.gestiopolis.com/canales3/ger/segalim.htm. Consulta: 2011.

Capítulo 3. Producción y postproducción de frijol en Cuba

Introducción

El frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*) es de los cultivos domesticados con un registro fósil de los más antiguos. Los hallazgos arqueológicos indican su presencia entre 10 000 - 7 000 años a.C. en Ancash, Perú, Huachichocana, Argentina y en Tehuacán, México (Debouck e Hidalgo, 1985). Por lo que, en su evolución hasta nuestros días, ha sido manejado en un sinnúmero de ambientes y sistemas de cultivos.

En el 2009, según las estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), la producción mundial de frijol fue de 19.7 millones de toneladas. Alrededor de siete millones se produjeron en el continente americano, donde los principales productores fueron Brasil, Estados Unidos y México. Los rendimientos en el área oscilan entre 0.4 hasta 1.9 t ha⁻¹.

Cuba se inserta en este ámbito con una producción de 133 000 t anuales, rendimientos promedios de 1.07 t ha⁻¹ y 32 200 t importadas durante el año 2011; por lo que los niveles de producción aún no satisfacen las necesidades de la población.

Hacia el 2015, el Ministerio de la Agricultura (MINAG), se propone alcanzar una producción de 190 350 t e incrementar los rendimientos hasta 1.4 t ha⁻¹ con el objetivo de reducir las importaciones de este grano.

Para cumplir con esta proyección se incrementan las áreas destinadas al cultivo, se introducen nuevas variedades y se fortalecen las acciones de capacitación, con énfasis en las tecnologías para el manejo agronómico, la cosecha y la postcosecha.

También, se amplían las inversiones destinadas a la adquisición de maquinarias, e infraestructura, así como, al fortalecimiento del programa de mejoramiento genético y producción de semillas, aspectos que han sido identificados como factores limitantes para la producción de este grano en el país.

Estado del arte

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es la leguminosa más importante en la dieta de la población de América Latina por su alto contenido de aminoácidos, como la lisina y metionina, por su riqueza en fibras, proteínas y carbohidratos y bajo contenido de aceite (Castineiras y Rivero, 1998). Según datos publicados por la FAO, aproximadamente el 36% de la producción mundial de esta leguminosa proviene de esta región.

Sin embargo, estas cifras son incompletas, si se tiene en cuenta el gran número de agricultores que producen este cultivo en sus fincas de forma intercalada con otros cultivos; fundamentalmente con maíz, calabaza, entre otros, para su autoconsumo. Estos productores tienen pocos recursos que les permitan implementar tecnologías avanzadas. Por otra parte, se estima que más del 90% de la producción mundial se obtiene bajo condiciones de estrés, por lo que los rendimientos actuales son menores de 600 kg/ha.

Los sistemas comerciales de producción de frijol requieren de fuertes inversiones en maquinaria, fertilizantes, riegos y plaguicidas, la poca accesibilidad a estos recursos limita la obtención de los rendimientos. En Cuba hasta 1993, la mayor cantidad de áreas destinadas al cultivo eran utilizadas por el sector estatal. A partir de 1994, esta situación cambió paulatinamente y en la actualidad el sector privado siembra al-

rededor del 94% de las áreas y produce el 96.63% del volumen total. Al concluir 2001, se registraron 123 914 ha del cultivo, siendo el volumen de producción más elevado en los últimos 22 años, que incluyó productores no especializados, así como producciones obtenidas en parcelas y patios familiares.

Los sistemas de cultivo empleados son: el monocultivo (dentro de un esquema de rotación), el cultivo intercalado y las asociaciones, por lo que existe diversidad de tecnologías para su manejo.

La siembra dentro de un esquema de rotación, o como cultivo intercalado con otros de mayor ciclo económico, se ha incrementado en el sistema de producción de Agricultura Urbana y Suburbana, y ha permitido el incremento sostenido de las producciones.

En pequeñas parcelas, se emplea el sistema de cultivos múltiples en la misma área (de 2 a 4 cultivos), sembrados consecutivamente durante el año o cultivos asociados (dos o más cultivos sembrados al mismo tiempo en la misma área).

Los arreglos son variables; por ejemplo, boniato-maíz-frijol; calabaza-frijol-maíz y girasol-frijol. La asociación más común es entre maíz y frijol con diferentes arreglos (de 2-7 hileras de frijol y 1-4 hileras de maíz; dentro de cada hilera de frijol- maíz cada cierta distancia (5 m). También se puede encontrar asociado con yuca, maní y ajonjolí, y entre las franjas de los frutales.

Las ventajas de estos sistemas radican en el uso más eficiente del terreno, mayor cuidado y conservación del suelo, así como, baja utilización de insumos y mano de obra; sin embargo, es necesario profundizar en estudios que permitan evaluar las mejores combinaciones para obtener mayores rendimientos, lo que depende de la habilidad competitiva de los cultivares.

Actualmente, existen inscritas 37 variedades de frijol común en la Lista Oficial de Variedades Comerciales, algunas de ellas son las siguientes:

Aluvas Blancas Españolas; BAT- 482,-304,-58; Bolita-42; Borinquen jaspeado; Cuba C-25-9-B, C-25-9-C y C-25-9-N; Guamá-23; Güira-89; Hatuey-24; INIVIT Puntí Blanco; Liliana; Tomeguín-93; Velazco Largo y Wacuto.

La colección tradicional de frijol del Banco de Germoplasma del Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical (INIFAT), está compuesta por 344 accesiones colectadas en el país, entre los años 1982-2008. El 40.2% de ésta, presenta el color del hipócotilo verde morado, el 21.7% morado, en su mayoría cultivares de grano negro, y el 38.1% de color verde, combinados con siete colores para los cotiledones: morado, amarillo, verde, rosado y el resto de dos colores. El ciclo del cultivo que predomina para el país está entre 75 y 89 días y el hábito de crecimiento II b y II, y solo cinco accesiones de hábito IV. El 85% de los cultivares es de semilla pequeña (<25 g por 100 semillas).

El rendimiento varía entre 3.87 y 28.29 g/planta en parcelas experimentales, sembradas a una distancia de 10 cm entre plantas. Donde más del 50% de las accesiones han presentado promedio superior a la media de la serie de cultivares evaluados.

Existe un gran número de variedades criollas tradicionales, que se han manejado por mucho tiempo en las fincas y se encuentran muy bien adaptadas localmente a determinadas áreas del país. Estas variedades son nombradas fundamentalmente por el color del grano, entre otros: Frijol negro brillante, Jaspeado, Mulato, por la forma del grano: Bolito, Grande, Pequeño; por el lugar de procedencia: Angolano, Camagüeyano, Criollo, Haitiano, Mayaricero; por la dureza del grano: Mantequilla, Mantequero y por la duración del ciclo: Negrito de 90 días y Negro de 60 días.

La siembra del grano se realiza en diferentes tipos de suelos, generalmente de topografía llana, con fertilidad variable, dependiendo de la región. Se recomienda aplicar 160 kg/ha⁻¹ de N y se complementa con la aplicación de cepas autóctonas de *Rhizobium* específicas para cada

tipo de suelo. En cuanto al P y K se recomiendan de 69 a 119 kg/ha⁻¹ de P₂O₄ y 37 kg/ha⁻¹ de P (Chailloux *et al.*, 1996).

La época óptima de siembra está enmarcada entre el 15 de octubre y el 30 de noviembre, fecha en la que se requiere garantizar el riego en las etapas críticas de germinación, emergencia, floración y el llenado de los granos ya que coincide con la época de secas.

Existen variedades como la BAT 93-1 y 93-C; Cuba C 25- 9-R; P-186, -2174, -2258 y -1590; Wacuto resistentes a la sequía; otras como la Pilón, P-456 y -2240, con tolerancia intermedia, las que se tienen en cuenta en las estrategias de siembra frente al cambio climático. La sequía afecta el rendimiento ya que puede generar pérdidas entre el 10 y 100%.

Las siembras en épocas tempranas (1 septiembre- 15 octubre) pueden prescindir del riego, aunque es un periodo altamente riesgoso por la alta pluviometría y la aparición de enfermedades bacterianas en el cultivo. Siembras realizadas después del 15 de diciembre, son propensas a ser dañadas por royas. La incidencia de las plagas limita en gran medida a los rendimientos y se señala un problema en los últimos años, por el Virus del Mosaico Dorado del Frijol, transmitido por la mosca blanca (*Bemisia tabaco*) (Martinez *et al.*, 2007). Otras plagas de importancia económica son: *Diabrotica balteata*, *Cerotoma ruficornis*, *Bemisia tabaci*, *Liriomyza trifolii*, *Thrips palmi*, *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*, entre otras de menor impacto.

Este cultivo es invadido por más de 60 especies de malezas entre las que se destacan, por las pérdidas económicas que ocasionan: *Cyperus rotundus* (Cebolleta), *Sorghun halepense* (Don Carlos), *Echinochloa colona* (Metabravo) y *Parthenium hysterophorus* (Escoba Amarga); (Chailloux *et al.*, 1996). El manejo de las mismas es uno de los elementos a tener en cuenta para la gestión agrícola integrada.

El Manejo Integrado de Plagas (MIP), ha sido la alternativa practicada en grandes extensiones que ha permitido obtener mayor eficacia,

menor impacto ambiental, menores costos y mayor inocuidad de los productos agrícolas.

Producción de semillas de frijol

En la actualidad se realiza de forma paralela en dos sistemas de producción: el sistema formal y el informal.

El sistema formal, como ocurre en la mayoría de los países, lo conforman las empresas de semillas, los bancos de semillas, los institutos de investigación o sus estaciones experimentales, las casas comerciales de semillas etc., los cuales garantizan la calidad genética, física y fisiológica de este insumo.

El sistema informal, es por el cual los campesinos acceden a las semillas directamente en las fincas, e incluye las organizaciones, individuos e instituciones relacionadas con la producción de semillas. Dentro de este sistema pueden existir organizaciones, tales como: cooperativas y bancos comunitarios, encargados de la conservación de la diversidad de variedades y especies a nivel local y que generalmente responden por el mantenimiento de determinados lotes de semillas conservados por los agricultores (Shagarodski *et al.*, 2007).

Sistema formal para la producción de semillas de frijol

La producción se realiza a través de la Empresa Productora y Comercializadora de Semillas, que tiene ámbito estatal y nacional. La multiplicación de la semilla se realiza a través de las unidades de producción de semillas o de la contratación de agricultores locales, bajo asesoramiento y control de los órganos especializados: Empresas Territoriales de Semillas del Ministerio de la Agricultura de Cuba (MINAG) y la Dirección de Inspección y Certificación de Semillas, dirigida por el Centro Nacional de Sanidad Vegetal.

Existe un subprograma de semillas dentro del Programa de Agricultura Urbana y Suburbana, que ha permitido la multiplicación de esta

especie a través de la selección de productores líderes y unidades productivas que han mostrado buen desempeño. Estos productores, con el asesoramiento de investigadores y obtentores de las variedades que patrocina el INIFAT, han multiplicado semillas de categoría original y básica, lo que ha hecho posible la ampliación de la semilla y la generalización de variedades de frijol con buen comportamiento regional.

Sistema informal para la producción de semillas de frijol

En la mayoría de las comunidades rurales agrícolas de los países en desarrollo, se utilizan fuentes tradicionales o informales de semilla. Por ejemplo, más del 50% del área de producción de maíz y arroz en México y Nepal, respetivamente, y más del 90% del área de producción de mijo en Burkina Faso, son cultivadas con variedades tradicionales (Upadhaya, 1996; Peraoes, 1998), citados por Hodgkin *et al.*, (2011).

En Cuba, en las últimas dos décadas el sistema formal de semillas, redujo significativamente sus niveles de producción, por lo que se incrementó el número de productores que cosechan sus propias semillas, con énfasis en aquellos que producen en sistemas urbanos, cuyas demandas se han incrementado en la medida que se ha expandido y perfeccionado este sistema productivo a lo largo del país.

El Subprograma de Semillas del Programa Nacional de Agricultura Urbana y Sub Urbana, ha contribuido grandemente a la sostenibilidad de este sistema productivo, ya que productores deben producir su propia semilla, con el apoyo del MINAG, que tiene en su estructura una red de fincas municipales de semillas asesoradas por especialistas de alto nivel científico.

La vinculación de los sistemas formales de producción de semillas con los del sector informal como política del gobierno, ha fomentado el acceso de los agricultores a nuevas variedades, lo que se corresponde con la estrategia sugerida por la FAO en este importante tema.

Sin embargo, es necesario fortalecer esta vinculación para elevar la calidad de las semillas, ya que en la mayoría de las fincas se comienza a tratar el grano como semilla a partir de la cosecha, por lo que durante el ciclo del cultivo, este se maneja como grano para consumo humano y no se le da una atención dirigida a garantizar una semilla de calidad para la próxima cosecha.

Situación y perspectivas del manejo postcosecha

Según estimados conservadores, más del 10% de la producción mundial de granos se pierde después de la cosecha (Yanucci, 2005); cifras que, en los países tropicales y subtropicales, llegan a tener valores que oscilan entre el 25 y 50% y en algunos casos son superiores a estas cifras.

Estudios recientes realizados por Gustavsson *et al.* (2012), permitieron conocer que alrededor del 21% de las oleaginosas y legumbres producidas en América Latina, se pierden a través de la cadena productiva con valores promedios del 15%. en las etapas comprendidas desde la manipulación y almacenamiento en la postcosecha, procesamiento y envasado, hasta la distribución y consumo.

A nivel de campo, en Cuba se ha definido que, en el cultivo del frijol, el grado de enmalezamiento en el momento de la cosecha, es el indicador agronómico que más incide en la eficiencia de la trilla y, por tanto, afecta la calidad de esta operación; sin embargo, no se han realizado estudios concluyentes sobre los niveles de pérdidas que ocurren durante ésta.

A nivel de almacén, la introducción de la tecnología de conservación de granos en silos metálicos en la región Occidental y Oriental, ha sido muy exitosa ya que ha permitido conservar los granos que utilizan los campesinos en su alimentación, con pérdidas mínimas.

Estudios realizados por Permuy *et al.* (2008) en el municipio de Gibara, Holguín, mostraron que los productores de frijol no siempre realizan

prácticas adecuadas para el manejo de los granos antes de ser almacenados, ni todos disponen de estructuras de almacenamiento que les permita guardar un mayor volumen del grano en un período más prolongado, donde se mantenga tanto la cantidad como la calidad.

Estos estudios revelaron que existen cinco tipologías para el manejo postcosecha en dependencia de la humedad inicial del grano, estructura de almacenamiento y del local de almacenamiento, y que el porcentaje de daños causados por hongos e insectos, a los 120 días de almacenamiento, osciló de 0.3 a 6.6%, siendo la humedad inicial del grano el factor que más influyó en los niveles de pérdidas. Estos autores concluyeron que las pérdidas pueden llegar hasta 10% de acuerdo a las condiciones de almacenamiento.

La proyección actual del MINAG en esta importante temática, se dirige hacia la determinación de los niveles de pérdidas por grupos de cultivos, donde los granos ocupan un importante rubro para que, sobre la base de esta cuantificación, se puedan establecer estrategias de reducción, que permitan incrementar la disponibilidad de granos con la consiguiente disminución de las pérdidas en cantidad y calidad de las producciones obtenidas.

Se prevé la implementación de un sistema de manejo postcosecha en el futuro, con un enfoque de sistema, que incluye factores de manejo agronómico durante la etapa de precosecha y manejo tecnológico de la cosecha, secado y almacenamiento.

El enfoque del sistema abarca elementos tan importantes del cultivo, como el proceso de formación de los rendimientos y su relación con las actividades de precosecha, a partir de los cuales se describe la fenología del cultivo y cada fase de crecimiento determina un estado fisiológico diferente, que permite establecer el óptimo momento de cosecha para minimizar la pérdida de rendimiento.

Los productores cubanos utilizan diferentes métodos prácticos para determinar el momento óptimo de cosecha. Fundamentalmente se

basan en los cambios que ocurren en la planta como: la caída de las hojas e inicio del secado de la misma planta, el cambio de coloración de las vainas, la disminución del contenido de humedad del grano, la aparición en el grano del color y formas características de la variedad y la aparición de las primeras vainas secas que se abren fácilmente.

El contenido de humedad de la masa de granos es fundamental y complementa la decisión de efectuar la cosecha. En las condiciones rurales, generalmente no se cuenta con equipos medidores de humedad, por lo que se utilizan métodos empíricos como: apretar el grano entre los dedos índice y pulgar, si al hacer esta operación el grano se deforma con facilidad o emite un líquido blanquecino (lechoso), no estará óptimamente formado; rallar el grano con la uña, si el grano no está lechoso y se raya fácilmente todavía tendrá humedad en exceso; por el contrario, si la ralladura es leve, tendrá valores adecuados de humedad para la cosecha, y si no se deja rayar estará con una humedad inferior al 18 %; morder los granos con los dientes caninos, si al hacer esta operación el grano se parte en dos o tres partes después de ofrecer cierta resistencia, estará en humedad óptima de cosecha y trilla; por el contrario, si se fragmenta y ofrece mucha resistencia, la humedad será muy baja y si se aplasta con facilidad será alta y, finalmente, a través del sonido característico, la experiencia indica que cuando los granos están secos y se agitan entre las dos manos o se dejan caer, emiten un sonido característico que disminuye la intensidad al aumentar el contenido de humedad.

52

Decidido el momento de la cosecha, esta se realiza de forma bifásica (arranque- ahilerado de las plantas en el campo de forma manual y trilla mecanizada) o ambas actividades completamente manuales.

Se emplean trilladoras convencionales, y son muy difundidas las trilladoras “criollas” fabricadas y reparadas con elementos de otras máquinas y la innovación de los propios campesinos.

Las operaciones de limpieza comúnmente se realizan utilizando máquinas de aire y en pequeñas fincas se emplea la velocidad del viento.

El clima tropical húmedo de Cuba, caracterizado por los altos valores de temperaturas y de humedad relativa ambiental, obliga a los productores a secar sus granos por debajo del 13% para evitar riesgos por deterioro, debido a la presencia de plagas y focos de calentamiento, que destruyen la masa de los granos en un corto tiempo. Es común en las fincas realizar esta operación aprovechando la energía solar y, también, utilizando secadores industriales que permiten manejar mayores volúmenes de granos en tiempos cortos.

El almacenamiento se realiza utilizando diversas formas. La selección de los locales y depósitos para almacenar los granos depende de las condiciones y los medios que posee el agricultor. A nivel rural, pueden emplearse los sacos, tanques plásticos, recipientes metálicos, construcciones a base de arcilla y madera o láminas plásticas para lograr cierta impermeabilidad entre otras alternativas.

La principal fuente de deterioro de los granos son los insectos. Se conoce en Cuba, la existencia de 56 especies, agrupadas en 33 géneros y 15 familias, solamente del orden Coleóptera, y 6 géneros y 4 familias en el orden Lepidóptera los cuales, en su conjunto, constituyen los grupos económicamente más importantes. En el caso particular de los ácaros (arañuelas) hay registradas 16 especies hasta el año 1990 (Avilés y Cañet, 1996).

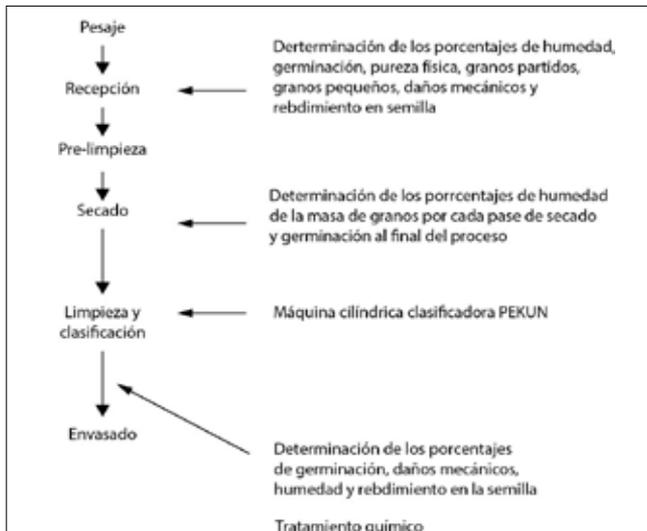
Dentro del grupo de los microorganismos, los más importantes son los hongos y de ellos se han reportado un elevado número de especies, algunas de las cuales, son capaces de producir toxinas dañinas para el hombre y los animales.

En cuanto a los vertebrados, los más importantes en Cuba son los roedores los que, además de comerse los granos, los contaminan con excretas, orinas, pelos, etc., así como con agentes transmisores de enfermedades. En el país, se han registrado hasta ahora, tres especies dañando los alimentos almacenados *Rattus rattus* (rata negra), *Rattus norvegicus* (rata de alcantarilla, rata gris) y *Mus musculus* (ratón).

Dentro de los métodos de control de plagas en granos almacenados, se destaca el uso de materiales inertes, aceites vegetales y otros productos de origen vegetal, gases de combustión, productos volátiles, eliminación de oxígeno por combustión interna, lucha biológica, trampas de luz, trampa de colores y el control integrado.

Estudio de caso: Calidad de la semilla de frijol en el sistema formal

El área en estudio se ubicó en la planta de beneficio "El Tomeguín", perteneciente a la Empresa Comercializadora de Semillas Varias, ubicada en el municipio de Alquizar, provincia Mayabeque, a 82° 54'44" longitud Oeste y 22°82'78" latitud Norte, durante las campañas 2006, 2007 y 2008, donde se recibieron lotes de semillas procedentes del sistema formal de producción, de las provincias de Artemisa y Mayabeque. En este período se beneficiaron un total de 277.39 t de frijol de diferentes variedades, fraccionadas en 92 lotes cosechados por 49 productores de frijol, semillas que se procesaron utilizando el diagrama que se muestra en la Figura 1.



Fuente: elaboración propia.

Figura 1. Diagrama de flujo de la planta de beneficio de semillas.

Las variedades de frijol estudiadas se muestran en el Cuadro 1. Para la evaluación de los indicadores de calidad de las semillas, las muestras fueron tomadas al azar, en diferentes zonas de cada lote, según establece la norma cubana MINAG, (1994). Las variables y los límites de tolerancia, según el instructivo para el procesamiento, fueron las siguientes: contenido de humedad de entrada entre el 14 y 18% (cuando sobrepase el límite superior se debe efectuar la aireación antes del secado), pureza física de entrada > 90%, granos partidos < 3%, granos pequeños < 10%, rendimiento en semilla > 80%, daño mecánico < 10%, germinación > al 80%.

Se realizó el análisis estadístico de los datos, empleando el programa SPSS versión 11.5 (2002), para calcular los principales parámetros estadísticos y la correlación entre las diferentes variables, así como para el análisis de componentes principales (ACP), a partir de la transformación de los datos originales en $\arcsen \sqrt{\%}$. Los criterios de selección de auto valores y auto vectores en el ACP, fueron los recomendados por Fundora *et al.*, (1992), donde se tomaron los auto vectores mayores que 1 y auto valores que oscilaron entre valores muy cercanos al de la variable original de mayor valor registrado.

Los principales parámetros estadísticos de las variables que determinan la calidad de las semillas a la entrada de la planta de beneficio, se muestran en el Cuadro 2. El mejor momento de cosecha no constituyó una limitante para los productores, estos tomaron la decisión de iniciar la cosecha con el empleo de métodos empíricos, y lo hicieron en el momento óptimo cuando las semillas alcanzaron alrededor del 13 al 15%

Cuadro 1. Variedades de frijol estudiadas mediante el sistema formal de producción de semillas, procedentes de las provincias de Artemisa y Mayabeque durante los años 2006, 2007 y 2008.

Cuba-C- 25-9 negro, rojo y blanco	Bat 482	Delicia 364 rojo
Bonita 11 rojo y blanco	Bat 304 negro	Güira 89
Velazco largo rojo	ICA Pijao negro	

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 2. Indicadores de calidad de la semilla de frijol procesada en la planta de beneficio “El Tomeguín”

Variable (%)	Parámetros estadísticos			
	Media	Máximo	Mínimo	Desviación Estándar
Contenido de Humedad	16.08	32	11.5	3.25
Pureza física	97.42	99.4	93.2	1.40
Granos partidos	0.37	3.6	0	0.70
Granos pequeños	3.35	12.4	0	2.56
Rendimiento en semillas	95.27	99	84	2.91
Germinación	87.85	98	43	8.71
Daños mecánicos	3.89	8	0	1.52

Fuente: elaboración propia.

de humedad, aunque se encontró un lote aislado de un productor, que cosechó con elevados contenidos de humedad y con germinación del 43%, lo que motivó el rechazo durante la recepción y muestreo.

De manera general, los valores de porcentaje de pureza física, granos partidos, germinación y daños mecánicos, se comportaron en correspondencia con lo establecido por la norma, exceptuando el lote anteriormente señalado.

Por otra parte, se encontró que durante los tres años evaluados un total de 49 productores beneficiaron sus semillas en esta instalación, y el 65.30% de los mismos entregaron sus semillas durante un solo año; solamente el 18% entregó sus semillas durante dos años y el 16% entregó más de un envío en un mismo año. Esta situación indicó la inestabilidad en la selección de los productores de semillas de frijol, y la necesidad de implementar un sistema de capacitación participativa, donde se incluyan elementos agronómicos del cultivo, así como metodologías de trabajo para la implementación de tecnologías de cosecha y postcosecha. Uno de los elementos fundamentales para lograr el éxito en la producción de semilla de alta calidad, es la selección de las áreas y productores según su desempeño (Vega, 2008).

El (ACP) (Cuadro 3) indicó que los tres primeros componentes extra-
 jeron el 61.99% de la variabilidad total, correspondiendo el 28.48%
 al primer componente, el 19.02% al segundo y el 14.49% al tercero.
 Las variables de mayor contribución en el primer componente fueron:
 el contenido de humedad, granos partidos, granos pequeños y rendi-
 miento en semillas; en el dos, el porcentaje de germinación de entrada
 y en el tercero el porcentaje de pureza física.

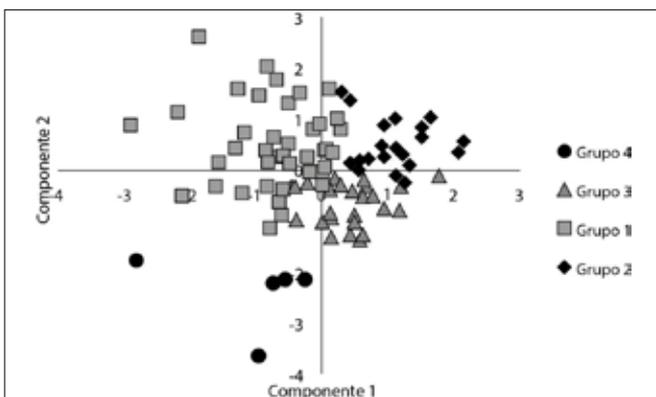
El agrupamiento de los lotes (Figura 2), mostró la existencia de cuatro
 grupos cuya composición se presenta en el Cuadro 4 y los valores pro-
 medio de indicadores de calidad en el Cuadro 5.

En el Cuadro 4 se confirma que, en todos los grupos, se ubicaron va-
 riedades de los tres colores de grano (negro, rojo y blanco), exceptuan-
 do el grupo 4 que carece de variedades de color rojo; aunque contó
 con el 17.39% de variedades de color blanco.

Cuadro 3. Análisis de componentes principales (ACP) con las variables que definen la calidad de la
 semilla de frijol en la planta de beneficio

	Componente 1	Componente 2	Componente 3
Valor propio	2.56	1.712	1.304
% Varianza	28.48	19.02	14.49
Porcentaje acumulado	28.48	47.50	61.99
Peso de componentes	C1	C2	C3
Contenido de humedad	.736	-.090	.409
Pureza Física	.143	.325	-.521
Granos partidos	-.508	.211	-.141
Granos pequeños	-.610	-.084	.477
Rendimiento en semilla	.735	.009	-.580
Germinación	.094	.847	.310
Daño mecánico	.420	-.228	.217

Fuente: elaboración propia.



Fuente: elaboración propia.

Figura 2. Agrupamiento de lotes de frijol según los resultados del ACP.

Cuadro 4. Composición de los grupos obtenidos del análisis de ACP, con relación al total de lotes recibidos y representatividad del color del grano

Grupo	Número de lotes que componen el grupo	% de composición con relación al total de lotes	Composición del grupo según el porcentaje de variedades de granos de diferentes colores con relación al total de lotes recibidos de cada color (%)		
			Negro	Rojo	Blanco
1	40	43.47	36.73	55	47.82
2	20	21.73	26.53	20	13.04
3	27	29.34	34.69	25	21.73
4	5	5.43	2.04	0	17.39

Fuente: elaboración propia.

El grupo 1 se conformó con el 43.47% del total de lotes, donde se ubicó el 36.73% de negro, el 55% de color rojo y el 47.82% de las variedades de color blanco.

El grupo 2 reunió a 21.73% del total de lotes en estudio, compuesto por el 26.53% de los lotes de variedades de color negro, 20% de color rojo y 13.4% de color blanco.

El 3 se conformó con el 29.34% del total de lotes, con un 34.69% del total de lotes con semillas de variedades de color negro, 25% de color rojo y 21.73% de color blanco.

Finalmente, el grupo 4 concentró el 5.43% del total de lotes, con un 2.04% de los lotes de semillas de color negro y 17.39% de variedades de color blanco. En la literatura se dice que estos granos son más sensibles al deterioro en campo, y soportan menos la manipulación; característica que debe señalarse como importante para realizar acciones de capacitación dirigidas a campesinos, así como al diseñar tecnologías postcosecha para estas variedades.

En el cuadro 5, se analizan los siguientes valores promedio de los indicadores más importantes de la calidad de la semilla.

La diferencia fundamental entre los cuatro grupos, radicó en los porcentajes promedio de contenido de humedad de los lotes a la entrada de la planta de beneficio, indicador de la humedad de cosecha y/o de las condiciones de humedad relativa en el momento de esta operación y su transportación hacia el centro de beneficio.

Cuadro 5. Valores promedios de los indicadores de calidad de la semilla de frijol, en los diferentes grupos derivados del Análisis de Componentes Principales

Variable (%)	Grupos			
	1	2	3	4
Contenido de Humedad	14.35	16.84	18.14	14.93
Pureza física	97.48	98.08	97.03	96.34
Granos partidos	0.60	0.32	0.08	0.54
Granos pequeños	4.92	1.70	2.47	3.45
Rendimiento en semilla	93.68	96.84	96.28	95.04
Germinación	89.05	94.00	84.85	68.00
Daños mecánicos	3.42	4.32	4.52	4.00

Fuente: elaboración propia.

El manejo de los lotes en función del contenido de humedad de la masa de semillas, varió con un descenso en la germinación, tanto en lotes con menor humedad como en los que esta variable fue superior al 18%. Esta situación, comúnmente, se asocia a la falta de control en las regulaciones de cilindro y cóncavo en los sistemas de trilla en función del contenido de humedad, que pueden dañar el grano, por lo que se afecta la germinación (Bragachini y Peiretti, 2002).

En el grupo 1, que agrupó el mayor porcentaje de lotes en estudio, tuvo como promedio un 4.92% de granos pequeños, superior al resto de los grupos. Aunque este valor se encuentra dentro del límite de tolerancia de la norma, los productores deben prestar atención durante la etapa de pre cosecha, y tener en cuenta que las siembras tardías de este cultivo propician el incremento de plagas en el campo, lo que hace que disminuya el tamaño de los granos y los rendimientos (Martínez *et al.*, 2007).

Se destaca el grupo 2 como el de mejor desempeño, pues con contenidos de humedad de la masa de semillas del 16.84%, logran minimizar la pérdida de germinación de sus lotes.

Para el grupo 3, el contenido de humedad de 18.14% mostró una germinación de 84.85%.

Se muestra particularmente que en el grupo 4, que reunió cinco lotes (5.43% del total), los valores de germinación disminuyeron drásticamente.

Al realizar la matriz de correlaciones entre las variables de mayor contribución (Cuadro 6), se encontró que el rendimiento en semilla se correlacionó positivamente con el porcentaje de humedad y de pureza física y, de forma negativa, con el porcentaje de granos partidos y granos pequeños. Estos resultados confirman la importancia de establecer un PC durante las operaciones de trilla y limpieza, de manera que se minimicen los efectos indeseados de la presencia de restos vegetales en la masa de granos, así como de granos partidos.

Cuadro 6. Matriz de correlaciones entre las variables de mayor contribución resultantes del Análisis de Componentes Principales.

	Humedad	Pureza física	Granos partidos	Granos pequeños	Rendimiento en semillas	Germinación
Humedad	1					
Pureza física	-.010	1				
Granos partidos	-.813(**)	.022	1			
Granos pequeños	-.166	.011	.092	1		
Rendimiento en semillas	.801(**)	.616(**)	.894(**)	-.664(**)	1	1
Germinación	.059	.057	.069	-.029	-.056	

** La correlación es significativa al nivel 0.01.

Fuente: elaboración propia.

La presencia de granos pequeños indica el establecimiento de un punto crítico en las labores pre cosecha, con énfasis en el control de plagas, manejo del riego en la fase de floración y llenado de los granos (Días, 2001).

Finalmente, el porcentaje de humedad de entrada se correlacionó con el porcentaje de granos partidos, por lo que se requiere del establecimiento de un ACP durante la trilla, operación que debe efectuarse con variaciones en el régimen de trilla en función de la humedad de los granos.

El ejemplo de caso se terminó con los resultados del Cuadro 7.

Conclusiones

Para incrementar los rendimientos y la calidad del frijol en Cuba, se requiere aplicar el enfoque de sistema, que incluya los factores de ma-

Cuadro 7. Principales Puntos de Control establecidos a partir de las correlaciones entre las variables y los resultados del Análisis de Componentes Principales

Efectos cuantificados	Causas	APC	Factores
Existencia de lotes de frijol con baja calidad en indicadores	Manejo del grano durante operaciones precosecha y cosecha	Capacitación de los productores	Desempeño de los productores
Humedad y pureza física	Momento de cosecha Regulación de las combinadas o trilladoras en dependencia de la humedad del grano en el momento de la trilla	Pre cosecha y cosecha	Agronómicos y tecnológicos de cosecha
Daños mecánicos Granos partidos Germinación	Momento de cosecha Regulación de las combinadas o trilladoras en dependencia de la humedad del grano en el momento de la trilla	Precosecha y cosecha	Agronómicos y tecnológicos de cosecha

Fuente: elaboración propia.

nejo agronómico durante la etapa de pre cosecha, manejo tecnológico de la cosecha, secado y almacenamiento, aspectos que en la actualidad son deficientes.

La falta de control en las regulaciones de cilindro y el cóncavo durante la trilla en función del contenido de humedad, fue la causa principal de la pérdida de calidad de las semillas.

Es necesario incrementar el rigor en la selección de los productores de semillas de frijol que abastecen el sistema formal de producción de este insumo, así como las acciones de capacitación.

Se debe continuar fortaleciendo los vínculos entre el sistema formal e informal de semillas, que permitan el uso de variedades adaptadas en diferentes localidades del país, así como mejorar la disponibilidad de tan importante insumo en la alimentación.

Referencias bibliográficas

- Alimport, (2013). Empresa Comercializadora de Alimentos. Estadísticas.
- Avilés, P.R y F. Cañet, (1996). Protección de los granos almacenados en condiciones de bajos insumos En: Curso Taller “Gestión medio ambiental de desarrollo Rural”. La sostenibilidad como vía alternativa en las unidades de producción agropecuaria. INIFAT-CIARA, pp: 113-143.
- Bragachini, M., J. Peiretti, (2002). “La cosechadora como factor determinante en la calidad del grano obtenido”. Cuaderno de Actualización Técnica PRECOP No. 5. INTA EEA Manfredi. Proyecto Eficiencia de Cosecha y Postcosecha de Granos.
- Castiñeiras, L y N. Rivero, (1988). Variabilidad morfológica y fenológica en *Phaseolus vulgaris* L. Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical (INIFAT), La Habana, Cuba.
- Chailloux, M., G. Hernández, B. Faure y R. Caballero, (1996). “Análisis y comentarios producción de frijol en Cuba: Situación actual y perspectiva inmediata” *Agronomía Mesoamericana* 7 (2):98-107.
- Días, D.C.F., (2001). “Maduración de la semilla” *Seednews* V (6): 16-18.
- Debouck, D., R. Hidalgo, (1985). Frijol: Investigación y Producción. CIAT 417 pp.
- FAO, (2011). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Ahorrar para crecer. Guía para los responsables de las políticas de intensificación sostenible de la producción agrícola en pequeña escala 78 pp.
- FAOSTAT, (2010). FAO Dirección de Estadística 2010, 12 diciembre 2010
- Fundora, Z., R.Vera, E. Yaber y O. Barrios, (1992). “La Estadística Multivariada en la Sanidad Vegetal” Editado por el CID-IISV, 47 p.
- Gustavsson J., Ch. Cederberg, U. Sonesson, R. Van Otterdijk y A. Meybeck, (2012). Pérdidas y desperdicios de alimentos en el mundo. Alcance, causas y prevención. Estudio realizado para el Congreso Internacional SAVE FOOD! en Interpack 2011 Düsseldorf, Alemania.
- Hodgkin. T, R. Rana, J. Tuxill, D. Balma, A. Subedi, I. Mar, D. Karamura, R. Valdivia, L. Collado, L. Latournerie, M. Sadiki, M. Sawadogo,

A.H.D. Brown, y D.I. Jarvis, (2011). "Sistemas de semillas y diversidad genética de los cultivos en sistemas agrícolas", en El manejo de la biodiversidad en los sistemas agrícolas. D.I. Jarvis, C. Padoch, y H.D. Cooper (coords., 2011). pp 82-121.

Lineamientos (2013). Ministerio de la Agricultura de Cuba. Grupo Nacional de Agricultura Urbana y Suburbana.

Martínez, E., G, Barrios, L, Rovesti y R. Santos, (2007). "Protección de cultivos" en: Martínez, E., G, Barrios, L, Rovesti y R. Santos "Manejo Integrado de Plagas. Manual Práctico. pp 19-23.

MINAG, (1994). Ministerio de la Agricultura de Cuba. Instructivo de procesamiento de semillas en las plantas de beneficio de las empresas productoras de semillas varias.

MINAG, (2000). Ministerio de la Agricultura de Cuba. Guía técnica para el cultivo del frijol en Cuba. Instituto de Investigaciones Hortícola "Liliana Dimitrova".

MINAG, (2010). Ministerio de la Agricultura de Cuba. Informe, Grupo de granos: Plan estratégico de producción de frijol hasta el 2015.

MINAG - CNSV, (2012). Ministerio de la Agricultura de Cuba – Centro Nacional de Sanidad Vegetal. Lista Oficial de Variedades Comerciales 2012. Registro de variedades comerciales. Dirección de Certificación de Semillas.

Permuy, N., O. Chaveco, J. González, E. García y N. Hidalgo, (2008). "Pérdidas de grano de frijol común en un sistema de almacenamiento tradicional". Agricultura Técnica en México Vol. 34 Núm. 1 Enero-Abril p. 91-100.

Shagarodski, T., L. Castiñeira, O. Barrios, N. León, L. Fernández, R. Avilés, J. Fresneda, N. González, A. Rodríguez M., A. Rodríguez N., V. Moreno, C. Giraudy, M. García, F. Hernández, D. Arzola, N. Fraga, Z. Fundora, R. Cristobal y R. Orellana, (2007). Prácticas de Manejo de Semillas para la conservación de la Biodiversidad Agrícola Tradicional. Material de capacitación para Agricultores del Sistema Informal de Semillas 55 pp.

Vega, M., (2008). Bases científicas para la implementación de tecnologías a la medida para la cosecha y beneficio de la semilla de soya Glycine Max. (L) Merrill. Tesis presentada en opción al grado de Doctor en Ciencias Agrícolas, 88 pp.

Yanucci, D., (2005). Manual de Prácticas de Manejo Recomendadas Postcosecha de Granos. 6º Libro de Actualización. Proyecto Incremento de la Eficiencia Energética y Productiva en la P y ME Argentina. 125 pp.

Referencia electrónica

CUBA-SUIZA: Cambios de vida. www.cosude.cu (2005). Consulta: 2012.

Capítulo 4. Producción y postproducción de arroz (*Oriza sativa* L.) en México y la importancia en la seguridad alimentaria

Introducción

En México, en los últimos 23 años, el cultivo de arroz ha sufrido un notable decremento, tanto de la superficie sembrada como de los volúmenes de producción, esto en primer lugar, se ha debido a la competencia desleal que provocan las importaciones de arroz de Estados Unidos, dentro del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) que se estableció en 1994. Otros factores que también han influido de manera importante, son la reducida capacidad de apoyos por parte de las instituciones que financian proyectos de investigación agrícola, así como las limitaciones de crédito a los productores y la falta de asistencia técnica al campo, entre otros. La interacción de estos factores se ha reflejado en que los problemas de la producción de arroz y de la industria de transformación, se hayan multiplicado considerablemente en el país durante este lapso (Bartra, 2005).

Para estar en posibilidades de contar con una nueva y mejor tecnología para la producción de arroz, que permita ser competitiva con la de otros países se requiere impulsar, en forma simultánea, los programas de mejoramiento genético y de sistemas de producción, tanto para riego como para temporal común y temporal con riegos de auxilio; la nueva tecnología comprende la generación de cultivares con alto potencial de rendimiento con sus correspondientes paquetes tecnológicos, que al ser aplicados por los productores arroceros del país, con los apoyos para la producción y comercialización del grano, den como

resultado una mayor rentabilidad del cultivo. Este es un gran reto para México y para los mismos productores, quienes están en competencia con otros países, principalmente con Estados Unidos, donde el cultivo y la comercialización del grano están fuertemente subsidiados por el gobierno de ese país, mucho más que cualquier otro cultivo en toda su historia agrícola, razón por la cual venden su producción a precios “Dumping”, situación que aprovechan los productores estadounidenses para competir en forma desigual y desleal con los productores mexicanos; además, en Estados Unidos también se triangulan grandes volúmenes de arroz de China y de Tailandia, producidos a bajos costos por lo que el negocio para los exportadores estadounidenses es redondo, Calva *et al.* (1998).

Situación actual

En el país hasta 1987, el cultivo del arroz ocupaba una posición crucial en la agricultura nacional, tanto por la generación de empleos para el establecimiento del cultivo y su manejo en el campo, como por el procesamiento del grano en la industria de transformación, y por el valor de la producción. Desde principios de los años cincuenta y hasta 1994, el país fue autosuficiente en la producción de este cereal; esta autosuficiencia se debió al uso de tecnología mejorada desarrollada por el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) (institución antecesora del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en beneficio de los productores arroceros. Uno de los componentes tecnológicos de mayor importancia incluyó tres tipos diferentes de variedades convencionales, de paja corta resistentes al acame y a las enfermedades de mayor importancia económica, con sus correspondientes fórmulas de producción en cuatro ecosistemas del cultivo: riego por trasplante, riego por siembra directa, temporal común y temporal con riegos de auxilio.

Sin embargo, a raíz de los compromisos internacionales en los que el país fue involucrado, primero con su ingreso en 1988 al Acuerdo General de Comercio y Aranceles (GATT), al año siguiente (1989), México fue obligado a cancelar los precios de garantía de los granos básicos

(maíz, trigo, frijol y arroz) con los que se les protegía de los especuladores e inmediatamente, en 1990, se inició una considerable reducción de la superficie y de la producción de los cuatro granos, entre ellos el arroz por incosteabilidad en su producción. En 1994, México firmó el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), que fue el preámbulo de la Apertura Comercial que se concretó en 2000; en ese mismo año entró en vigor la cláusula que liberó de toda limitación el comercio de los granos, entre estos al arroz y, desde entonces, la importación de este cereal se realiza libre de aranceles con todas las ventajas para los exportadores estadounidenses, Calva *et al.* (1998).

A 23 años de estos tres acontecimientos (1987-2011), México ha importado siete millones de toneladas de arroz de grano delgado “tipo Sinaloa” altamente subsidiado y a precios “Dumping” con el que los productores mexicanos no han podido competir por su bajo precio, cuyos efectos se han reflejado en el desplome de la superficie y de la producción nacional, y estos han causado la desaparición de alrededor de veinte mil productores arroceros en el campo, y sus efectos colaterales en la industria, con lo que se perdió la soberanía alimentaria en este cultivo. En el Cuadro 1 se presenta la situación que guardaba el cultivo de arroz en 1987 en comparación con los años 2000 y 2009.

La situación del cultivo en la década 1999-2009, incluyendo los volúmenes de importación y los porcentajes de la demanda nacional, fue la siguiente:

68 Nótese que en 1999, la superficie ocupada por este cereal fue de 84 806 hectáreas, se incrementó un poco en el 2000 para descender notablemente en los años siguientes, llegando a ser tan solo de 51 654 en 2008 (la más baja en todos los años), y en los subsiguientes se mantuvo siempre muy por abajo de las 87 622 (la más alta de todo el periodo analizado); por tanto, la producción sufrió un decremento considerable en tanto que las importaciones tuvieron que ser cada vez más elevadas y el porcentaje de la demanda nacional llegó a ser superior al 77% en tanto que, de acuerdo con Aréstegui (2014), en la actualidad se está importando el 80% y se agrega, también,

Cuadro 1. Efectos del TLCAN sobre el cultivo de arroz en México

Conceptos	1987	2000	2009
Superficie (ha)	265 000	87 662	60 772
Producción de arroz palay (t)	848 000	326 512	263 027
Demanda de arroz palay (t)	825 000	906 964	1 086 740
Número de productores	25 000	6 500	6 200
Número de molinos	74	22	20
Jornales	9 985 000	1 510 000	150 000
Empleos directos en la industria	12 500	3 500	3 180
Empleos indirectos en la industria	36 000	12 000	10 600
Importación (%)	0	65	77
Precio internacional por tonelada (US \$) (excluyendo "Dumping")	260	195	280

Fuente: Base de datos de la Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Banco Nacional de Comercio Exterior (BANCOMEXT), complementados con varios años de trabajo de campo e información del Programa de Arroz del INIFAP (2009).

Cuadro 2. Superficie, producción de arroz, volúmenes de importación y porcentajes de la demanda nacional, 1999-2009

Años	Superficie (ha)	Producción (ton)	Importaciones de arroz de grano delgado (ton)	% de la demanda nacional
1999	84 806	458 112	537 927	54.00
2000	87 662	326 512	615 401	65.34
2001	58 447	351 446	661 120	65.29
2002	54 982	226 638	700 341	75.55
2003	63 929	227 194	750 278	76.75
2004	67 076	273 266	674 336	71.16
2005	64 610	278 540	723 680	72.20
2006	73 825	291 149	801 122	73.34
2007	73 536	337 249	821 942	70.91
2008	51 654	294 697	851 814	74.30
2009	60 772	263 027	881 686	77.02

Fuente: SAGARPA, Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).

que “la política social en México, no ha permitido un desarrollo humano aceptable de los mexicanos; además, no se ha tomado en cuenta que estamos ante una crisis alimentaria con consecuencias graves para el bienestar social, que se reflejan en los niveles de hambre, desnutrición y obesidad, factores relacionados con la pobreza”.

Estados y regiones agroclimáticas productoras de arroz. Ubicación en los trópicos

Hernández y Tavitas (2005), determinan que el arroz se siembra en 16 estados del país estos, a su vez, forman parte de las que denominan regiones agroclimáticas y a éstas últimas también las ubican en lo que llaman trópicos, que son parte de las superficies estatales que manejan así al cultivo desde el punto de vista agronómico e institucional en el Programa Nacional del Arroz del INIFAP (Cuadro 3a).

Climáticamente (Cuadro 3b), de acuerdo con García (2004), los trópicos coinciden con las regiones del territorio donde se registran temperaturas medias anuales que caracterizan a los climas Aw Tropicales subhúmedos, Am (f) húmedos y Af (m) muy húmedos. En ellos, las temperaturas son muy calientes (sobre 26°C) y calientes (sobre 22°C). Temperaturas igualmente elevadas se tienen en los climas B(h’) Secos

Cuadro 3a. Estados y regiones agroclimáticas productoras de arroz. Ubicación en los Trópicos.

Estados	Regiones agroclimáticas	Trópicos
Sinaloa	Noroeste	Trópico seco
Nayarit, Jalisco, Colima y Michoacán	Pacífico Centro	
Guerrero, Oaxaca y Chiapas	Pacífico Sur	
Morelos, Puebla y Estado de México	Centro	
Tamaulipas e Hidalgo (Planicie Huasteca)	Noreste	Trópicos subhúmedo, húmedo y muy húmedo
Veracruz, Oaxaca, Tabasco.	Golfo Centro	
Campeche	Sureste	

Fuente: elaboración propia T. Reyna con base parcial en Hernández y Tavitas (2005).

Cuadro 3b. Estados y regiones climáticas productoras de arroz. Ubicación en los Trópicos.

Estados	Regiones climáticas	Trópicos
Sinaloa y áreas mínimas de las llanuras y planicies costeras del Pacífico, desde 0 hasta 400-700 msnm aproximadamente de Nayarit y Jalisco	Pacífico Central	Trópico seco
Oeste y suroeste de Jalisco (Cañón de Bolaños) y cuencas bajas de los Ríos Santiago y Armería) de Colima	Centro	
Escasas áreas bajas de Jalisco, Colima (Valle de Tecomán), Michoacán, Guerrero, Estado de México, Morelos, Puebla, Valles de Oaxaca y norte de Tehuantepec.	Cuenca del Río Balsas y Valles de Oaxaca.	
Áreas del noreste y llanuras costeras al norte de 23° N en Tamaulipas.	Noreste	
Litoral próximo al Pacífico, entre los 100 y 900 msnm aproximadamente, en Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, oriente del Istmo de Tehuantepec en Oaxaca y Chiapas.	Pacífico Sur	Trópico subhúmedo
Llanuras costeras del Pacífico y Depresión Central de Oaxaca y en áreas reducidas de Chiapas.	Sureste	Trópico subhúmedo/húmedo.
Zonas pequeñas en el noreste y sureste de Campeche, en los límites cercanos con Yucatán y Quintana Roo.	Península de Yucatán	
Sur de Tamaulipas y áreas de Hidalgo (planicies de las Huastecas), pequeñas áreas del norte de Puebla, llanuras costeras del norte de Veracruz, áreas de Tabasco y suroeste de Campeche.	Golfo de México	Trópicos húmedos y muy húmedos.
Gran parte del litoral sur y sureste de Veracruz y grandes áreas de Tabasco, limitando con las zonas bajas del norte de Chiapas.		

Fuente: elaboración propia Reyna T.T. con base en García, E. (2004), Vidal R. (2005), Hernández A.L; F.L. Tavitas (2005) y CONABIO (2013).

calientes (con temperatura media anual mayor a 22°C y la del mes más frío sobre 18°C) y las de los B(h') h (con la anual sobre 22°C y la del mes más frío por abajo de 18°C). En tanto que la diferencia entre estos climas con los A, radica en que la precipitación es notablemente inferior a la caída en los subhúmedos y, por tanto, Köppen en García (2004) los clasifican como Calientes y secos.

Otras coincidencias entre el enfoque agroclimático y el puramente climático son las siguientes: en ambas regionalizaciones las lluvias son de verano (mayo-octubre), es decir, esta es la época más lluviosa del año, García *et al.* (1989), contrastando con la época seca que se marca principalmente en el resto de los meses, a excepción de algunas zonas de Veracruz, Campeche y Tabasco principalmente y mínimamente del sur de Tamaulipas, donde las precipitaciones se siguen recibiendo en todos los meses del año, climas Am (f) y Af (m) bajo la influencia del monzón húmedo de verano y, aunque menos lluvioso, se recibe también el monzón seco del invierno y/o de la presencia de ciclones tropicales o de la entrada de frentes fríos conocidos en estas regiones del Golfo de México como “nortes”.

Tomando en cuenta las anteriores consideraciones, así como las pequeñas discrepancias existentes entre la regionalización agroclimática que hacen Hernández y Tavitas (2005) y la estrictamente climática basada en la información que ofrecen principalmente García (2004), Vidal (2005) y CONABIO (2013) y ya con la información sistematizada y el análisis de la misma y, mediante la aplicación de SIGs, se elaboró la Figura 1, donde se ubicaron con mayor detalle los estados, regiones climáticas y éstas en los trópicos correspondientes donde se cultiva el arroz. Dada la escala trabajada, algunas áreas muy pequeñas del Trópico seco no son detectables cartográficamente.

Los dieciséis estados productores de arroz forman parte, según Vidal (2005), de 8 regiones climáticas de las cuales 4 (Pacífico Central, Centro, Cuenca del Río Balsas y Valles de Oaxaca así como la Noreste) están incluidas en el Trópico seco, la Pacífico Sur en el Trópico subhúmedo, la Sureste y Península de Yucatán en el Trópico subhúmedo interfase con el húmedo y la del Golfo de México en los húmedos y muy húmedos.

No obstante que Hernández y Tavitas (2010) sólo consideran los Trópicos seco, subhúmedo y húmedo, es importante la aseveración que hacen respecto a que estos trópicos se diferencian, fundamentalmente, por sus regímenes termo-pluviométricos y por las fuentes de sumi-



Fuente: elaboración propia.

Figura 1. y regiones climáticas productoras e arroz. Ubicación de los trópicos. Fuentes: elaboración propia Reyna T. T. y M. R. Ramos Á. con base en Hernández A. L. y F. L. T., CONABIO (2013)

nistro de agua utilizadas para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo las cuales, aunque son contrastantes debido a la fisiología de la planta, ésta se adapta a diferentes condiciones de suelo, agua y clima.

En el Trópico seco, el arroz se cultiva mediante el suministro de agua de riego durante todo el ciclo del cultivo, o bien, en algunas áreas donde las precipitaciones son relativamente más abundantes pero, no obstante, irregulares en distribución y frecuencia durante todo el año debido a la presencia de la canícula, Reyna *et al.* (2007). El cultivo se realiza en condiciones de temporal, con excepción de en algunas otras zonas que cuentan con algo de infraestructura de riego, que permite dar riegos de auxilio a este cultivo, sobre todo en la época de la mencionada canícula o sequía intraestival.

En el Trópico subhúmedo incluyen sólo a los estados de Tamaulipas y Chiapas; en el primero, el cultivo de arroz se efectúa bajo riego apro-

vechando la importante infraestructura de riego en la zona de Las Ánimas; mientras que, en el segundo, el arroz sólo se cultiva en condiciones de temporal por falta de infraestructura.

El Trópico húmedo comprende los estados de Veracruz y parte de Oaxaca (área de Tuxtepec), Tabasco y Campeche donde, en su mayoría, el cultivo se hace en condiciones de temporal común, temporal con riegos de auxilio y, en algunas áreas de la cuenca del río Usumacinta, donde se cuenta con infraestructura incipiente para la derivación del agua de los afluentes de este río, el cultivo se realiza bajo riego en ambos ciclos primavera-verano y otoño-invierno.

Sistemas de producción de arroz

En México se tienen cuatro sistemas, definidos por la fuente de suministro de agua, de la forma en que se establece y maneja el cultivo, así como de los ciclos (primavera-verano y otoño-invierno), que son los siguientes:

Temporal común o seco

Es el más importante, ya que ocupa alrededor del 65% de la superficie total cosechada en México; éste depende del 100% de la lluvia y se lleva a cabo en áreas con suelos arcillosos, donde se registran precipitaciones pluviales que oscilan de 1000 a 1400 mm durante el ciclo primavera-verano, con un mínimo del 80% de la misma durante el período normal de lluvias de verano, y el 20% restante en el ciclo de otoño-invierno (Figura 2). Los estados donde se produce arroz de esta forma son: Veracruz-Oaxaca (cuenca del Papaloapan), Tabasco y Chiapas principalmente, y en pequeñas áreas de Nayarit y Colima que las ubican dentro del Trópico seco (Rodríguez, 2003 y SAGARPA, 2011).

Temporal o seco con riegos de auxilio

La variación entre el sistema de temporal común y el de temporal con riegos de auxilio, consiste en que este último, implica el aprovechamiento de cierta infraestructura como la construcción de bordos para la captura o cosecha del agua de lluvia, o de pozos profundos y con

ella se abastece, maneja y suministra al cultivo mediante riegos de auxilio cuando ocurren períodos de sequía durante el desarrollo del cultivo; esto, con la finalidad de mantener los suelos saturados durante la fase vegetativa e inundados durante la etapa reproductiva de las plantas.

A excepción de la sequía, en este sistema, los factores limitantes de la producción son similares a los que se presentan en el cultivo de arroz de temporal; sin embargo, la limitante mayor es la tecnificación del uso y manejo del agua proveniente, tanto de las lluvias, como del suministro al cultivo mediante el aprovechamiento de los pozos con los que se cuenta en algunas zonas del sureste de México (Rodríguez, 2003 y SAGARPA, 2011).

Riego por siembra directa

Es importante ya que representa el 15% de la superficie total cultivable con arroz en el país, de este 12% corresponde al ciclo primavera-verano y 3% al de otoño-invierno. El sistema, depende del suministro de agua de riego para el desarrollo y producción, que proviene de presas de almacenamiento ubicadas en el Trópico seco donde el cultivo se riega por gravedad. Durante el ciclo primavera-verano se aplica en las regiones climáticas Pacífico Central, Centro y Cuenca del Río Balsas que comprenden áreas de Sinaloa, Nayarit, Colima, Michoacán y Guerrero, así como también en la región Noreste donde la siembra directa es manejada principalmente en Tamaulipas. Este mismo ciclo se trabaja en algunas zonas de los Trópicos subhúmedos y húmedos.

En el ciclo otoño-invierno, este sistema se practica de manera similar en los Trópicos y entidades ya mencionadas y en superficies de Campeche, Chiapas, Tabasco y mínimamente de Tamaulipas.

Rodríguez y SAGARPA (2011) manifiestan que, en la mayoría del Trópico seco, la principal limitante es la escasez de agua, desde la siembra y durante las principales etapas fenológicas del cultivo: plántulas, amacollamiento, elongación de tallos e inicio de formación de panícula. En el Trópico húmedo, se cuenta con abundante agua superficial de

buena calidad y, aún así, la limitante es la carencia de infraestructura y tecnología apropiada para el manejo eficiente del agua de riego.

Riego por trasplante

Ocupa sólo el 5% de la superficie total que se cultiva con este cereal en el país, prácticamente está supeditado a algunas áreas de minifundio del sur del Estado de México, Morelos y región de La Montaña de Guerrero y a una superficie mínima ubicada en la zona de Joachin-Piedras Negras, Veracruz. Las limitantes de este sistema, son las restricciones de agua para la adecuación del terreno y el trasplante, así como en las etapas iniciales del cultivo de plántula y amacollamiento (Hernández, 2010 a). El sistema tiene la desventaja de que los costos de cultivo son muy altos, debido a que casi todas las labores se realizan manualmente, y por lo mismo tiende a ser sustituido por el método de siembra directa bajo riego (Hernández, 2010b).

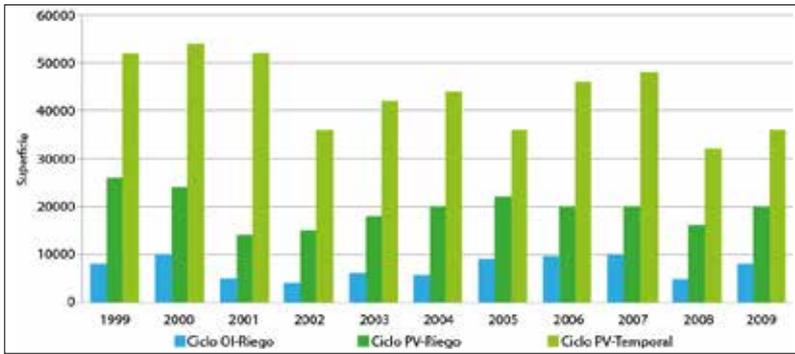
Ciclos estacionales del arroz (primavera-verano y otoño-invierno)

Al analizar el régimen de humedad se detectaron los sistemas fundamentales de temporal o secano y de riego (Figura 2), en la serie que registró el (SIAP 1999-2009), es notable que en todos estos años, la superficie de temporal sembrada fue mayormente ocupada en el ciclo primavera-verano, seguida por la de riego durante el mismo ciclo y, en superficies siempre menores, la de riego durante el otoño-invierno.

76

Mejoramiento genético del arroz en México

El mejoramiento de la raza indica se inició en 1947 en el Instituto de Investigaciones Agrícolas (IIA). Las primeras fuentes germoplásmicas que sirvieron de base para ello, estuvieron constituídas por ecotipos remanentes de las variedades introducidas en 1936 en Jojutla, Morelos, de las que, mediante la aplicación del método de selección de línea pura, se liberaron las primeras variedades mexicanas “Jojutla Mejorado” (Figura 3 y 4) y “Morelos A70” con índices de cosecha de 35:65 y 40:60 (porcentajes de grano y paja), respectivamente; eran de ciclo



Fuente: Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) SAGARPA, abril 2011.

Figura 2. Superficies de arroz en México por ciclos estacionales (primavera-verano y atofío-invierno) y por régimen de humedad (temporal o seco, y riego).

muy largo de 180 hasta 200 días de la siembra a la cosecha, y como poseían el carácter de fotosensibilidad sólo se podían cultivar en el ciclo de primavera-verano, (Barletti, 1956; Paredes, 1973). Sin embargo, en la planta de arroz, como ocurre en la mayoría de las plantas autógamias, se da un alto grado de homocigosis que incide en que la variabilidad genética natural sea muy baja. En 1961, la fusión del (IIA) con la Oficina de Estudios Especiales (OEE) de la Fundación Rockefeller, dio origen al Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) y en 1975, estableció el programa de cruzamientos intervarietales, con la finalidad de modificar las características morfológicas y genéticas de las plantas de las líneas puras generadas por selección individual.

De esta forma, mediante el aprovechamiento de la segregación de caracteres propiciados por la interacción genotipo x medio ambiente, que se ha realizado la selección de genotipos a través de varias generaciones hasta la obtención de nuevas líneas homocigotas, en las que se han combinado características de dos o más progenitores elegidos previamente por sus características de interés agrícola e industrial.

En los últimos 25 años, el INIFAP ha realizado con el programa de mejoramiento genético convencional del arroz, más de dos mil qui-



Jojutla *Arroz Jojutla a la Cereza*

MODO DE PREPARACION

• Colocar en una olla nueva con sal y aceite
 • Agregar el arroz y revolver por 20 segundos
 • Reducir el fuego • Agregar la manteca y el
 • Chiles y cocinar a fuego lento durante 15
 minutos • Servir con un tomate • Agregar
 manteca • Servir

COOKING DIRECTIONS

• In medium sized pot bring to a boil add salt to
 it • Add rice and stir 30 seconds • Reduce
 heat, add butter • Cover and simmer for
 approximately 15 minutes • Effectively cook
 and add butter • Serve

Ingredientes (a porciones)

• 1 taza de arroz Jojutla San Miguel® • 4 tazas de cerezas y/o tallos de 2 colifloras • 2 tazas de
 salsa ahogada • Jugo de media naranja • 3 cucharaditas de aceite • sal • pimienta

Preparación:

• Frit el arroz hasta que tome color • Agregue los tallos de las colifloras picadas en trozos • Agregue
 el líquido picado • Añada la cerezas y el jugo de naranja y deje reposar • Acompañado con cerezas

San Miguel - La mejor selección de granos

Arroz **Arroz** **Arroz** **Arroz** **Arroz**

Basmati **Basmati** **Basmati** **Basmati** **Basmati**

Producción de México • Producto de México
 Mercado de Arroz • Arroz de México
 S.A. de C.V. • Arroz de México

Comuniqué con nosotros

www.sanmiguel.me info@sanmiguel.me

San Miguel S.A. de C.V. • México
 Tel: 80 105 18 12 • México D.F. 114
 01 800 738 6440 Ext. 114

San Miguel S.A. de C.V. • México
 Tel: 80 105 18 12 • México D.F. 114
 01 800 738 6440 Ext. 114

www.sanmiguel.me info@sanmiguel.me



Fotografías: Consuelo Molina y Teresa Reyna, 2014.

Figuras 3 y 4. Haz y envés del empaque del arroz Jojutla en centros comerciales.

nientas recombinaciones genéticas (cruzas simples, triples y dobles), en las que se han involucrado diferentes progenitores donadores de alto potencial de rendimiento, con índices de cosecha 50:50 (50% de grano y 50% de paja), congenes de enanismo y semi-enanismo con resistencias al acame, y a enfermedades como a la “quema del follaje o avanamiento del grano” causada por el hongo *Magnaporthe grisea* (Hebert) comb. nov. Barr. (antes *Pyricularia oryzae* Cav.). Además, con el carácter de fotoinsensitividad, mayor precocidad, alto potencial de rendimiento, mejor calidad del grano en las nuevas variedades para riego y temporal o secano, así como aceptable nivel de tolerancia a sequía, (Tavitas y Hernández, 2000).

Mediante la aplicación de los métodos de “bulk modificado” y de selección genealógica, usados como base de los programas de mejoramiento genético hasta la obtención de líneas puras, han logrado en México las primeras variedades endogámicas o convencionales, generadas por la combinación de esta metodología; estas líneas fueron las siguientes: Campeche A80 para temporal o secano en el sureste, Culiacán A82 para siembra directa en el noroeste y Morelos A83 para riego por trasplante en la región central. Las dos primeras fueron ampliamente cultivadas en México en la década de los 80, e inclusive Campeche A80 se llegó a sembrar en la década de los 90 en la República de Trinidad y Tobago; sin embargo, Morelos A83 no llegó a cultivarse a nivel comercial debido a que se tornó susceptible a la enfermedad de “avanamiento del grano” *M. grisea* y, además, su grano era largo tipo Sinaloa y no fue del agrado de los industriales molineros, Tavitas y Hernández (2000).

Los mismos autores mencionan que, posteriormente y hasta mediados de los 2000, los resultados de estos programas de fitomejoramiento, se han reflejado en la generación de más de 40 nuevas y mejores variedades, en las que se han combinado diversos caracteres como el índice de cosecha 50:50 (de grano y paja), mayor potencial de rendimiento, insensitividad a fotoperiodo; por esta última cualidad es que las nuevas variedades ahora se pueden cultivar tanto, en el ciclo de primavera-verano como en el de otoño-invierno, sin que los cambios de la longitud

del día afecten su desarrollo y productividad; también poseen amplio espectro de resistencia a *M. grisea*, aceptable respuesta a la aplicación de fertilizantes nitrogenados, mayor precocidad (de 135 a 150 días de la siembra a la cosecha) y su grano es de mejor calidad industrial. Los programas de mejoramiento y las investigaciones han continuado y en los últimos años; por ello, se han liberado las variedades: para riego siembra directa Tres Ríos A06 (Hernández, 2007) para riego por trasplante: Morelos A06, A08 y A10 (Salcedo, 2006, 2008 y 2011) y para temporal, El Silverio (García *et al.*, 2010; Hernández *et al.*, 2010).

En varias partes del mundo, la generación de nuevas variedades de arroz con alto potencial de rendimiento, se ha reflejado en una notable reducción de la base genética en muchos de los nuevos cultivos; esto es debido a que en diversos países muchos agricultores han abandonado la siembra de variedades tradicionales que poseían gran diversidad genética y, consecuentemente, muchas de las variedades modernas que actualmente se están cultivando comercialmente, se han tornado susceptibles al ataque de diferentes patógenos (Loresto y Jackson, 1992).

Otra de las causas de vulnerabilidad de algunas variedades es la erosión genética, que está ocurriendo en algunos casos en que una sola variedad o tipo de variedades, como la serie Morelos, se tornen susceptibles a nuevas razas de las enfermedades convencionales como el “avanamiento del grano” o a nuevas enfermedades, que pueden influir en la reducción de los rendimientos y/o de la calidad del grano en detrimento de la economía de los productores y de los industriales (Productores e industriales de arroz de Morelos, comunicación personal, 2011).

Banco Nacional de Germoplasma de Arroz (BNGA)

Para coadyuvar a la conservación y utilización de los recursos genéticos de arroz, el INIFAP, a través del Campo Experimental Zacatepec, en 1993, estableció el Banco Nacional de Germoplasma de Arroz (BNGA), cuyo objetivo ha sido el contar con una amplia diversidad de genes

que representen un gran apoyo a los fitomejoradores, para la generación de nuevos cultivares con alto potencial de rendimiento y buena calidad del grano en combinación con mayor espectro de resistencia a las enfermedades y, de esta manera, lograr una agricultura arrocerá más rentable, dinámica y sostenible. La introducción y/o colecta de germoplasma de arroz, puede ser por requerimientos de los investigadores del INIFAP, o bien, por solicitudes espontáneas de otras instituciones u otros programas del país o del extranjero. De igual manera se procede con el material proveniente de colectas de ecotipos o de arroces criollos, que se cultivan en forma tradicional o de subsistencia en algunas regiones del país (Tavitas, 1996).

El material que se introduce a México se obtiene a través del Banco Nacional de Germoplasma de Arroz, de ahí que esta actividad tenga que efectuarse bajo condiciones de máxima seguridad. Posteriormente se lleva a cabo su caracterización e incrementación en el campo y su preservación en un recinto frío en las instalaciones del Campo Experimental Zacatepec, en donde se toman las medidas fitosanitarias necesarias a través de tratamientos térmicos de las semillas, éstas se introducen en agua caliente a temperatura de 50°C durante 10 minutos; o se someten a tratamientos químicos disolviendo un gramo de fungicida Benomyl en un litro de agua, y en esta solución se sumergen las semillas durante un minuto. Estas medidas tienen la finalidad primordial de evitar la introducción de nuevas enfermedades y/o plagas no existentes en México y específicamente en Morelos (Tavitas y Hernández, 2004).

La caracterización o descripción varietal se efectúa, fenotípicamente, sobre la morfología de los genotipos en condiciones de campo y de laboratorio; que consiste en el registro de un conjunto de descriptores, que permitan definir y calificar a un grupo de plantas que constituyen un determinado cultivar. La caracterización incluye aspectos morfológicos, fisiológicos, agronómicos, de sanidad, y de tipo y calidad del grano; estos son determinados en las etapas vegetativa y reproductiva de las plantas, y de maduración del grano, los cuales podrán ser utilizados, según su importancia agrícola o industrial, para realizar nue-

vas recombinaciones genéticas a través de cruzamientos y, así, poder generar nuevas y mejores variedades, de acuerdo con los objetivos y metas correspondientes. La caracterización implica un trabajo minucioso en condiciones de campo y de laboratorio, ya que a través de sus descriptores se aplican principios fundamentales para el control de la pureza genética y fisiológica, para cada uno de los cultivares de que consta la nueva colecta antes de incorporarse al acervo del (BNGA), (Tavitas y Hernández, 2004 y 2007).

Cuando las diferentes accesiones se han caracterizado y cosechado, a las semillas se les reduce el contenido de humedad de 25 a sólo 15% para su almacenamiento temporal. Una de las formas más usadas en la conservación de los recursos genéticos del arroz, consiste en la preservación de semillas secas a bajas temperaturas. De acuerdo con las formas en que se almacenan, éstas se clasifican en “semillas ortodoxas” y “semillas recalcitrantes”. En las ortodoxas quedan incluidas las semillas tolerantes a la desecación, y su contenido de humedad puede reducirse hasta un 5%, sin perder viabilidad ni poder de germinación por periodos cortos (8 a 10 años), introduciéndolas en botes de plástico a temperatura de -1°C o almacenándolas en botes de aluminio sellados al vacío a temperatura de -20°C y con humedad relativa de 30%, siguen conservando viabilidad y poder de germinación hasta por 100 años. El acervo actual del BNGA es de 2464 accesiones (Tavitas y Hernández, 2009) cuya variabilidad se muestra en el Cuadro 4.

Actualmente el Banco constituye una importante unidad de apoyo a los programas de fitomejoramiento y de transferencia de tecnología que sobre este cereal se realiza, y además, mediante acuerdos de intercambio con otras instituciones de investigación y enseñanza a nivel superior, tanto de México como de otras partes del mundo. Con las funciones de esta unidad, se está cumpliendo con los objetivos y metas consistentes en coadyuvar en la generación de nuevos cultivares, para sostener la agricultura arrocera de México, así como para preservar los recursos genéticos tendientes a satisfacer las necesidades y requerimientos de las futuras generaciones ante una adecuada seguridad alimentaria.

Cuadro 4. Acervo del Banco Nacional de Germoplasma de Arroz del INIFAP con sede en el Campo Experimental Zacatepec, Morelos.

Género	Especie	Criollos	Mejorados	Cultivados	Total
Oryza	sativa L.	141	2201 (95%, 5% Japónica convencionales y tropicales)	40	2382
Oryza	sativa L.		Mutante		1
Oryza	sativa L.		Líneas con esterilidad masculina (CMS y TGMS)		58
Oryza	sativa L. x O. glaberrima Steud (*)		21		21
Oryza	latifolia Desv		2		2

* Cruza interespecífica entre arroz asiático y arroz africano.

Fuente: elaboración propia.

Tipos de grano de arroz que se producen y consumen en México

En las zonas arroceras se producen tres tipos, dos de grano grueso y uno de grano delgado, y se identifican comercialmente como “calidad del grano”. El tipo de arroz que se está importando actualmente es, en su mayoría, de grano largo cristalino tipo Sinaloa. Las principales características de los tres tipos se indican en el siguiente párrafo.

Los productores e industriales arroceros identifican como variedades de “grano grueso”, a los cultivares de la serie Morelos cuyos granos son de la “calidad Morelos”, y a la variedad Milagro Filipino con grano de “calidad Milagro” (Figuras 5 A, B y C); mientras que a las variedades de “calidad Sinaloa” las conocen como cultivares de “grano delgado” (Tavitas *et al.*, 2010). A este último tipo de grano, corresponden las variedades de arroz que se cultivaban en vastas áreas del noroeste, en condiciones de riego, y del sureste en condiciones de temporal antes del establecimiento del TLCAN.

Actualmente, México está importando de Estados Unidos grandes volúmenes de este tipo de grano a precios “Dumping”, ante esta situa-



Fotografías: Leticia Tavitas (2012).

Figuras 5 A, B y C. Variedades de grano de arroz.

ción, los productores mexicanos de grano de "calidad Sinaloa" están en desventaja y se les señala como faltos de competitividad; sin embargo, es necesario considerar que son incomparables las condiciones asimétricas en que los productores estadounidenses lo producen, debido a que son sumamente ventajosas para ellos, ya que cuentan con amplios y oportunos créditos y altos subsidios para la producción, así como todo tipo de apoyos para la comercialización del grano. Además, a partir de enero de 2000, algunas de las compañías que exportan este grano a nuestro país como "Farmers Rice Milling Company" y "Riceland Food", no pagan arancel y algunas otras como "Rice Corporation", cubren una cantidad arancelaria correspondiente a sólo al 3.93% como "cuota compensatoria", Hernández y Tavitas (2005).

Calidad del grano

Hernández y Tavitas (2010), mencionan que la calidad del grano de arroz comprende un conjunto de caracteres que corresponden a criterios subjetivos admitidos por los usuarios como son: longitud, tamaño, homogeneidad, blancura, translucidez, sabor, características culinarias, así como aumento de tamaño, velocidad de cocción, resistencia a la excesiva cocción, cohesión (separación de los granos después de la cocción), principalmente. Además de los componentes de calidad mencionados, existen otros factores hereditarios que se transmiten al

grano pero en interacción con el medio ambiente. En el grano de arroz están involucrados los siguientes tipos de calidad:

Calidad molinera

Se refiere al porcentaje de granos enteros pulidos o blancos que se obtienen después del procesamiento molinero, a través del cual se desprenden las cubiertas externa e interna del grano (cascarilla y salvado). Para que una nueva variedad pueda ser liberada en México, deberá tener una recuperación de granos enteros pulidos después del proceso molinero superior al 50% sobre palay.

Calidad culinaria

Está en relación con la textura, el sabor y la apariencia del grano después de su cocimiento; sin embargo, estas características varían de un país a otro. El arroz de la raza Indica, a la que pertenecen las variedades que se han liberado a la fecha en México para su cultivo comercial, se caracterizan por su contenido intermedio de amilosa, porque los granos se mantienen separados y secos después de la cocción, y por su textura suave.

En el programa de mejoramiento genético del arroz del INIFAP, la selección para calidad culinaria se ha efectuado con base en los cinco parámetros siguientes: contenido de amilosa, reacción al álcali, consistencia de gel, prueba de cocción y prueba de degustación (Tavitas *et al.*, 2010).

Factores limitantes

Hernández y Tavitas (2005) mencionan que, además de la situación socio-económica por la que actualmente atraviesa la producción y comercialización del arroz de grano delgado en el país, a nivel de campo para su producción, el cultivo se enfrenta a una serie de problemas que limitan los rendimientos; esta problemática por ecosistemas de cultivo, regiones y entidades productoras se resume a continuación:

Trópico seco

Trasplante bajo riego. Significa altos costos de producción porque el establecimiento del cultivo y algunas de las labores de su manejo agronómico se realizan a mano; restricciones de agua para la adecuación del terreno, trasplante y en las etapas iniciales del cultivo (plántula y amacollamiento); clorosis de plantas por alta concentración de carbonatos en el suelo, que bloquean la asimilación del hierro y otros elementos menores; daños por la enfermedad, “quema del follaje o avenamiento del grano por *M. grisea*”; estos problemas especialmente ocurren en algunas áreas de Morelos, México y Guerrero que se ubican a 1 000 msnm.

Trópico seco y subhúmedo

Siembra directa bajo riego. Es afectada por la escasez de agua durante la siembra y en las principales etapas fenológicas del cultivo: plántula, amacollamiento, elongación de tallos e inicio de formación de panícula; altos índices de alcalinidad en Sinaloa; fuertes daños de *M. grisea* que, a casi al nivel del mar, causa la enfermedad conocida como “quema del follaje”; en la región de las Huastecas altas infestaciones de malezas como ciperáceas, zacates y “arroz rojo” (*Oryza rufipogon* Griff).

Trópicos sub-húmedo y húmedo

Temporal común. Irregularidad pluvial sobre todo en julio y agosto (Reyna *et. al.*, 2007 y Reyna *et al.*, 2007 a) debido a que la sequía intraestival alcanza hasta una intensidad media de 20 a 30%, en la mayoría de las áreas arroceras temporales del sureste (cuenca del Papaloapan, sur de Tabasco, centro y sur de Campeche y costa de Chiapas); daños severos de la enfermedad “quema del arroz” sobre todo en ausencia de lluvias y si se cultivan variedades susceptibles a la enfermedad como la Milagro Filipino Depurado; altas infestaciones de malezas como zacates, “arroz rojo”, hoja ancha y ciperáceas en todas las etapas del cultivo; daños por plagas, y diferentes grados de toxicidad por hierro en suelos ácidos de sabana.

Temporal con riegos de auxilio

En este sistema de cultivo, en los períodos de sequía, es posible dar riegos de auxilio sólo en donde se cuenta con micro-cuencas y/o pozos. La problemática es similar a la del cultivo del temporal común.

A pesar de que existen variedades de arroz de grano largo delgado generadas por el INIFAP, la ausencia de programas de producción de semillas certificadas ha impedido que éstas lleguen a los productores para que, a través de su siembra, coadyuven al aumento de la producción y, por tanto, a contrarrestar las importaciones de este tipo de arroz; ante esta problemática, se requiere de mayor apoyo del Gobierno Federal para la generación de nuevas variedades con mayor potencial de rendimiento, para su cultivo en las zonas más adecuadas, de acuerdo con las condiciones ambientales propias de las diferentes regiones productoras del país, y así, poder competir en forma menos desventajosa con el arroz de importación. Este apoyo permitirá que el arroz sea nuevamente de fácil acceso a la población, y ocupe el lugar de un cereal básico en la dieta del mexicano, como lo venía siendo desde épocas pasadas coadyuvando así a la seguridad alimentaria.

Referencias bibliográficas

- Barletti, T. E., (1956). Jojutla Mejorado, nueva variedad de arroz para el estado de Morelos. Folleto de Divulgación SAG. IIA s/n, Zacatepec, Mor, 41 p.
- Bartra, A., (2005). Crónica de un desastre anunciado, México y el TLC. Revista Memoria. No. 199. México, D.F, Septiembre de 2005. pp. 5-13.
- Calva, J. L., M. A. Gómez y R. Schwentesius, (1998). La producción de arroz en México en el Marco de la Apertura Comercial. Memorias del Primer Simposium Internacional de Arroz. SAGARPA-INIFAP-Campo Experimental Zacatepec. Cocoyoc, Mor. 17 p.
- García, E., T. Reyna T. y M. E. Hernández, (1989). Régimenes pluviométricos y distribución de la precipitación. Esc. 1: 8 000 000. En: Hoja IV. 5.1 Canícula, sequía intraestival o de medio verano. Atlas Nacional de México. Instituto de Geografía, UNAM.

- García, E., (2004). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Serie Libros. Núm 6. Instituto de Geografía, UNAM. 90 p. y Anexo en [CD].
- García A, J. L., A. L. Hernández y L. Tavitas F., (2010). "El Silverio" nueva variedad de arroz de grano grueso para áreas de temporal en el trópico mexicano. INIFAP-CIRPAS. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Folleto Técnico No. 25. 35 p.
- Hernández, A. L., y L. Tavitas F., (2005). Plan de investigación y apoyos a la transferencia de tecnología en la cadena agroalimentaria arroz. INIFAP-CIRCE-CE-Zacatepec, Morelos. Publicación Especial No. 42. 66 p.
- Hernández, A. L., (2007). Tercer y último Informe Ejecutivo Técnico y Financiero del proyecto: Mejoramiento Genético del Arroz en el Trópico de México. 55 p.
- Hernández, A. L., A. C. P. y A. J. Salcedo, (2010 a). Fertirrigación en arroz. Memorias de la V Reunión Nacional de Innovación Agrícola. Campeche. p 30.
- Hernández, A. L., A. C. P. y A. J. Salcedo, (2010 b). Módulo de transferencia de tecnología en el cultivo de arroz en la "zona baja" del estado de Morelos. Memorias de la V Reunión Nacional de Innovación Agrícola, Campeche. p 388.
- Loresto, C. G. and M. Jackson, (1992). Rice germplasm conservation: A Program International Collaboration. In: Rice in Latin America: Improvement, Management and Marketing. CIAT-IRRI. Publication No. 209. Cali, Colombia. p 61-68.
- Paredes, T. A., (1973). Recomendaciones para el cultivo de arroz en Morelos con las variedades Zapata A70, Morelos A70 y Jojutla Mejorado. Centro de Investigaciones de la Mesa Central. Campo Experimental Progreso, Circular CIAMEC No. 44. 12 p.
- Reyna, T. T., G. Gómez R., R. Granados y A. L. Cabrera. (2007 a). Esc: 1: 8 000 000. Intensidad de la sequía intraestival o sequía relativa. Hoja No. XIII 2, Nuevo Atlas Nacional de México, Instituto de Geografía, UNAM.
- Reyna, T. T., G. Gómez R., R. Granados y A. L. Cabrera, (2007 b). Esc: 1: 8 000 000. Meses de máxima sequía intraestival, sequía relativa

- o canícula. Hoja Na. XIII 1, Nuevo Atlas Nacional de México, Instituto de Geografía, UNAM.
- Rodríguez, A. J. H., L. del R. M. J. y M. Pérez L., (2003). Programa Estratégico de Necesidades de Investigación y Transferencia de Tecnología. Cadena Agroalimentaria de Arroz. Documento de la Cadena Agroalimentaria de Arroz. INIFAP-COFUPRO-FUPROCAM. p. 18-24.
- Salcedo, A. J., (2006). Morelos A-06, variedad de arroz para la región central de México. Folleto Técnico No. 22. Campo Experimental Zacatepec, CIRCE-INIFAP. 9 p.
- Salcedo, A. J., (2008). Morelos A-08, variedad de arroz de grano aromático para el estado de Morelos. Folleto Técnico No. 35. Campo Experimental Zacatepec. 10 p.
- Salcedo, A. J., (2011). Morelos A-2010, variedad para la región central del país. Campo Experimental Zacatepec. Folleto Técnico No. 54, 17 p.
- Tavitas, F. L., (1996). Conservación de germoplasma de arroz en México. Memoria de Resúmenes del XVI Congreso de Fitogenética. p 15.
- Tavitas, F. L. y A. L. Hernández, (2000). Catálogo de variedades de arroz que actualmente se cultivan en México. CE-Zacatepec. Publicación Especial No.24, 55 p.
- Tavitas, F. L. y A. L. Hernández, (2004). Los Recursos Genéticos de Arroz y su utilización en México. Publicación Especial No.40. 41 p.
- Tavitas, F.L y A. L. Hernández, (2007). Fundamentos para la caracterización varietal de arroz (*Oryza sativa* L.) en México. SAGARPA-CONACYT-INIFAP. Publicación Especial No. 43, 40 p.
- Tavitas, F. L., A. L. Hernández y V. M. Valle, (2009). Actualización de las técnicas para la determinación de la calidad del grano de arroz. Folleto Técnico No.36. 29 p.
- Tavitas, F.L y A. L. Hernández, (2009). Banco Nacional de Germoplasma de Arroz. Memoria de Resúmenes de la 55 Reunión Anual de la Sociedad del PCCMCA 2009. p 94.
- Tavitas, F. L., M. Valle V. y A. Hernández L., (2010). Procesos para mejorar la recuperación de granos pulidos enteros de arroces Morelos. Folleto Técnico No.52. SAGARPA-INIFAP.
- Vidal Z. R., (2005). Las regiones climáticas de México. 1.2.2. Temas selectos de Geografía. Instituto de Geografía, UNAM. 212 p.

Fuentes electrónicas

- Aréstegui, R., (2014). México está en una gran crisis alimentaria: <http://www.central.c/cesop>. Consulta: 2014
- Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública. [http://www.central.c/cesop; @cronica.com.mx](http://www.central.c/cesop;@cronica.com.mx). Consulta: 2014.
- Banco Nacional de Comercio Exterior. <http://www.bancomext.com/Bancomext/secciones/home.html>. Consulta: 2009 y 2011.
- Comisión Nacional de la Biodiversidad. <http://www.conabio.gob.mx/> Consulta: 2013.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Programa de Arroz. Consulta: 2009.
- Investigadores del INIFAP generan nuevas variedades. Hernández, A. L., Salcedo, A. J, García, A. J. L, Tavitas, F. L. y Barrios, G. E. J. http://www.inifap.gob.mx/noticias/nota_ arroz_mex.html. Consulta: 2011.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. [http:// www.sagarpa.gob.mx/Paginas/default.aspx](http://www.sagarpa.gob.mx/Paginas/default.aspx). Consultas: 2009 y 2011.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <http://www.siap.gob.mx/> Consultas: 2009 y 2011.

Capítulo 5. Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota en las Actividades Agrícolas

Introducción

El ser humano desde sus orígenes, siempre ha tenido la necesidad de describir, conocer y delimitar su entorno, aún sin tener contacto físico con dicho espacio. El avance general de las ciencias y en particular de la Física (aeronáutica y óptica) ha permitido el desarrollo de diversas plataformas de observación y productos.

En percepción remota se conjugan aspectos muy variados como son: óptica, sensores, plataformas, sistemas de transmisión, etc. En general, son medios y métodos que utilizan la radiación electromagnética como medio de detección y medición de las propiedades de los objetos (D'Souza *et al.*, 1996; Soria *et al.*, 1998).

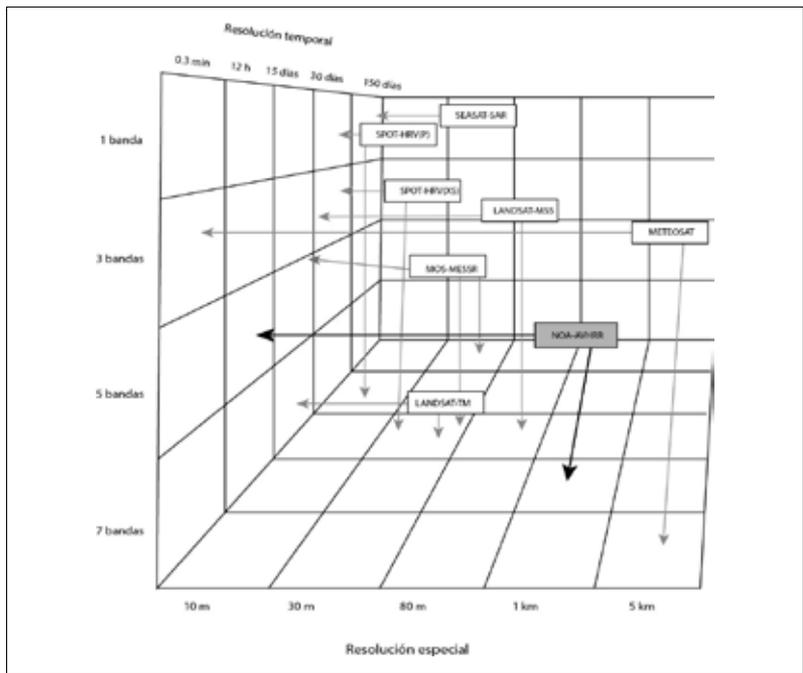
En las décadas 40 y 50 del siglo XX se tuvo un notable desarrollo de las técnicas de percepción remota, mismas que se aplicaron posteriormente para el mejor conocimiento y control de los recursos naturales (Chuvienco, 1990). Después del lanzamiento del satélite *Sputnik* en 1957, le siguieron una serie de misiones civiles y militares, que han permitido la exploración de la Tierra, la Luna y otros planetas cercanos.

En 1960, la *National Administration Space and Aeronautic* (NASA) puso en órbita el primer satélite de la serie TIROS, pionero de múltiples misiones de observación meteorológica. En julio de 1972, nuevamente la NASA cristalizó el proyecto LANDSAT con la puesta en órbita del

segundo satélite. La capacidad de definición de los satélites se han seguido perfeccionando con los sensores TM del LANDSAT, AVHRR del NOAA y HRV del satélite francés SPOT entre otros, mismos que son capaces de recoger imágenes del terreno con diferentes resoluciones: espacial, espectral y temporal (Figura 1).

Los progresos en la percepción remota han sido vertiginosos, en la actualidad se posee una variada y notable cantidad de información disponible para diversos campos científicos, útiles para diagnosticar y planear diversas temáticas agrícolas (Aguirre, 2002; Pérez y Muñoz, 2006).

En la década de los setenta, con el desarrollo de la tecnología informática, aparecieron una serie de programas, conocidos actualmente



Fuente: Chuvieco, 1990.

Figura 1. Relación entre resolución espacial, espectral y temporal de distintos sensores.

como Sistemas de Información Geográfica (SIG), cuya finalidad es el manejo de grandes volúmenes de datos espaciales georreferenciados.

La utilidad potencial de los SIG es múltiple, por lo que es difícil dar una definición que englobe todas sus aplicaciones. Entre sus principales características, se encuentra su habilidad para integrar grandes cantidades de información del ambiente, y proveer un poderoso repertorio de herramientas analíticas a través de operaciones geoespaciales, utilizando objetos que comparten el mismo sistema de coordenadas (Espadas, 2004).

Principios teóricos

A partir de la década de los setentas del siglo pasado, se comenzó a reconocer el enorme potencial de los satélites para proporcionar información referente a la evaluación y monitoreo de recursos naturales, comunidades vegetales y cambios fenológicos de los cultivos. Los sensores montados en los satélites permiten captar energía reflejada o emitida por los objetos en la superficie terrestre, en diversas partes del espectro electromagnético, por lo que es posible analizar los diferentes tipos de cubiertas más allá del visible.

Los satélites NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration Satellite*) poseen una alta resolución temporal (una imagen cada 12 horas). El sensor del satélite NOAA se denomina AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) fue diseñado para proporcionar imágenes con una resolución espacial de 1.1 km² (en el nadir) en cinco bandas del espectro electromagnético (Turcker, 1996).

Las características del sensor AVHRR, se muestran en el Cuadro 1. Este posee filtros que le permiten registrar, simultáneamente, la energía reflejada o emitida en zonas muy específicas del espectro de las diferentes cubiertas de la superficie terrestre (vegetación, suelo, agua, etc.).

Una de estas zonas del espectro es el rojo, donde la vegetación posee la característica de registrar baja reflectancia en el espectro visible, de-

Cuadro 1. Características del sensor AVHRR - NOAA.

Banda	Amplitud (μm)	Región espectral
1	0.58 - 0.68	rojo
2	0.72 - 1.10	infrarrojo cercano
3	3.55 - 3.93	infrarrojo medio
4	10.30 - 11.30	infrarrojo térmico
5	11.50 - 12.50	infrarrojo térmico

Fuente: Chuvieco, 1990.

bido a la absorción de energía que realiza la clorofila y otros pigmentos como xantofilas y carotenos, el máximo relativo se da en la porción del espectro correspondiente a 0.55 micrómetros y esto le da el color verde. Por el contrario, en el infrarrojo cercano 0.7 a 1.3 micrómetros la reflectancia es elevada ya que la capa esponjosa del mesófilo (tejido interno de la hojas) posee gran cantidad de cavidades que producen una importante dispersión de energía.

Adicionalmente, el comportamiento reflectivo de la vegetación varía en función de la morfología de las hojas que forman el dosel, densidad, fase fenológica y contenido de humedad, entre otros. Para extraer información sobre la vegetación de manera más específica a partir de los registros de los sensores, es necesario realizar operaciones, las cuales simplifican y reducen el volumen de datos, de forma que sean más evidentes.

Estas transformaciones, conocidas como índices de vegetación, toman en cuenta la diferencia en reflectancia de la vegetación entre el visible (Vis) y el infrarrojo (IRc). El más utilizado de estos índices es el índice de vegetación normalizado, por sus siglas en inglés, (NDVI) el cual se define:

$$NDVI = (IRc - Vis) / IRc + Vis$$

El rango de valores del NDVI es entre -1 y 1. Las zonas con vegetación registrarán valores positivos y tienden a ser mas altos a medida que el

contenido de la clorofila aumente en la zona, es decir, mayor contraste entre la reflectancia de las bandas de infrarrojo y rojo, lo que normalmente está correlacionado con el vigor, la cobertura o la biomasa de la vegetación a partir de tomas sucesivas de imágenes en diferentes fechas.

La resolución temporal que poseen los datos provenientes del sensor AVHRR, es muy apropiada para realizar monitoreo en la vegetación y detectar cambios en la densidad y en el vigor de diversas cubiertas y zonas de cultivo.

Los índices de la vegetación provenientes del sensor AVHRR, han sido ampliamente utilizados en centros académicos y dependencias directamente involucradas con actividades primarias, en investigaciones, tales como: monitoreo de cultivos, pronósticos de cosechas, seguros agrícolas y ganaderos, entre otros.

En instituciones académicas y gubernamentales de México como: la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Colegio de Posgraduados (CP), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA), Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), Secretaría de Gobernación (SEGOB), Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) y la Secretaría de la Reforma Agraria (SRA), la percepción remota ha tenido diversas aplicaciones, entre las que destacan: el manejo de los sistemas agrícolas, inventarios de áreas de cultivo, levantamiento de suelos, diseño y operación de proyectos de riego y evaluación de siniestros naturales entre otros.

Entre algunas de las investigaciones realizadas donde se aplicaron dichas herramientas están: el inventario forestal nacional, monitoreo de cultivos y predicción de rendimientos con la participación de académicos de la UNAM e INIFAP.

Estudios de caso

Inventario Forestal Nacional 2000-2001

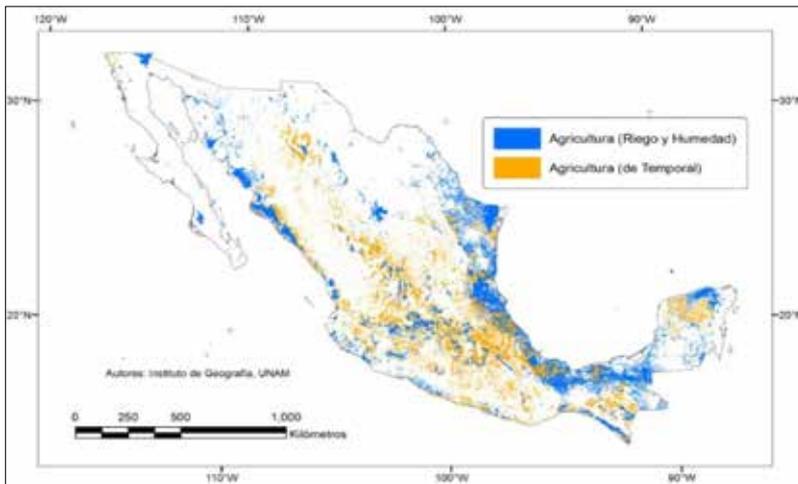
Hasta el año 1999, en México se habían elaborado varios Inventarios Forestales, el primer Inventario Nacional Forestal (1961-1985) tuvo como objetivo delimitar las zonas comerciales o potencialmente comerciales, desde el punto de vista maderable. El Inventario Nacional de Gran Visión (1991-1992) tuvo como objetivo principal, hacer una actualización rápida a bajo costo de la delimitación de los recursos forestales del país, por lo que se utilizaron métodos indirectos de medición. El Inventario Nacional Forestal Periódico (1994) fue diseñado para actualizar y detallar la información sobre los recursos forestales, con base en sus aptitudes y funciones en clases de conservación, restauración y producción, así como para establecer las bases que permitieran actualizar la información de manera permanente; las metodologías y fuentes de información habían sido diversas, desde imágenes de satélite de baja resolución como las AVHRR, hasta imágenes LANDSAT-TM. El objetivo de estos inventarios fue el de identificar las zonas con cubiertas forestales, dejando de lado cualquier otra cubierta natural o uso de suelo existente en el país.

En este nuevo esfuerzo, se estudió el Territorio Nacional de México mediante la interpretación de imágenes de satélite LANDSAT ETM+, en un ambiente de SIG y, como uno de los resultados de gran importancia, se encuentra la delimitación de la frontera agrícola en su totalidad y la distribución de las diferentes modalidades de esta actividad productiva, como la temporalidad y utilización de sistemas de riego (Figura 2). Cabe destacar el sistema jerárquico de clasificación, en el que se permite cambiar de agregación, desde agrupaciones muy generales por formación (agricultura, bosques, selvas, etc.), pasando por los tipos de vegetación hasta la caracterización de la comunidad vegetal, así como la presencia de vegetación secundaria que indica algún tipo de perturbación. Para este propósito, se cuenta con una leyenda para el mapa que es compatible con la cartografía elaborada en los inventarios forestales anteriores, así como para las diferentes series de cartografía del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e

Informática (INEGI) (Velázquez *et al.*, 2001). El enfoque ecosistémico de la leyenda, permite el manejo de la información para diversos estudios ambientales, tales como la delimitación de la frontera agrícola ya mencionada y la comparación con esfuerzos anteriores, que permiten un estimado del crecimiento de las actividades agrícolas en el país, entre muchos otros estudios. Como acervos de importancia quedan una base de datos de imágenes de satélite y la cartografía digital.

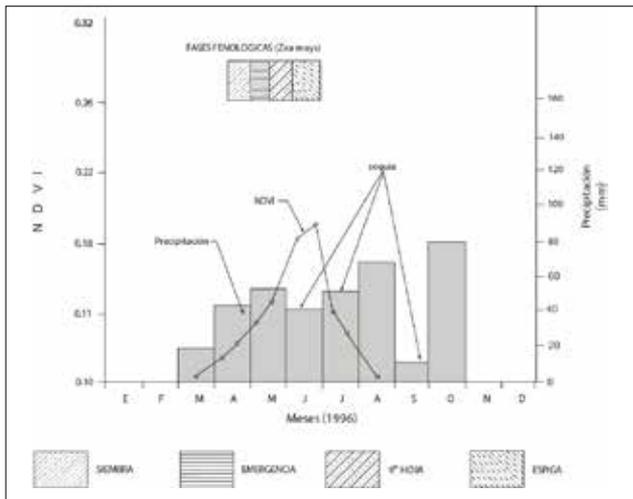
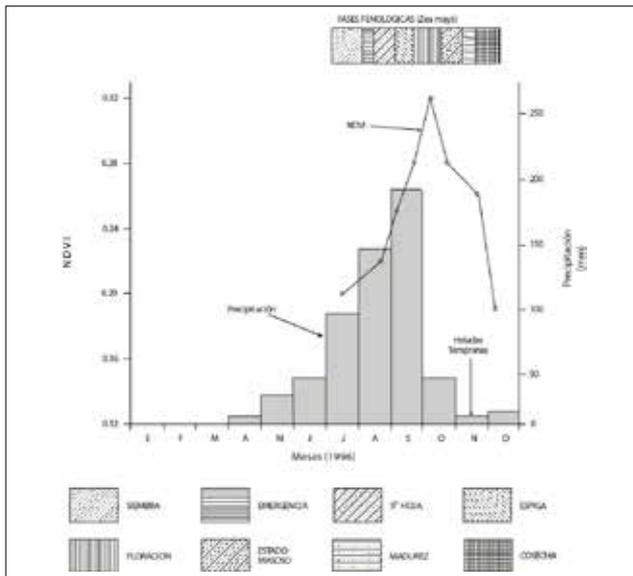
Monitoreo de cultivos y predicción de rendimiento

En los estudios de Granados-Ramírez, (1998) y Granados-Ramírez *et al.* (2004), mediante imágenes de satélite NOAA y datos de campo, se muestran claramente las relaciones entre las condiciones ambientales y el desarrollo de los cultivos. La presencia y ausencia de la precipitación y el desarrollo del maíz, se ven reflejados en las fluctuaciones del índice de vegetación como puede apreciarse en la Figura 3. En 1996, las precipitaciones fueron constantes y las cosechas llegaron a buen término, el índice de vegetación aumentó de manera sostenida hasta que el maíz floreció y, posteriormente, decrece durante las épocas en que



Fuente: elaboración propia.

Figura 2. Frontera agrícola a partir del Inventario Forestal Nacional 2000- 2001.



Fuente: tomado de Granados-Ramírez *et al.*, 2004.

Respecto a la adquisición de imágenes NOAA-AVHRR-NDVI, cabe hacer mención que en México existen estaciones receptoras, cuyas bases de datos están disponibles para la investigación, igualmente existen fuentes gratuitas consultando páginas web

Figura 3. Comportamiento del NDVI para maíz (Zea mays) en 1996 y 1997 para cada una de las etapas fenológicas.

cesa la actividad fotosintética. En contraste en el año de 1997, se presentaron lluvias tempranas y la siembra se anticipó, sin embargo, la falta de lluvias en junio y julio impidió la maduración y cosecha posterior.

Las implicaciones en la economía quedan de manifiesto cuando se demuestra la factibilidad de estimar el rendimiento de maíz, a partir de información proveniente de sensores remotos satelitales, particularmente en el Centro de México. Es así que en los estudios arriba mencionados se concluyó, en primer lugar, que la predicción para determinar las coberturas de cultivos (maíz, frijol y otros), tuvo una eficiencia del 69% en comparación con el tipo de cobertura observada en el campo, y que la predicción del rendimiento del maíz resultó con una sobre-estimación de 9.6% en comparación con el promedio medido en campo. La determinación anticipada, tanto de la existencia de sitios de maíz como de la producción, se puede obtener hasta con un mes antes de la floración, dato oportuno y útil a considerarse para las políticas nacionales y la planificación de este cereal en México (Soria *et al.*, 2004).

Consideraciones finales

Los estudios de caso mostrados en este capítulo, son una pequeña muestra del potencial que tienen las imágenes y los SIG, ya que al tratarse de un sistema de almacenamiento y visualización de la realidad geográfica eficiente e interactiva que trabaja con información exacta, centralizada y sobre todo actualizada que, posteriormente, permite la incorporación de información complementaria y enriquece constantemente la base de datos original.

También permite trabajar e integrar la información de distintas fuentes y escalas y datos tanto espaciales como no-espaciales. Además, toda esta información puede ser analizada a la vez, incluso repetidamente y de forma rápida, racional y fácilmente inteligible para el usuario, permitiéndole así una evaluación ágil y sencilla; además, si se elige el software adecuado los resultados se obtendrán con una inversión mínima de tiempo y de dinero.

La necesidad del monitoreo de cultivos, como temática de vital interés para la nación, ha motivado a las instituciones gubernamentales a fomentar y fortalecer el uso de estas herramientas. Ahora bien, el principal reto de cualquier país, es garantizar la producción de alimentos para su población. En la actualidad, dependencias federales y estatales del sector agrícola, requieren información sobre la superficie real sembrada de maíz y frijol, entre otros cultivos, y sobre el volumen de producción de grano que se cosechará con fines de planeación y, como consecuencia, dictar políticas de mercado para beneficio del productor.

Además, el estudio de la extensión de la frontera agrícola, sus colindancias y cambios, reviste una gran importancia para el ordenamiento del territorio y la sustentabilidad ambiental.

También es importante mencionar la existencia de nuevas herramientas que le darán acceso a la información a grandes grupos de población que, actualmente, poco han tenido contacto con éstas. Así, materiales gratuitos permiten ubicar las zonas agrícolas y realizar diversos tipos de análisis, a bajo costo con gran detalle, debido a su alta resolución espacial. Tal vez el ejemplo más conocido de este tipo de herramienta sea el Google Earth. Además, es posible obtener mediante la red, imágenes como LANDSAT de diversas fechas y de manera gratuita, que son de gran utilidad para estudios de fronteras agrícolas y cambios de uso de suelo, entre otros. Al hablar de bajos costos también se incluyen a los SIG de libre acceso.

Finalmente cabe señalar, que los avances tecnológicos siguen siendo vertiginosos, respecto a las nuevas tecnologías que ahora se perfeccionan, se pueden mencionar la video-teledetección y la fotografía digital (Palacio y Peralta, 2004). Estas herramientas proporcionan información a diversos campos, entre ellos a la denominada agricultura de precisión, misma que "se considera como un sistema complejo basado en información georreferida, obtenida mediante sistemas de posicionamiento satelital de elevada precisión y de una cartografía a muy grandes escalas (Interián y Alvarez, 2005).

Referencias bibliográficas

- Aguirre, R., (2002). *Los mares mexicanos a través de la percepción remota. Temas selectos de Geografía de México*. Instituto de Geografía, UNAM. México. 95 p.
- Chuvieco, E., (1990). *Fundamentos de teledetección espacial*. Ediciones Rialp, Madrid, España. 453 p.
- D'Souza, G. y A. Belward (Edited), (1996). *Advances in the use of NOAA AVHRR data for land applications*. Kluwer Academic Publishers. London. 479 p.
- Espadas, C., (2004). "Introducción a los sistemas de Información Geográfica. Técnicas de Muestreo para Manejadores de Recursos Naturales," Eds. F Bautista, H Delfín, J.L. Palacio y M Delgado. UNAM, Univ. Autónoma de Yucatán, CONACYT e INE, México. pp. 495-507.
- Granados, R. R., (1998). "Monitoreo del desarrollo de cultivos de temporal en la Mesa Central, Guanajuato, México, usando imágenes NOAA-AVHRR". *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía*, 36. UNAM, México, pp. 45-55.
- Granados, R. R., T. Reyna, T. y G. Gómez R., (2004). "Multi-temporal analysis of NOAA-AVHRR-ndvi images for monitoring corn and bean vegetative growth". *International Journal of Remote Sensing*. Mayo 2004. Vol. 25, no. 9:1615-1627.
- Palacio-Prieto, J. L. y A. Peralta H., (2004). "Vídeo-Teledetección y Fotografía Digital". En *Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales*. Ed. F. Bautista Zuñiga. México pp. 482-494.
- Pérez, C. y A. Muñoz (2006). *Teledetección Nociones y Aplicaciones*. Universidad de Salamanca. España. 227 p.
- Soria, J., C. Ortiz, F. Islas y V. Volke, (1998). *Sensores remotos, principios y aplicaciones en la evaluación de los recursos naturales. Experiencias en México*", *Publicación Especial 7, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo*. Chapingo, México. 93 p.
- Soría-Ruiz, J. and R. Granados-Ramírez, (2004). "Methodology for prediction of corn yield using remote sensing satellite data in Central Mexico". *Investigaciones Geográficas*, No. 55. Instituto de Geografía, UNAM. México. pp. 61-68.

- Tucker, C. J., (1996). "History of the use of AVHRR data for land applications". In: Advances in the Use of NOAA AVHRR data for Land Applications (G. D'Souza, Ed), ECSC, EEC, EAEC, Brussels and Luxembourg, printed in the Netherlands, pp.1-19.
- Velázquez, A., J. F. Mas, L. R. Mayorga, J. L. Palacio-Prieto, G. Bocco, G. Gómez-Rodríguez, L. Luna-González, I. Trejo-Vázquez, J. López-García, M. Palma-Muñoz, A. Peralta-Higuera, J. Prado-Molina y F. González-Medrano, (2001). "El Inventario Forestal Nacional 2000". Revista Ciencias, Facultad de Ciencias. UNAM. 64:12-19.

Referencias electrónicas

- Interián, P. S. y R. Alvarez. Portal Centro Nacional para la Producción de Animales de Laboratorio (CENPALAB) Algunas consideraciones sobre la geomántica y su papel en la agricultura de precisión. http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=903.
- NOAA. Comprehensive large-array-data stewardship system (CLASS) <http://www.class.ncc.noaa.gov/saa/products/welcome>. Consultado: 2014
- Bathymetric and Land Characteristics Dara in the IRI Data Library <http://iridl.ldeo.columbia.edu/docfind/databrief/cat-land.html>. Consultado: 2005.

Capítulo 6. Manejo del agua y nutrición del cultivo de brócoli (*Brassica oleraceae*)

Introducción

En México, el estado de Guanajuato es el principal productor de brócoli, tanto en producción como en superficie cultivable, aportando el 60% al volumen de producción nacional. El principal destino de comercialización es el producto congelado y en menor proporción el producto fresco; representando este mercado el 40% de la producción total. Los principales actores de la cadena productiva de brócoli, son las empresas congeladoras y los productores asociados con el suministro de brócoli a dichas empresas, que se localizan principalmente en los estado de Guanajuato, Querétaro y Aguascalientes.

Con base en las cifras reportadas por la Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA) en el año 2010, se tuvo un volumen de producción de 283 633 toneladas, con un valor de la producción de \$1 094 643 314 pesos, correspondiendo el 68% al producto procesado y el 32% restante fue producido para su venta en el mercado en fresco (SIACON 2010 y 2011; FAO, 2011).

Del total de brócoli procesado, se destina aproximadamente 95% a la exportación, siendo el principal destino los Estados Unidos de Norte América (98% de las exportaciones), y el resto se comercializa en otros países como Japón y algunos países de Europa. El mercado nacional tiene un porcentaje muy bajo de producto fresco y congelado, el cual es distribuido principalmente a través de centrales de abasto como producto fresco y supermercados en ambas presentaciones.

Aun cuando el brócoli representa una buena alternativa económica su producción, como la mayoría de los cultivos agrícolas, se ve afectada por la baja disponibilidad de agua para su producción, principalmente en El Bajío.

En los últimos años, las necesidades de agua se han incrementado en todos los sectores de la economía y por supuesto también en la agricultura; por otro lado, la disponibilidad suficiente de agua de calidad, para satisfacer las demandas de todos los sectores de la economía se han agravado ya que, tanto la proveniente de la precipitación como la subterránea no son suficientes; además del problema de carga demográfica que, en El Bajío, ha ocasionado que cada vez sea más difícil de satisfacer las necesidades de la población respecto al agua.

En la actualidad y ante la escasez de este líquido es necesario generar, adaptar y transferir tecnologías que permitan hacer un uso eficiente del mismo, así como también lo relativo al uso de los fertilizantes, con la finalidad fundamental de proporcionarle sostenibilidad a los ya degradados agroecosistemas.

La fertirrigación en el sistema de riego por goteo, ha demostrado tener un efecto positivo sobre el rendimiento y ahorro de agua en brócoli, en comparación con el riego por gravedad; con el primero, se han obtenido incrementos en el rendimiento en algunos cultivos hasta en un 100% y ahorros de más del 65% en el agua.

104

Uno de los factores limitantes de la producción y calidad de los productos agrícolas es la fertilización, de no optimizarse su aplicación en cantidades, dosificaciones, fuentes y épocas oportunas, en función del desarrollo de cada cultivo, se incurre en el uso irracional de este insumo en detrimento del medio ambiente, de la economía de los productores y del nivel de producción y calidad de las cosechas que ingresan a un mercado altamente competitivo.

Para poder optimizar el proceso de la fertilización se requiere conocer el sistema de producción en el que ha de desarrollarse el cultivo, lo

cual incluye las variables: suelo, planta, clima, y otros elementos bióticos como maleza, plagas y enfermedades.

Será por lo tanto necesario, aplicar los resultados de la investigación en el uso de los fertilizantes, generados en los Centros de Investigación, ya sean a cielo abierto, en invernadero o en laboratorio, que representan un gran avance para mejorar la práctica de la fertilización; sin embargo, en muchas ocasiones se requiere hacer ajustes al sitio específico donde se establecerá el cultivo.

Por lo anterior, es fundamental la participación del técnico en los sistemas de producción agrícola, el objetivo del especialista en nutrición, es asegurarse de que la planta no tenga ninguna restricción en el abasto de los elementos esenciales, así como promover el máximo rendimiento y calidad del producto en las condiciones ambientales determinadas.

Necesidades de riego

Una de las principales preguntas que se plantean en el tema de la irrigación, es cuándo y cuánto regar y para dar respuesta a estas incógnitas, es necesario conocer la demanda del cultivo a tratar, así como las características físicas de los suelos. La forma práctica que puede ayudar a los productores agrícolas a tomar la decisión correcta, sobre el cuándo y cuánto regar es la siguiente: 1) mediante el cálculo de los balances de humedad utilizando la información del clima y 2) determinando la humedad del suelo.

Existe una gran cantidad de métodos para estimar la evapotranspiración basada en los datos de clima, que permiten hacer una calendarización del riego, entre los que destacan: el de Penman, Penman-Monteith, Blaney-criddle con la modificación de Phelan, y el tanque evaporímetro.

Algunos términos son usados extensivamente para describir aquellos factores que afectan los requerimientos de agua de las plantas.

Así por ejemplo, la evaporación se define como la tasa de pérdida de

agua de la fase líquida a la fase gaseosa, de una superficie abierta de agua o suelo húmedo a través de procesos físicos y se mide en mm/d.

Transpiración. Es la tasa de pérdida de agua a través de una planta, la cual es regulada por procesos físicos y fisiológicos, también se mide en mm/d.

Evapotranspiración (ET). Es la tasa de pérdida de agua de la planta por transpiración más la evaporación del suelo, que igual se mide en mm/d.

Evapotranspiración potencial (ET_o). Es la tasa de ET de un cultivo de altura uniforme, sano y que cubra completamente el suelo y sin limitaciones de humedad en este.

Evapotranspiración del cultivo ó actual (ET_c). Es la tasa de ET para un cultivo creciendo sano bajo condiciones óptimas de suelo. La ET_c incluye pérdida de agua por transpiración y por evaporación del suelo y de las hojas del cultivo. $ET_c = ETP \times K_c$, donde K_c es el coeficiente del cultivo el cual varía dependiendo de la etapa de desarrollo de la planta.

En la Figura 1 se muestran los coeficientes de cultivo K_c en diferentes etapas de crecimiento del brócoli.

Para determinar el intervalo de riego, se divide la lámina de agua disponible entre la ET diaria y el resultado es el intervalo de riego en días

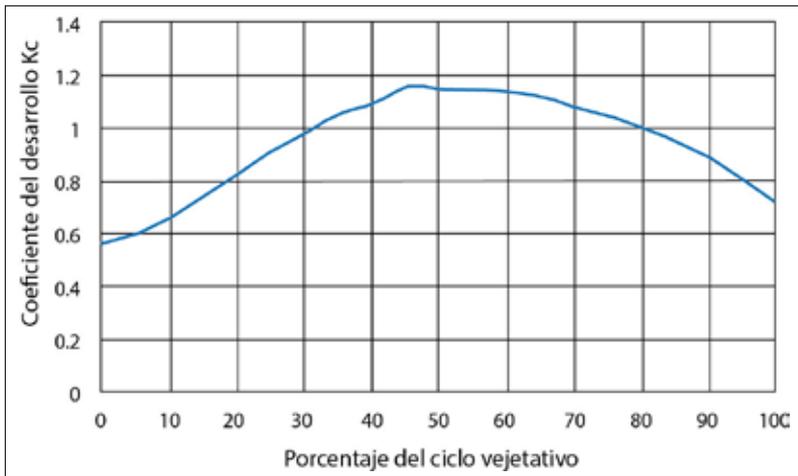
$$IR = \frac{L_d}{ET}$$

Donde:

IR = Intervalo de riego en días

L_d = Lámina disponible en cm o mm

ET = Evapotranspiración diaria en cm o mm



Fuente: elaboración propia.

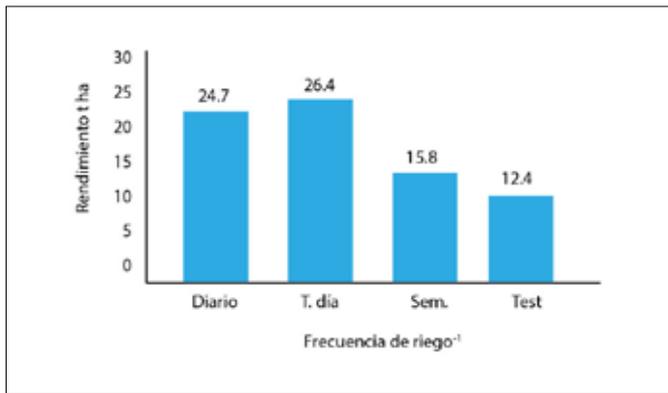
Figura 1. Coeficiente del desarrollo para el cultivo del brócoli.

En el caso del riego por gravedad, la lámina disponible será cuando se haya abatido un 60% de la humedad disponible del suelo, en la etapa vegetativa y el 40% en la formación del florete y, en el riego por goteo, será cuando se haya abatido el 20% y 15% respectivamente.

En la Figura 2 se muestran algunos resultados obtenidos con brócoli considerando el criterio de riego diario, cada tercer día y semanalmente en riego por goteo. Estos intervalos dieron abatimientos de la humedad disponible de 10, 20 y 35% en los primeros 20 cm de profundidad del suelo, respectivamente, como puede verse el mejor tratamiento fue cuando se regó cada tercer día.

Otro criterio que se sugiere para determinar el cuándo y cuánto regar, es el que se basa en la evaporación del agua de una superficie libre, con el uso de evaporímetros rústicos a nivel parcela.

Este criterio se fundamenta en la relación existente, entre la lámina de riego disponible (L_r) y la lámina de agua evaporada en el tanque



Fuente: elaboración propia.

Figura 2. Efecto de la frecuencia del riego en el rendimiento del brócoli

evaporímetro tipo “A” (LET), Lr / LET , de donde se deriva un índice que ayuda a determinar el momento de aplicación del riego, esto es que $Lr / LET = Kc$. Debido a que es poco práctico disponer de un tanque evaporímetro tipo “A” en cada parcela, para conocer la evaporación del agua se diseñó un evaporímetro de fácil operación, que consiste en utilizar un bote de lámina con capacidad de 3 a 5 L en la parcela.

En trabajos de investigación previos, se ha encontrado una alta correlación entre el agua evaporada en el tanque evaporímetro tipo “A” (LET) y el agua evaporada en el evaporímetro rústico (LEB), resultando el siguiente modelo:

$$LET = 0.71 \text{ LEB.}$$

Para conocer cuándo regar, es necesario determinar la lámina de riego que se requiere para llevar a Capacidad de Campo un perfil de suelo de 60 cm, de acuerdo al porcentaje de abatimiento de la humedad disponible, como se mencionó anteriormente, en cada sistema de riego se registra la evaporación del agua en el evaporímetro rústico (bote). Para el cultivo del brócoli, se ha encontrado que la máxima eficiencia en el uso del agua, sin disminuir el rendimiento, se obtiene cuando el riego se aplica en el momento en que el valor del índice de la relación es $Lr/LEB = 1.1$ para la etapa vegetativa y cuando $Lr/LEB = 1.3$ resulta

para la etapa de inicio de la formación del florete en adelante.

Debido a la variación en las condiciones climáticas, durante el ciclo del cultivo, así como lo correspondiente al desarrollo fenológico del mismo, los valores de la LEB pueden variar en el tiempo y en el espacio, lo cual ocasiona que se alargue o acorte el intervalo de riego.

Un ejemplo para la etapa vegetativa. Si en el suelo se tiene una lámina de riego disponible de 10 cm, entonces la cantidad de agua que debe evaporarse en el evaporímetro rústico sería $LEB = 10/1.1$, $LEB = 9.1$ cm, esta cantidad se puede evaporar en mayor o menor tiempo dependiendo de las condiciones del clima.

Requerimientos edáficos del brócoli

El brócoli tiene su mejor tasa de crecimiento en suelos con pH de 6.5 – 7.5, no es tolerante a la acidez, requiere de suelos francos bien drenados y con buena estructura, con altos contenidos de materia orgánica, su rendimiento y calidad se ven restringidos en suelos salinos (Vuelvas y Díaz de León, 2001).

Modelo racional

La producción de un cultivo se visualiza como un sistema, y la respuesta de este a la fertilización se explica como un modelo conceptual (Gálvis, 1990; Obrador, 1994).

$$\text{Dosis nutrimental} = \frac{\text{Demanda del cultivo} - \text{Suministro del suelo}}{\text{Eficiencia de recuperación del fertilizante}}$$

La demanda del cultivo es la cantidad de nutrimento que un cultivo requiere para satisfacer sus requerimientos metabólicos. Suministro es el aporte natural o residual de fertilizaciones previas que el suelo pone a disposición del cultivo. La eficiencia de recuperación de fertilizantes es la fracción del nutrimento aportado como fertilizante que es realmente absorbido por el cultivo.

Demanda nutrimental

La demanda nutrimental es la cantidad de nutrimentos que la planta requiere para realizar sus funciones metabólicas sin restricción alguna, para expresar su potencial de rendimiento.

La demanda nutrimental para una producción de 19 t/ha de brócoli fue de 347, 38 y 133 kg/ha de N, P y K, respectivamente (Padilla, 1998), mientras que Magnifico *et al.* (1979) para un rendimiento de 32.3 t/ha mencionan una remoción de 559 N, 23 P y 723 K (kg/ha). En Murcia, España, Rincón *et al.* (1999) refiere que para producir una tonelada de brócoli se requieren de 12.7 N, 1.5 P y 12.5 K (kg/ha) y Soto (1993), citado por Pihan (1996), menciona demandas entre 331 – 472, 13 – 19 y 419 – 599, de N, P y K, respectivamente.

Con la información anterior, se deduce que la cantidad nutrimental para producir una tonelada de brócoli varía entre 12.7 - 25, 0.7 – 2 y 7 – 31 kg de N, P y K, respectivamente. Esta gran variación en la demanda de nutrimentos, hace necesaria una calibración local para establecer, de una manera más cercana a la realidad, la demanda del cultivo bajo las condiciones donde se ha de establecer.

Ramírez V.M y J. Frausto R. (Comunicación personal) obtuvieron resultados en donde señalan que las variedades de brócoli cultivadas en El Bajío, tienen distintas necesidades de nutrimentos para producir una tonelada de producto (Cuadro1).

El brócoli es un cultivo de altos requerimientos nutrimentales; para la región de El Bajío, la extracción nutrimental de la variedad Marathon,

Cuadro 1. Variedades de brócoli y demanda nutrimental (kg/t)

Nutrimento	Variedad			
	Heritage	Legacy	Grandeur	Marathon
Nitrógeno	12.8	15.8	15.1	21.6
Fósforo	3.8	8.1	5.0	6.7
Potasio	17.7	19.4	23.5	31.5

Fuente: elaboración propia.

para un rendimiento de 22 t/ha, fue de: N 380, P 40, K 440, Ca 300, Mg 25, S 140, todos en kg/ha. Fe 1250, Cu 130, Mn 900, Zn 500, B 620 y Mo 40, todos en g/ha; de tal forma que, para producir una tonelada de brócoli se requieren de 17, 1.8 y 20 kg de N, P y K, respectivamente (Vuelvas y Díaz de León, 2001).

Suministro

El análisis de suelo antes del establecimiento del cultivo, es lo más recomendable para poder conocer el grado de suministro nutrimental y otros factores importantes como: el pH, la conductividad eléctrica del suelo, contenidos de sodio y materia orgánica, que aportarán información sobre las condiciones en que se desarrollará el cultivo y así poder estimar un rendimiento esperado.

Eficiencia de absorción de los fertilizantes

La eficiencia en el uso de fertilizantes es muy variable en función del tipo de suelos, método de fertilización, sistema radical del cultivo, uso y manejo del agua y variables del clima. La eficiencia de uso del fertilizante nitrogenado puede ser del 65% (Rodríguez, 1993), mientras que la del fósforo solamente llega a ser entre 9 y 30% (Rodríguez *et al.*, 1994).

Con el riego localizado de alta frecuencia, se mejora la producción y la eficiencia en el uso de los nutrimentos por la planta de brócoli; la ventaja de la fertirrigación radica en que los nutrimentos van dirigidos directamente a la zona radical, se puede controlar la concentración en la solución del suelo y se dosifica en función de la demanda de la planta.

Fertilización

Con relación a la cantidad de fertilizante que hay que añadir al brócoli, existe una gran variación en las dosis aplicadas, Rincón *et al.* (1999), citan a varios autores que obtienen los mayores rendimientos con cantidades de nitrógeno que van desde 224 hasta 540 kg/ha; este ran-

go es aplicable también en El Bajío, para fósforo en esta región varía desde 70 hasta 200 kg/ha, y para potasio desde 0 hasta 400 kg/ha. El método racional arriba mencionado, sirve para definir la dosificación de fertilizantes requerida en función de las condiciones locales.

Una vez que se conoce la cantidad de nutrimentos que se van a aplicar al cultivo, el siguiente paso es seleccionar aquellos fertilizantes que tengan las características físicas y químicas adecuadas al suelo, cultivo y tecnología de manejo (fertilización al suelo o fertirrigación). La forma de nitrógeno en muchas ocasiones ha sido motivo de diferentes respuestas por parte de distintos cultivos; sin embargo, en brócoli se menciona que no existe ningún efecto por la forma en que se adicione el nitrógeno (Liu y Shelp, 1993); contrario a esto, Vuelvas y Díaz de León (2001), encontraron diferencias favorables en rendimiento de brócoli, cuando se usó nitrato de amonio como fuente de nitrógeno en comparación con la urea. En plantas jóvenes, el amonio es necesario para el desarrollo radical, debido a que aún no desarrolla la enzima nitrato reductasa; por eso, es importante la adición de fuentes amoniacaes en aplicación de presiembra o preplante (Burt, 1997). En muchos casos el nitrato de potasio es la fuente más usada de N y K pero, algunas veces, el sulfato de potasio se elige por la fuente de azufre y, en otros casos, se usa el cloruro de potasio por su mayor solubilidad y menor costo (Lazcano, 1997). Es obligación del técnico elegir las mejores fuentes fertilizantes tomando en cuenta su riqueza, solubilidad, compatibilidad, ión acompañante, disponibilidad, costo, forma química y física así como su efecto sobre el pH del suelo.

112

La época de aplicación del fertilizante es fundamental para lograr los máximos rendimientos, mejor calidad de producto y, sobretodo, mayor eficiencia en el uso de los fertilizantes por parte del cultivo. Por esta razón, es importante el conocimiento de las curvas de absorción nutrimental a través del ciclo de cultivo, esto permite elaborar los programas de fertilización *a priori* y, con las técnicas de diagnóstico nutrimental, afinar durante el ciclo cualquier posible desviación. Burt *et al.* (1995) citan las cantidades de absorción de nitrógeno para brócoli (kg N/ha/día), en la región de Arizona, E.U.A. (Cuadro 2).

La variación en cuanto requerimientos nutrimentales, queda de manifiesto cuando se comparan las cantidades de nitrógeno absorbidas en Arizona con las de California (Hartz, 1994).

Una vez definida la cantidad total de nutrimentos necesarios para el cultivo, se aplican los modelos siguientes para definir la dosificación de fertilización a lo largo del ciclo de cultivo. Estas ecuaciones fueron generadas para brócoli en el Bajío (Díaz de León *et al.*, 2007).

Para aquellos casos en donde se tenga riego rodado, se recomienda aplicar el 20% del nitrógeno antes de plantar, 40% en la primera escarda y 40% en la segunda escarda.

Un aspecto importante en la producción de brócoli, es la presencia de tallos huecos en los floretes, lo cual demerita la calidad del producto. Esta característica se relaciona con la decoloración del florete, siendo

Cuadro 2. Absorción de nitrógeno en diferentes etapas de desarrollo del brócoli en Arizona (Kg/N/ha/día)

Días después de plantado	Etapas de desarrollo	Absorción de nitrógeno (kg N/ha/día)
0	Trasplante	0.0
10		0.0
20		0.0
30		0.2
40	4 a 6 hojas	1.13
60	10 a 12 hojas	6.4
75	Primeros floretes	9.6
85	Desarrollo de floretes	9.0
90	Cosecha	

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 3. Requerimientos de nitrógeno en diferentes etapas de desarrollo, para California

Cultivo	Etapas de desarrollo	
Brócoli	Desarrollo temprano	0.81 – 2.43
	Mediados de estación	1.61 – 3.25
	Formación de botón	2.43 – 4.87
	Desarrollo de cabeza	1.61 – 3.25

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 4. Modelos de extracción nutrimental del brócoli

Modelos de extracción (% del máximo obtenido)				
Nutriente	b ₀	b ₁	b ₂	R ²
N ^b	0.0001	3.1013	--	0.985
P ^b	6.1E-05	3.230	--	0.993
K ^a	2.2358	-0.3801	0.0155	0.995
Ca ^b	0.0002	3.0387	--	0.968
Mg ^b	0.0004	2.8044	--	0.978
S ^b	0.0002	3.026	--	0.973
Fe ^b	0.0008	2.6607	--	0.972
Mn ^a	0.0585	-0.0064	0.0002	0.989
Zn ^b	0.0001	3.1128	--	0.983
Cu ^a	9.231	-0.7863	0.0197	0.993
B ^b	3.5E-05	3.3263	--	0.974

Fuente: elaboración propia.

^a $Y = b_0 + b_1X + b_2X^2$

^b $Y = b_0(X^{b1})$

X toma valores de 13 a 91 días después del trasplante

esto indeseable sobre todo cuando se va a empacar congelado, esta característica se favorece con el mayor espaciamiento entre plantas (Shattuck *et al.*, 1986). La aplicación de 200 kg/ha de potasio redujo el número de frutos con tallo hueco en 10% (Vuelvas y Díaz de León, 2001).

En el brócoli la mayor concentración de boro se localiza en las hojas, es recomendable utilizar la hoja más joven y recientemente madura para caracterizar el estado del boro en la planta (Gupta, 1991).

Diagnóstico nutrimental

Lo ideal es iniciar con el análisis físico y químico del suelo, que permitirá corregir las deficiencias que presente desde antes del establecimiento del cultivo. Generalmente se requiere fertilizar el suelo para mantenerlo en un buen nivel de fertilidad, por ejemplo, cuando el análisis de suelo indica una concentración de N-NO₃ por debajo de 15 ppm se recomienda aplicar una cantidad de 80 kg N/ha para dar un buen inicio al cultivo. Posteriormente, se puede seguir cuidando la

nutrición a través de los análisis de la solución de suelo, esta práctica analítica permite dar seguimiento al estado nutrimental que guarda el medio donde se abastecen las raíces del cultivo en cualquier etapa de desarrollo del cultivo.

El análisis visual del estado del cultivo, es una práctica de campo que permite tomar decisiones inmediatas de fertilización; sin embargo, los síntomas detectados requieren de conocimientos claros de la planta ideal y los síntomas específicos de la deficiencia de cada nutrimento; normalmente, cuando aparece un síntoma visual, la planta ya ha sido afectada en su expresión potencial de rendimiento, la conjunción de métodos de diagnóstico es lo más recomendable para mantener en niveles óptimos la nutrición del cultivo.

Para continuar el seguimiento del estado nutrimental del cultivo, se recomienda realizar análisis vegetal en una o dos ocasiones durante el ciclo, para hacer las correcciones necesarias en eventuales deficiencias nutrimentales, para lo que se hará uso de los índices de suficiencia que permiten conocer las cantidades actuales y faltantes.

Para mantener un cultivo con un balance nutrimental adecuado, se recomienda utilizar el Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (Mejía *et al.*, 2005), que permite, a partir del análisis vegetal, realizar un diagnóstico del balance nutrimental a través de índices; aquellos que presenten signo negativo se encontrarán en deficiencia relativa y con signo positivo estarán en exceso relativo. Mejía *et al.*, (2005) formularon las normas DRIS para aplicar esta metodología en beneficio de los productores agrícolas, en el cultivo de brócoli y otros cultivos.

Otra forma complementaria es el análisis del extracto celular que puede realizarse a través de todo el ciclo de cultivo; Hartz (1994), encontró valores de suficiencia de N-NO₃ en tejido y savia de pecíolo de brócoli (Cuadro 5).

Se han elaborado guías de fertilización por diversos investigadores citados por Thompson (1997) para la región de Arizona. Un ejemplo

para el manejo del nitrógeno en riego por goteo para el cultivo de brócoli se presenta a continuación:

La presente información es producto de la investigación realizada por los autores en El Campo Experimental Bajío del INIFAP y, a partir de su generación, se ha implementado directamente con los productores de brócoli, contribuyendo de manera sustancial en el incremento de sus rendimientos y calidad.

Cuadro 5. Rangos adecuados de N-NO₃ en extracto celular de peciolo de brócoli.

Cultivo	Etapa de desarrollo	ppm de N-NO ₃ en peciolo	
		Tejido seco	Savia
Brócoli	Mediados de desarrollo	10 000 – 20 000	1 000 – 1 600
	Formación del botón	8 000 – 15 000	800 – 1 200
	Precosecha	5 000 – 8 000	600 – 1 000

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 6. Guía de fertilización nitrogenada para el cultivo del brócoli en Arizona

Etapa de crecimiento	Rangos N-NO ₃ (ppm en Nervadura central)	Aplicar N en kg/ha
4 a 6 hojas	> 25 000	0 - 55
	15 000 – 25 000	55 - 85
	5 000 – 15 000	85 - 35
	< 5 000	135 - 170
10 – 12 hojas	> 13 000	0 - 65
	5 000 -13 000	55 - 85
	< 5 000	135 - 170
Primeros floretes	> 9 000	0 - 55
	5 000 – 9 000	55 - 90
	< 5 000	90 - 110

Fuente: elaboración propia.

Referencias bibliográficas

- Burt C. K., O'connor y T. Ruehr, (1994). Fertirrigation. ITRC. California Polytechnic State University. San Luis Obispo, Calif. U.S.A. 295 p.
- Burt C.K., (1997). Fertirrigation Chemical. En: 2° Simposium Internacional de Fertirrigación. Memorias. Querétaro, México. pp. 109-118.
- Díaz de León T. J. G., C. Mejía A., B. Hurtado G. y L. F. Díaz E., (2007). Validación de un programa computacional de normas DRIS (Sistema Integrado de Diagnostico y Recomendación) para mejorar la productividad agrícola a través del balance nutrimental. Informe Técnico. Proyecto N° 410, Folio del Proyecto: 11-2005-5033, Fundación Guanajuato Produce/INIFAP. 141 p.
- Gálvis S. A., (1990). Validación de las normas de fertilización de nitrógeno y fósforo estimadas con un modelo simplificado para maíz, con las dosis obtenidas en la experimentación de campo. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados, Montecillos, México. 113 p.
- Gupta. U. C., (1991). "Boron, molibdenum and selenium status in different plant parts in forage legumes and vegetable crops". Journal of Plant Nutrition. 14(6), pp 613-621.
- Hartz T. K., (1994). "Drip irrigation and fertigation management of vegetable crops". Fertilizer Research and Education Program. Calif. Dept. of Food and Agriculture. Sacramento, Calif. U.S.A. 21 p.
- Lazcano F. I., (1997). La importancia de la adecuada dosificación y selección del fertilizante. En: 2° Simposium Internacional de Fertirrigación. Memorias. Querétaro, México. pp. 61-64.
- Liu L. y B. J. Shelp., (1993). "Broccoli yield and nitrogen composition in response to different mangement regimes". Commun. Soil Sci. Plant Anal. 24:(1&2), pp. 61-84.
- Magnífico V., V. Lattancio y G. Sarli., (1979). "Growth and nutrient removal by broccoli". J. Amer. Soc. Hort. Sci. 104:201-203
- Obrador O. J. J., (1994). Validación de parámetros de planta y clima que se utilizan en un modelo simplificado destinado a determinar dosis de fertilización de nitrógeno, fósforo y potasio para maíz. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados, Montecillos, México. 120 p.

- Padilla C. J., (1998). Estimación de la demanda nutrimental de N, P, y K de brócoli y cebolla. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados, Montecillos, México. 120 p.
- Piham S. R., (1996). Aspectos fisiológicos del crecimiento y desarrollo del brócoli. p.1-21. En: Seminario en tecnologías para producir altos rendimientos y buena calidad en brócoli y coliflor. SQM-Nitratos Chilenos. Irapuato, Gto. pp 1-121.
- Rincón L., J. Sáez, J. A. Pérez C., M.D. Gómez L. y C. Pellicer, (1999). Crecimiento y absorción de nutrientes del brócoli. Invest. Agric.: Prod. Prot. Veg. Vol. 14(1-2)225-236.
- Rodríguez S. J., (1993). Manual de fertilización. Colección en Agricultura, 1ª edición. Facultad de Agronomía Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 362 p.
- Rodríguez S. J., A. Gálvis S. y D. Etchevers B., (1994). A system approach for determining NP fertilizer recommendations for annual crops. IV Validation. 15 th. Worl Congress of Soil Science. Acapulco, Gro. México. Volume 5B: 444-445.
- Shattuck V. I., B. J. Shelp, A. Loughton y R. Baker, (1986). Environmental stability of yield and hollow stem in broccoli (*Brassica oleracea var. Italica*). Canadian Journal Plant Science. 66:683-688.
- Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON), (2010).
- Thompson, T. L., (1997). Fertigation of vegetable crops: The Arizona experience. En: 2° Simposium Internacional de Fertirrigación. Memorias. Querétaro, México. pp. 83-90.
- Vuelvas, C. M. A. y J. G. Díaz de León T., (2001). Riego por goteo y fertirrigación del brócoli. En: Tecnología de producción de las crucíferas. V Seminario Internacional. Memorias. Celaya, Gto. México. pp. 1-12.

Referencias electrónicas

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). www.fao.org/agronoticias/agronoticias/detalle/es/c/82859/?dyna_fef%5Bbackuri%5D=agronoticias%2Fmensual%2Fes%2F%3Fmes%3D2011-07. Consulta: 2011.

Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON), (2010). <http://www.siap.gob.mx/optestadisticasiacon2012parcialsiacon-zip/>. Consulta: 2012.

Disco compacto.

Mejía A.C., J.G. Díaz de León T. y F.P. Gámez V., (2005). Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación. DRIS. Versión 2.0. CE-BAJ-INIFAP Guanajuato, México.

Capítulo 7. Sostenibilidad de los suelos en diferentes ecosistemas de Cuba y México bajo uso agrícola

Introducción

Los suelos de las regiones tropicales de Centroamérica y El Caribe, constituyen edafopaisajes que cambian en tiempo y espacio ya que, por una parte, se tienen superficies que, por su origen, son de formación antigua, ubicadas en montañas o en llanuras, con más de 2 millones de años de formación y, por otra parte, están las de formación reciente en las que se involucran procesos relacionados con su relieve complejo y eventos sísmicos y volcánicos. Todos ellos contribuyen en gran medida a sus propiedades las cuales, en cierta forma, se modifican por la acción del hombre, sobre todo por el uso agrícola continuo e intensivo.

El suelo es la parte más externa de la corteza terrestre, sus propiedades, funcionalidad y los procesos que en él ocurren como parte de su propia naturaleza son esenciales para la sostenibilidad del hábitat global, y una de sus principales funciones en el ecosistema terrestre es la productividad alimentaria. En este contexto en particular, se analiza la productividad hortícola y frutícola en diversas regiones de Cuba y México.

El suelo se define como una diversidad de cuerpos naturales no consolidados, que forman parte de la superficie de la corteza terrestre, que son capaces de sustentar la vegetación y por tanto donde se lleva a cabo la mayor actividad biológica de los sistemas terrestres (Soil Sur-

vey Staff, 1999); Blume *et al.* (2002). Su formación es el resultado de la interacción del material parental, el clima y la actividad biológica, influenciada por el relieve y la topografía a través del tiempo; es decir, son generados por el intemperismo de rocas y sedimentos. Es el sitio del intercambio dinámico de materia y energía entre el aire, agua y las rocas. El suelo es una parte de los ecosistemas terrestres, que ocupa una posición clave en los ciclos globales de los elementos y brinda múltiples servicios ecosistémicos.

Como todas las zonas de contacto entre dos sistemas, posee los constituyentes y las propiedades de ambos y de otros en transición, por ejemplo, la materia orgánica humificada y los cationes intercambiables. El suelo asume el papel de la interfase de todos estos niveles de organización, desde niveles moleculares del complejo arcilla- humus menor de 50 μm , a niveles macro como el mantillo forestal donde germinan la mayoría de las plantas de los ecosistemas forestales.

En todos los casos, el suelo es un sistema ecológico dinámico y sus funciones ecológicas son las siguientes:

Producción de biomasa en los ecosistemas naturales, su función es generar y mantener la cubierta vegetal y, en los agroecosistemas- es un recurso que brinda seguridad alimentaria, forraje, renovación de la energía y materia prima; estas funciones bien conocidas son la base para la existencia de la vida animal y humana.

Capacidad de filtrar, amortiguar y transformar entre la atmósfera, el manto freático y la cobertura vegetal, protegiendo el ambiente, incluyendo a los seres humanos contra la contaminación de los mantos freáticos y de la cadena alimenticia (Eswaran *et al.*, 2003).

Hábitat para los seres vivos y reserva de germoplasma, dada la gran variedad de organismos que lo habitan fuera y dentro del suelo. Los suelos albergan más especies en su matriz, tanto en número como en variedad, que toda la biota que vive encima de él. Así, el uso del suelo está ligado directamente a la biodiversidad (Blum, 1998).

Procesos de formación de suelos

Los suelos se forman por transformaciones y/o acumulaciones complejas de la parte mineral y orgánica, que se manifiesta en sus características morfológicas, físicas, químicas y biológicas.

Siguiendo la teoría de formación de los suelos de Guerasimov y Glazovskaya (1965), se han determinado diferentes procesos elementales en los suelos que tienen relación con los ecosistemas (Hernández *et al.*, 2006).

Para el ordenamiento de los suelos es necesario considerar los procesos de formación, relacionados con la transformación y acumulación de materiales y sustancias que tienen lugar en función del clima; en este sentido, para las regiones tropicales son los siguientes:

En el caso de los suelos que, en su origen, predominó la transformación de la parte mineral, las etapas de su evolución se conformaron con base en los siguientes procesos: formación primaria del suelo, silicización, fersialitización, ferralitización, alitización y ferritización.

Otros procesos de formación de suelos para los ecosistemas son: humificación, acumulación de turba, salinización, desalinización, vertisolización, andosolitización, gleyzación, lixiviación, podzolización y formación de lateritas (corazas ferruginosas).

La combinación de estos procesos da lugar a los diferentes tipos de suelos, ya sea por un solo proceso o la combinación de dos o tres de ellos. Como exponente de los suelos tropicales, es importante tener en cuenta los suelos evolucionados, formados *in situ* (en forma eluvial), la mayoría de las veces con cortezas antiguas de intemperismo.

Sostenibilidad de los suelos

El paradigma de la sostenibilidad propia del suelo y del manejo sostenible del suelo es un concepto en el que muchos científicos difieren ampliamente; considerando que existe un objetivo común, que es re-

solver el problema de la conservación del recurso para el bienestar a futuro. El manejo sostenible de la tierra tiene alta prioridad en la lista de la Agenda 21 de la United Nations Conference on the Environment and Development (UNED 2002), iniciada en Río de Janeiro, 1992, al proponer actividades para asegurar el desarrollo más sostenible desde el punto de vista ambiental, social y económico.

Durante muchos años se pensó que los suelos de los ecosistemas podrían sustentar la producción agrícola sin muchos problemas. Es decir, los ecosistemas agrícolas resultan sostenibles. Sin embargo, en 1990 se pudo comprobar que después de la Segunda Guerra Mundial, durante el período de 1945 a 1990, la degradación del suelo en el mundo aumentó en 17%, contra solamente un 6% en el período de 1900-1945 (Oldeman *et al.*, 1990). Esto se debe a la intensificación de la actividad agrícola con la llamada “Revolución Científico Técnica en la Agricultura”, que se fundamenta en la aplicación de altos insumos como fertilizantes, pesticidas, riego, mecanización. Dentro de este porcentaje, para Centroamérica y El Caribe (incluyendo México) se alcanzó el mayor valor (24.8% de degradación de los suelos).

Además de lo anterior, se ha estimado que 562 millones de hectáreas de terrenos agrícolas (38% de la extensión de los suelos agrícolas del planeta) se han degradado por su mal uso y manejo, Oldeman, (1994). Y que el aumento anual de la degradación es en promedio de 5 – 6 millones de hectáreas conforme al Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, 1997).

Por una parte, es importante analizar las causas de la degradación de los suelos pero, por otra, es necesario considerar cuales son los factores que posibilitan resistencia en las propiedades de los suelos a la degradación, sobre todo en ecosistemas tropicales donde las lluvias y la temperatura, resultan los mayores, factores que inciden grandemente en los procesos de degradación.

Realmente, una de las características del suelo que refleja su estado de conservación o degradación es la estructura, en la que intervienen va-

rios factores, entre ellos los más importantes son la materia orgánica, el contenido en hierro y la textura del suelo (Hernández *et al.*, 2010)

La materia orgánica del suelo, sus funciones y procesos edáficos.

A nivel de edafosistemas naturales o de agroecosistema la materia orgánica del suelo (MOS) tiene influencia en muchas de sus funciones y en los procesos del suelo fácilmente medibles. La MOS es una fuente y un reservorio de nutrimentos para las plantas y provee un sustrato energético para los organismos del suelo. Mejora la macro y la microagregación, favorece así la infiltración del aire y del agua, y promueve la estabilidad de los edafosistemas. La MOS mejora la capacidad de retención de agua disponible (CRAD) e influye en la eficacia y disipación de los pesticidas. Sobre todo, la interrelación positiva entre la MOS y la agregación del suelo, tiene beneficios muy importantes para la infiltración del agua y del aire, protegiéndolo de la compactación excesiva, la erosionabilidad y de la lixiviación de los nutrimentos; por tal motivo, su contenido es un indicador de la calidad del suelo.

La MOS debe verse como un conjunto de fracciones, que describen su *calidad* con más precisión. Una es la fracción ligera o materia orgánica libre y la otra es la macroorgánica (materia orgánica particulada); el carbono de la biomasa microbiana, el carbono mineralizable, los carbohidratos, las enzimas; sobre todo las sustancias húmicas de naturaleza coloidal, tipificadas como ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y huminas. Todas estas fracciones tienen una gran importancia biológica al estar involucradas en varias de las funciones y de los procesos edáficos, tales como la agregación, la formación de la estructura del suelo, el ciclo y almacenamiento de los nutrimentos. La caracterización de la MOS aporta información de su estructura química y de sus grupos funcionales; es también útil para evaluar la influencia del uso de la tierra, a través de los cambios en su naturaleza. Las medidas de la abundancia, diversidad y actividad de los microorganismos en el suelo, se consideran entre los indicadores potenciales de la calidad del suelo (Rees *et al.*, 1999). La biomasa microbiana es el agente principal que soporta

gran parte de las funciones del suelo y se asocia con los procesos involucrados en el almacenaje y ciclaje de los nutrientes y de la energía.

Los hongos micorrízicos arbusculares desempeñan un papel muy importante en la sostenibilidad de la productividad vegetal y en la formación y mantenimiento de la estabilidad estructural del suelo; mientras que la fauna del suelo es determinante para los procesos edáficos por su influencia en el reciclaje de nutrientes, en la formación de bioporos dentro y entre los agregados y en la permeabilidad del suelo (Lavelle *et al.*, 1997). En fin, que la materia orgánica aporta energía para los microorganismos, y ambos inciden en la formación de la estructura y reserva de nutrientes adecuados en el suelo.

El hierro en la formación de la estructura del suelo

El otro factor es el contenido en hierro en los suelos tropicales, ya que este elemento junto con la materia orgánica, puede formar microagregados muy resistentes en el suelo. Según Aarnio (citado por Agafonov, 1981), la interacción de los oxihidróxidos de hierro con las sustancias orgánicas, provoca la coagulación en condiciones de 1 parte de Fe_2O_3 , con concentraciones desde 2.27 hasta 0.93 partes de humus.

En estudios más recientes (Cooper *et al.*, 2005; Hernández *et al.*, 2010), demuestran que en los suelos de composición ferralítica, el hierro influye fuertemente en la formación de microagregados; como también en el contenido de materia orgánica y arcillas.

Por lo anterior se deduce que los suelos tropicales ricos en materia orgánica y en hierro, pueden tener una sostenibilidad relativamente alta a la producción agropecuaria, en relación con otros suelos de estas regiones.

En Cuba y en México se viene trabajando en los últimos 10 años en el diagnóstico de la degradación de los suelos, para lograr la sostenibilidad de los mismos mediante investigaciones a mediano y largo plazo, sobre la base de los llamados "Sectoros y Parcelas de Referen-

cia” (Hernández *et al.*, 2006). En este trabajo, se exponen dos casos de estudios referidos al diagnóstico de la degradación de suelos y su sostenibilidad; uno en Cuba y dos en México

Escenario de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados de la Llanura roja de la antigua provincia La Habana, hoy día Mayabeque y Artemisa, Cuba.

La llamada “Llanura roja de La Habana”, está constituida por suelos Ferralíticos Rojos, la mayor parte de ellos lixiviados; por lo tanto, predominan los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados, éutricos, arcillosos que, según la última versión de clasificación de suelos de Cuba (Hernández *et al.*, 1999), se correlacionan con los Nitisoles ferrálicos, líxicos (éutricos, arcillícos y ródicos), según la clasificación de suelos de la World Reference Base (WRB, 2006). Esta es una región de llanura cárstica, con clima tropical subhúmedo, con lluvias en verano que oscilan entre 1300 - 1500 mm anualmente y temperatura media anual de 24 °C. Durante más de dos siglos esta llanura ha sido cultivada intensamente, de forma tal, que ya desde principios del siglo XIX, Crawley (1916) planteó que estos suelos necesitaban restaurar su fertilidad ya que habían sido muy cultivados durante la época colonial; inicialmente por el cultivo del tabaco y posteriormente por la caña de azúcar, café y cultivos varios.

En los últimos años, se han obtenido resultados sobre el cambio de las propiedades de estos suelos por la influencia de la producción agrícola continua (Hernández *et al.*, 2006, 2009, 2010; Morell, 2007; Morales, 2008), llamándose a estas transformaciones como evolución agrogénica de los suelos (Hernández *et al.*, 2009); acorde a estos principios planteados anteriormente en la edafología rusa (Shishov *et al.*, 2004, Tonkonogov y Guerasimova, 2005, Dubrovina, 2009).

Las investigaciones se han llevado a cabo estudiando perfiles de suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados (FRL) divididos en tres categorías; los llamados perfiles patrones (6 perfiles) en condiciones lo mas natural posible; perfiles conservados (14 perfiles) tomados en sistemas de pastizales o

arboledas de 20-25 años y suelos muy cultivados o agrogénicos (18 perfiles). Entre los resultados obtenidos se destaca que, con el cultivo agrícola intensivo, se oxida la materia orgánica del suelo, lo que conduce a la ruptura de los microagregados, los cuales están constituidos por hierro, materia orgánica y arcilla (Cooper *et al.*, 2005); de forma tal, que se aumenta el factor de dispersión de la arcilla en el suelo, se destruye la estructura original (granular y nuciforme) y se aumenta la densidad de volumen, con el surgimiento de la compactación del suelo. Además, se disminuye la porosidad total y de aeración y el almacén de agua en el suelo.

Se obtienen las pérdidas de carbono en los suelos muy cultivados (Cuadros, 1 y 2), en comparación con suelos conservados (en arboledas o pastizales de muchos años) o patrones (suelos de arboledas de más de 50-100 años), así como las pérdidas del almacén de agua y el rendimiento relativo de los suelos.

Es decir, que los resultados indican que estos suelos han perdido, en perfiles conservados, el 28.4% de las reservas de carbono, comparados con suelos cercanos a los que existían en ecosistemas naturales, y los agrogénicos que han perdido 52.2% del carbono.

En ambos casos en la capa de 0-20 cm. (capa arable del suelo). Para el caso de los suelos agrogénicos, las pérdidas de carbono en las capas de 0-50 y 0-100 cm están alrededor del 30%.

Cuadro 1. Promedio de reservas y pérdidas de carbono en suelos FRL, bajo diferente cobertura vegetal, en el ecosistema de la llanura roja de La Habana

Tipo de perfil	Reservas en Mg ha ⁻¹ , por capas en cm.				Pérdidas en Mg ha ⁻¹ , por capas en cm.			
	0-20	0-50	0-100	50-100	0-20	0-50	0-100	50-100
Patrón (6)	67	97	133	40	--	--	--	--
Conservado (14)	48	87	123	36	19	10	10	4
Agrogénico (18)	32	62	89	27	35	35	43	13

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 2. Pérdidas relativas de carbono en suelos FRL, por la influencia agrogénica, en el ecosistema de la llanura roja de La Habana

Tipo de perfil	Porcentajes de pérdidas contra perfil patrón, por capas en cm.			
	0-20	0-50	0-100	50-100
Patrón (6)	--	--	--	--
Conservado (14)	28.4	10.3	7.5	10.0
Agrogénico (18)	52.2	36.1	32.3	32.5

Fuente: elaboración propia.

Estos resultados están dentro de los límites de pérdidas de carbono en los ecosistemas naturales planteados por Lal *et al.* (2007), quienes aseguran que los suelos agrícolas han perdido entre el 30% y 75% de las reservas de carbono orgánico o 30 a 40 Mg C ha⁻¹.

Se determinaron algunos indicadores promedio para estas propiedades en los suelos bajo diferente cobertura vegetal (Cuadro 3).

Además de la caracterización anterior, se realizó la medición de la humedad del suelo hasta 60 cm, mensualmente durante tres años (2006-2008), en las tres variantes de suelo patrón, suelo conservado y suelo agrogénico. En el Cuadro 4, se presentan los datos sobre la disminución del almacén de agua en las variantes de suelos conservado y muy cultivado contra el patrón.

Cuadro 3. Valores promedio de la MOS, reservas de carbono, densidad aparente (DA) y factor de dispersión (FD) en los suelos (32 perfiles analizados)

Variante de suelo	% MOS (Hor. A)	Reservas de C en Mg ha ⁻¹ (en cm.)				DA Mg×m ³	FD (Hor. A)
		0 – 20	0 – 50	0 – 100	50 - 100		
Patrón	6.38	67	97	133	36	1.008	12.400
Conservado	4.58	48	87	123	36	1.038	15.615
Agrogénico	2.50	32	62	89	27	1.145	26.810

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 4. Determinación de las pérdidas de almacén de agua según la variante de uso de los suelos FRL

Uso del suelo	Reservas de humedad (m ³ ha ⁻¹) al LSHP, para las diferentes capas de suelo (cm)		Reservas de humedad (m ³ ha ⁻¹) al LIHP, para las diferentes capas de suelo (cm)		Humedad productiva de suelo (en m ³ ha ⁻¹), para las diferentes capas de suelo (cm)		Cálculo de la disminución del % relativo de la humedad productiva por capas de suelo (cm)		Pérdidas en % de la humedad productiva por capas (cm)	
	0-20	0-60	0-20	0-60	0-20	20-60	0-20	20-60	0-20	20-60
Ficus	941	2570	659	1799	282	771	--	--	--	--
Frutales	780	2303	546	1612	234	691	83	90	17	10
Cultivos	679	22	475	1583	204	678	72	88	28	12

Fuente: elaboración propia.

Mediante experimentos controlados en maceta, se determinó la productividad de los suelos (considerando un patrón, conservado y otro muy cultivado), utilizando sorgo como cultivo testigo. El rendimiento en materia seca obtenido durante tres cortes para el suelo patrón, correspondería al 100% del rendimiento, determinando los rendimientos relativos para las otras dos variantes de suelo (Cuadro 5).

Estos datos demuestran que los suelos que han estado bajo la influencia de la formación agrogénica, pierden un 50% de su productividad con relación al suelo patrón, formado en las condiciones más naturales posibles.

Cuadro 5. Rendimiento relativo calculado por experimentos en macetas, después de tres cortes, usando sorgo como cultivo indicador

Variante de suelo	Peso en gramos de masa seca por variante de suelo		
	Total	% con respecto al patrón	% pérdida de rendimiento
Patrón	25.99	100	0
Conservado	16.18	62.3	37.8
Antropizado	12.89	49.6	50.4

Fuente: elaboración propia.

Con los resultados anteriores, se preparó una serie de indicadores para las tres variantes de suelos; patrón, conservado y muy cultivado (agrogénico), tal como se presentó y se demostró en el Cuadro 6.

Según Hernández *et al.*, 2010. los suelos FRL de la llanura roja de La Habana, Cuba, se degradan por el uso continuado e intensivo en la agricultura, pero cabe preguntarse ¿por qué estos suelos a pesar de que llevan más de dos siglos de uso agrícola, aún dan buenos rendimientos cuando se cultivan adecuadamente sobre todo con mejoradores, como es la aplicación de abonos orgánicos o de biofertilizantes. El problema es que la sostenibilidad de estos suelos reside en la formación de microagregados, donde interviene la materia orgánica, el hie-

Cuadro 6. Indicadores de la degradación de las propiedades en Nitisoles ferrálicos por la influencia del cultivo continuado (influencia agrogénica)

Suelo y Propiedades	Nitisol ferrálico lúxico (éutrico, arcilloso y ródico), FRL patrón	Nitisol ferrálico lúxico (éutrico, arcilloso y ródico), FRL conservado	Nitisol ferrálico lúxico (éutrico, arcilloso y ródico), FRL muy cultivado
Tipo de perfil	O-Ah-Bt-C	Ah ó A-Bt-C	A ó BA-Bt-C
Estructura del horizonte A y Bt	En el A, granular; en el Bt bloques subangulares, poliédrica o prismática	En el A, granular y nuciforme; en Bt bloques subangulares (5-7 cm), poliédrica o prismática	En el A de bloques pequeños o bloques subangulares, poliédrica o prismática, a veces con piso de arado en la superficie o cerca de ella
Porcentaje de MOS	Muy alto > 5-6	Entre 3.5 – 4.5	< de 2 – 3
FD en el horizonte A	De 10 - 15	De 15 – 20	Mayor de 20, puede llegar a 40 - 50
DA (Mg m ⁻³)	En el horizonte A entre 0.9 – 1.02; en el Bt entre 1.0 y 1.10	En el horizonte A entre 1.0 y 1.05, en el Bt entre 1.05 y 1.15	Mayor de 1.10 y puede llegar hasta 1.3-1.4 sobre todo en el horizonte Bt
Actividad micorrízica	Alta, tanto por la cantidad de esporas como por la producción de glomalina	Con reducción en la producción de esporas	Baja, por la cantidad de esporas, y por la cantidad de glomalina producida

Fuente: elaboración propia.

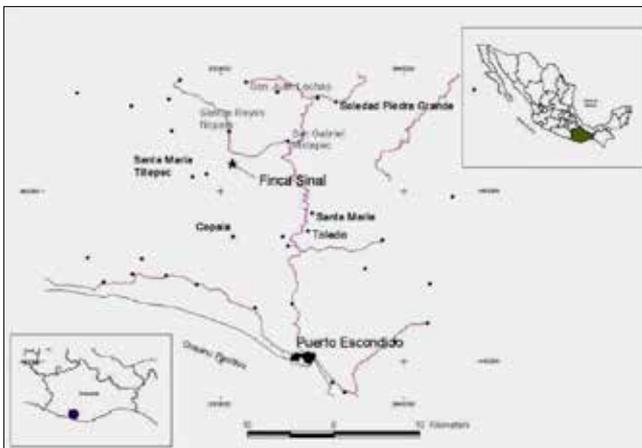
ro y las partículas arcillosas, principalmente, y que a pesar de que se degrada el suelo por pérdidas de materia orgánica, se mantiene cierta microagregación por el contenido en hierro y la cantidad de arcilla del tipo 1:1; de forma tal que, a pesar de que los suelos están bajo cultivo desde hace más de dos siglos, siguen dando buena respuesta a las prácticas agrícolas adecuadas.

Escenario de ecosistemas mixtos: bosques-cafetal en Alisoles, Cambisoles y Umbrisoles en la Sierra Sur de Oaxaca, México

El área estudiada forma parte de la Sierra Sur de Oaxaca, donde el cultivo de café bajo sombra diversificada de la vegetación de bosque es predominante, siendo la zona de Pluma, Hidalgo, certificada por la calidad de café de reconocimiento nacional e internacional (Figura 1).

Es una zona montañosa ubicada entre los 15°54'48" latitud norte y 96°23'19" longitud oeste, con alturas entre 600 a 1225 msnm y climas templado subhúmedo Cw_0 a >1000 msnm y cálido subhúmedo Aw_0 entre 600 a 1000 msnm. La precipitación media anual es de 1035 mm y la vegetación natural de bosque subcaducifolio (Rzedows-

Figura 1. Ubicación de la zona de estudio en la Sierra Sur de Oaxaca



Fuente: elaboración propia.

ki, 1978) y bosque mediano subperennifolio con especies como: *Inga punctata*, *I. lactibracteata*, *I. oerstediana*, *Sauravia sp.*, *Dipholis micropholi*, *Hymenaea coubaril*, *Enterolobium cyclocarpa*, *Nectandra sp.*, *Cecropia obtusifolia*, *Miconia donell-smithi*, *Cupania dentata*, *Clethra alcoceri* (Álvarez et al., 2002).

En esta zona, los estudios edafológicos realizados en diferentes sitios (García et al., 2006), demostraron la evolución progresiva de los suelos, con cortezas de intemperismo profundas, que se puede interrumpir por los eventos sísmicos que, en algunos casos, han dado lugar al rejuvenecimiento del suelo donde debido a los procesos coluviales, se originan suelos más jóvenes. De esta forma, los suelos analizados representan una cronosecuencia desde suelos jóvenes, Cambisoles, hasta Alisoles, caracterizados por una fuerte iluviación de arcilla y dominio de caolinita y gibbsita en la fracción arcillosa. Es decir, en la región predominan los procesos de formación de suelos evolucionados pero, conjuntamente, se presentan suelos más jóvenes debido al traslado de materiales recientes dando un rejuvenecimiento en el suelo.

El ecosistema, por tanto, ha estado sujeto a la transformación intensa de las sustancias minerales (de las rocas madres originarias, constituidas por anortositas, gneiss y lutitas primordialmente) y al lavado intenso, de forma tal, que los suelos varían de reacción ácida a fuertemente ácida.

En este estudio se presentan los datos de 4 perfiles de suelos cultivados con café bajo la sombra de bosques:

Perfil 1. Alisol húmico Perfil 3. Umbrisol arénico
Perfil 2. Cambisol móllico Perfil 4. Alisol arénico

Por los resultados analíticos que se muestran de sus propiedades (Cuadro 7), se observa que son de reacción muy ácida, con pH en cloruro de potasio menor de 5.0 e inclusive menor de 4.0 en el perfil 1 del Alisol húmico (no se muestran) en todos los perfiles. Y entre 5.7 a 5.3 en agua, donde la mayor acidez corresponde al sitio con Acahual.

Cuadro 7. Propiedades de algunos suelos (0-20 cm) representativos de agroecosistemas de la Sierra Sur de Oaxaca.

Sitio	Altitud m	pH H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	CIC	% SB	arc	C	N	C:N
			cmol(+)kg ⁻¹						g·kg ⁻¹			
Cafetal Alisol húmico	990	5.4	71.6	35.8	3.0	17.1	214	59.4	316	33.2	3.7	9.0
Acahual Cambisol móllico	1150	5.3	111.2	9.4	7.3	1.9	226	57.3	76	42.1	3.2	13.4
Cafetal Umbrisol arénico	1170	5.7	35.0	8.2	9.5	6.1	178	33.0	84	35.4	3.2	11.1
Cafetal Alisol arénico	1225	5.5	59.1	6.8	5.5	0.8	262	27.4	92	52.1	3.5	14.9
D.E.		0.2	31.8	13.9	2.8	7.4	34	16.4	146	8.49	0.2	2.6

D.E.= desviación estándar, SB=saturación de bases, CIC=capacidad de intercambio catiónico, arc=arcilla

Fuente: elaboración propia.

En la mayoría de ellos el contenido de carbono es relativamente alto, excepto en el Alisol húmico, en el cual se manifiesta el comienzo de un ciclo nuevo de acumulación de humus, siendo más bajo por el rejuvenecimiento del suelo en la profundidad de 0-20 cm.

Estos resultados demuestran que en este ecosistema, los suelos de reacción muy ácida, bajo el cultivo del café, mantienen cierta sostenibilidad sin detrimento de sus propiedades morfológicas, debido a que el ciclo biológico de las sustancias de los residuos de los árboles del bosque y el cultivo del café, mantienen un aporte de materia orgánica que colabora con la conservación de las propiedades del suelo.

Por tanto, el cambio de las propiedades de los suelos de este ecosistema, sería más por la evolución del suelo en las condiciones naturales, que por la influencia antrópica del cultivo del café. En esas condiciones, el uso agrícola actual con cafetal bajo sombra de árboles de los bosques naturales, mantiene buena productividad y la sostenibilidad de estos suelos.

Escenario de bosques, cafetal con sombra y cañaveral, en suelos formados a partir de cenizas volcánicas en la región Coatepec-Veracruz

En estos ecosistemas el clima varía desde la zona de Coatepec, localizada a una altura de 1 225 msnm, hasta 850 msnm en la parte baja. El clima en la parte más alta puede catalogarse como templado húmedo Cw₁, con precipitaciones anuales de 1957 mm, y temperatura media anual de 18.9°C.

El material de origen del suelo es de cenizas volcánicas, siendo más frecuente en la parte alta del relieve, cerca de Coatepec. Este material volcánico, en condiciones de humedad particulares, conlleva a la formación de complejos aluminio-humus y hierro-humus muy estables, que conservan la MOS y le imparten una estructura desarrollada del tipo granular.

Para este estudio se seleccionaron los resultados de 6 perfiles de suelos (García, 1984, 1989), que se relacionan a continuación:

Perfiles 1 y 2, tomados bajo bosque mesófilo de *Quercus germana*, *Carpinus caroliniana*, *Clethra macrophyla* y otras, en Andosol móllico.

Perfiles 4 y 5, tomados bajo cafetal a la sombra con árboles de *Inga leptoloba*, en Andosol móllico.

Perfil 7, tomado bajo caña de azúcar de 3 años, en Andosol móllico.

Perfil 8, tomado bajo caña de azúcar de 6 años, en Andosol móllico.

Todos los perfiles estudiados presentan arcillas de rango corto y haloisita, como productos del intemperismo de cenizas volcánicas, con el desarrollo de una moderada acidez en agua a fuerte acidez potencial (en KCl) en el suelo. Algunos resultados de los perfiles estudiados se presentan en el (Cuadro 8). En estos se observan los siguientes cambios en las propiedades de los suelos:

En las condiciones del bosque mesófilo de montaña hay una buena acumulación de carbono orgánico (CO), que disminuye en el cafetal con inga, como resultado del cambio de la vegetación inicial del bosque que producía un aporte mayor de materia orgánica.

En el caso de la caña de azúcar se observan cambios aún más fuertes en la disminución del contenido de CO en el suelo, a medida que aumenta el tiempo de cultivo en el suelo, esto es debido a la mineralización de la materia orgánica por la influencia del cultivo, ante pequeños cambios altitudinales e incrementos en las temperaturas.

En relación con el contenido en cationes cambiabiles, hay una fuerte disminución de los mismos en el suelo cultivado con café a la sombra de Inga. En este caso, se produjo también una mayor lixiviación en el suelo.

Para las variantes del suelo cultivado con caña, se presenta un contenido aceptable de los cationes cambiabiles en general, y en particular en K intercambiable, para la capa de 0-10 cm principalmente. Esto es debido a que el cultivo de la caña de azúcar desarrolla un sistema foliar abundante, que después con la quema aporta un buen contenido de cationes de las cenizas al suelo, sobre todo en K; ya que la caña es un cultivo que extrae elevadas cantidades de potasio del suelo. Estas cenizas se acumulan en la parte superior del suelo, de tal manera que, en un período tan solo de 3 a 6 años, se manifiestan cambios en los 10 primeros cm del espesor del suelo.

Por estos resultados, se deduce que la sostenibilidad de estos ecosistemas depende en gran parte, de su origen a partir del intemperismo de las cenizas volcánicas pero, además, de su interacción con las sustancias húmicas formadas por la descomposición y consecuente humificación, de los distintos tipos de vegetación que participan en el ciclo biológico de los elementos biógenos; todo ello, a través de intemperismo continuo y complejación con las sustancias húmicas para estabilizar la microestructura.

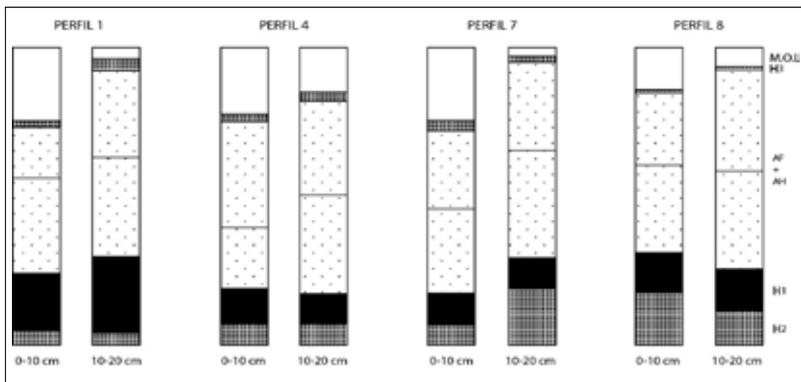
Cuadro 8. Propiedades de los Andosoles mólicos del bosque y de los agroecosistemas estudiados

No. Perfil	Prof cm	pH KCl 1:2	C g·kg ⁻¹	Ca Mg Na K Suma cmol×kg ⁻¹	CIC cmol× kg ⁻¹	SB %
1	0-10	4.7	51.3	7.0 3.04 0.43 0.51 10.98	39.16	28
	10-20	5.2	36.5	8.0 1.64 0.43 0.25 10.32	35.22	29
	20-30	5.1	-	11.0 1.32 0.43 0.25 13.00	36.16	36
	30-40	5.3	-	8.0 0.99 0.43 0.25 9.67	25.11	39
	40-50	5.2	-	4.0 1.97 0.43 0.25 6.65	39.46	17
2	0-13	4.1	-	2.0 3.95 0.35 0.25 6.55	42.06	16
	13-23	4.2	-	2.0 2.47 0.35 0.25 5.07	39.42	13
	23-33	4.5	-	2.0 3.21 0.57 0.25 6.03	33.05	18
	33-43	4.6	-	1.5 2.30 0.65 0.13 4.58	29.26	19
	43-53	4.8	-	1.0 3.29 0.52 0.25 5.06	19.73	26
4	0-10	4.8	36.5	3.0 0.90 0.70 0.25 4.85	32.64	15
	10-20	5.2	33.0	7.0 1.73 0.35 0.25 9.33	35.58	26
	20-30	5.5	-	3.0 1.48 0.52 0.13 5.13	22.50	23
	30-40	4.3	-	2.0 1.64 0.26 0.25 4.15	19.20	22
5	0-10	5.0	-	2.0 1.15 0.26 0.38 3.79	32.40	12
	10-20	4.9	-	2.0 0.41 0.26 0.25 2.92	39.10	nd
	20-30	4.4	-	2.0 1.23 0.43 0.13 3.79	32.70	12
	30-40	4.4	-	2.0 1.23 0.26 0.13 3.49	28.20	12
	40-50	4.4	-	3.0 1.23 0.35 0.25 4.83	23.70	20
7	0-10	5.2	40.0	9.0 2.06 0.35 0.77 12.18	41.90	29
	10-20	4.7	28.2	6.0 2.60 0.26 0.26 9.12	36.52	25
	20-30	4.4	-	6.0 3.12 0.83 0.83 10.24	41.12	25
	30-40	4.4	-	7.0 1.07 0.52 0.52 8.84	10.42	43
	40-50	4.8	-	2.1 1.81 0.35 0.35 4.41	35.68	12
8	0-10	5.9	22.0	5.0 2.47 0.70 0.77 8.94	23.30	38
	10-20	5.4	17.6	3.0 1.64 0.70 0.26 5.60	22.00	26
	20-30	5.0	-	2.0 1.89 0.43 0.26 4.58	24.60	19
	30-40	5.8	-	2.0 1.97 0.87 0.20 5.10	23.90	21
	40-50	5.9	-	1.0 2.14 0.35 0.11 3.75	21.40	18

Fuente: elaboración propia.

En el bosque mesófilo (perfiles 1 y 2), el efecto inducido por la vegetación autóctona en el ciclo biogeoquímico de algunos cationes (Ca^{2+} , K^+), se traduce en una tendencia a la acumulación en las capas superficiales (Cuadro 8). El porcentaje de saturación de bases (SB), indica una tendencia a la oligotrofia más acentuada en los agroecosistemas cafetaleros (perfiles 4.5) comprobándose como puede ser impactada por este cultivo, tanto del café con sombra de Inga como por el cultivo de la caña de azúcar, donde la disminución del contenido de C_t es mayor al 50% con respecto al bosque autóctono. En los perfiles del cañaveral (7, 8), el efecto del “bombeo” de los elementos minerales, se asemeja al comprobado en el bosque mesófilo, sobre todo para el Ca^{2+} , destacando además, la acumulación en superficie de Mg^{2+} y K^+ . Se aprecia también un grado de saturación más elevado que en el horizonte antrópico del cafetal.

La distribución del carbono orgánico en el horizonte A1 del Perfil 1, suelo representativo del bosque mesófilo de montaña, indica un predominio de las sustancias húmicas (materia orgánica ligada: H_3 , AF, AH, H_1 y H_2) sobre la materia orgánica libre; efecto que se aprecia



Fuente: elaboración propia.

Figura 2. Distribución del carbono orgánico en las distintas fracciones la materia orgánica de los suelos estudiados. C_{total} = 100 %.

MOL=materia orgánica libre, H_3 = humina heredada, AF= ácidos fúlvicos, AH= ácidos húmicos, H_1 =humina de insolubilización extraíble, H_2 = Humina de insolubilización no extraíble.

más acentuado en función de la profundidad (Figura 2). En todos los perfiles los procesos de humificación, en función de los factores biogeoclimáticos concurrentes, se llevan a cabo casi exclusivamente por vía indirecta a partir de los precursores solubles, con formación de humus *mull-moder ándico* poco saturado y con relaciones C:N algo elevadas (19.7-16 en el bosque, 12.8-13.5 en el cafetal perfil 4 y 15.4-11.8 en el cañaveral perfiles 7 y 8).

De acuerdo con la clasificación bioquímica (Duchaufour, 1977), en todos los perfiles se trataría de humus evolucionado, donde predominan las fracciones evolucionadas -AH, H₁ correspondientes a la humina ligada al hierro y a la arcilla, así como a la H₂ humina fuertemente enlazada a los coloides arcillosos alofánicos, sobre las fracciones poco evolucionadas -AF y H₃.

Referencias bibliográficas

- Agafonov, O., (1981). Propiedades físicas de los principales tipos de suelos de Cuba, en relación con su génesis y uso agrícola (en ruso). Tesis de Doctorado en Ciencias Agrícolas. Instituto de Investigaciones Agroquímicas VAXHNIL, Leningrado, 290 p.
- Álvarez A., G., N.E. García C., P. Krasilnikov, A. Hernández J., (2002). Evaluación de la estabilidad del carbono en suelos de cafetal de la Sierra Sur de Oaxaca, México. *Café Cacao* 3 (2): 67- 70.
- Blum W., E. H., (1998). Agriculture in a sustainable environment. A Holistic approach. *Int. Astrophysics* 12: 13-24.
- Blume, E., M. Bischoff, J.M. Reichert, T. Moorman, A. Konopka, R. F. Turco., (2002). Surface and subsurface microbial biomass, community structure and metabolic activity as a function of soil depth and season. *Applied Soil Ecology* 20: 171-181.
- Cooper, M., P. Vidal-Torrado, V. Chaplot P., (2005). Origin of microaggregates in soils with ferrallic horizons. *Sci Agric. Piracicaba, Braz.*, 62(3):256-263.
- Crawley, T. J., (1916). Las tierras de Cuba. Estación Experimental Agronómica de Santiago de las Vegas. La Habana. Rambla, Bouza y Cia (eds). Cuba. 81 p.

- Duchaufour, P., (1977). *Pédologie 1. Pédogénese et classification*. Masson (ed). Paris, 477 p.
- Dubrovina, I., (2009). An experience of a large scale soil mapping with the use of a new Russian soil classification system. Abstracts International Conference Soil Geography: New Horizons, Huatulco, Oaxaca, México. p. 45.
- Eswaran, H., E. Van den Berg y P. Reich, (1993). Organic carbon in soils of the world. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 192-194.
- García C. N. E., (1984). Estudio bioquímico, mineralógico y fisicoquímico de diversos Andosoles de México. Tesis de Doctorado en Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Complutense de Madrid. 322 p.
- García C. N. E., F. Velasco y N. Aguilera, (1989). Evolución regresiva de diversos parámetros edáficos en agroecosistemas (cafetales, cañaverales) derivados de bosque mesófilo de montaña (México). *Ann Edaf y Agrob* 48:591-603.
- García C. N. E., A. Ibáñez H., G. Álvarez A., P. V. Krasilnikov y A. Hernández J., (2006). Soil diversity and properties in mountainous subtropical areas, in Sierra Sur de Oaxaca, Mexico. *Can. J. Soil Sci.* 86:61-76.
- Guerasimov, I. P. and M.A. Glazovskaya, (1965). *Fundamentals of soil science and soil geography*. Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem. 380 p.
- Hernández J., A., M. O. Ascanio G., M. Morales D., J. I. Bojórquez S., N. E. García C. y J. D. García P., (2006). *El Suelo: Fundamentos sobre su formación, los cambios globales y su manejo*. Editorial Universidad Autónoma de Nayarit de México e Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas de Cuba. Tepic, México, 255 p.
- Hernández J., A., J. I. Bojórquez S., F. Morell P., F. A. Cabrera R., M. O. Ascanio G., J. D. García P., A. Madueño M. y O. Nájera G., (2010). *Fundamentos de la estructura de suelos tropicales*. Editorial Universidad Autónoma de Nayarit, México e Instituto de Ciencias Agrícolas de Cuba. Tepic, México. 76 p.
- Lavelle, P., D. Bignell, M. LePage, V. Wolters, P. Roger, P. Ineson, O. W. Heal y S. Dhillon, (1997). Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. *Eur J Soil Biol* 33: 159-193.

- Morales, M., A. Hernández, F. Marentes, F. Funes M., Y. Borges, F. Morell, D. Vargas y H. Ríos, (2008). Nuevos aportes sobre el efecto de la disminución de materia orgánica en los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados. *Agrotecnia de Cuba* 32 (1): 57-64.
- Morell, F., A. Hernández, F. Fernández y Y. Toledo, (2006). Caracterización agrobiológica de los suelos ferralíticos rojos lixiviados de la región de San José de las Lajas, en relación con el cambio en el manejo agrícola. *Cultivos Tropicales* 27 (4): 13-18.
- Oldeman, I. R., V. W. van Egelen y J. R. Pulles, (1990). The extent of human induced soil degradation. ISRIC, Wageningen, The Netherlands.
- Oldeman, I. R., (1994). The global extent of soil degradation. In: Greenland, D. J. and Szabolcs, I. (eds.) *Soil Resilience and Sustainable Land Use*. CAB Inter. Wallingford, UK. p. 99-118.
- Rees, R., B. C. Ball, C. D. Campbell y C. A. Watson (eds), (1999). Sustainable management of soil organic matter. CAB International (publ). Wallingford UK, 440 p.
- Rzedowsky, J., (1978). Vegetación de México. Limusa, S. A. México, D.F. 432 p.
- Shishov, L., V. D. Tonkonogov, I. I. Lebedeva y M. I. Guerasimova, (2004). Diagnóstico y clasificación de los suelos de Rusia (en ruso). Instituto de Suelos V.V. Dokuchaev. (ed). Oikumena, Moscú. 235 p.
- Soil Survey Staff, (1999). Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2nd ed. Agric. Handbook. 436. Washington DC. Natural Resources Conservation Service. United States Department of Agriculture. 839 p.
- Tonkonogov, V., M. I. Guerasimova, (2005). Agrogenic pedogenesis and soil evolution. International Conference of Global Soil Change. Instituto de Geología, UNAM, México. pp 79-80.
- WRB, (2006). World reference base for soil resources. World Soil Resources Report No. 103, FAO, Rome. 128 p.

Referencias electrónicas

United Nations Conference on the Environment and Development (UNED), 2002. Agenda 21. <http://unedforum.org/publications/millennium.htm> Consulta: 2011.

United Nations Environment Programme (UNEP), 1997. Global environment outlook-1. http://www.unep.org/geo/geo1/ch/ch2_9.htm. Consulta: 2011.

Capítulo 8. Manejo integrado de la fertilización

Introducción

En el transcurso del desarrollo de las ciencias agrícolas, la fertilización de las plantas ha ocupado un espacio de vital interés en la agrotecnología de las más variadas especies de plantas en diferentes latitudes. Desde tiempos lejanos se empleaban procedimientos atractivos para mantener y aumentar la fertilidad de los suelos; los cuáles hoy se rescatan y se perfeccionan para poder cumplir con la conservación de los suelos cada vez más afectados por los efectos de la fertilización química o “quimización agrícola” que, de forma indiscriminada, se ha mantenido durante ya más de seis décadas, y donde no solo pesa el uso excesivo de fertilizantes minerales, sino el de múltiples pesticidas, entre otros muchos productos (Andriankaja, 2001; Barros, 2003; Bunemann, 2004 a).

Cuando se analizan estos factores y se revisa el estado actual de la nutrición de las plantas, se constata que ha sido necesario transitar hacia un esquema de manejo integrado de la nutrición (MIN), ya que la sustentabilidad agrícola y la erosión genética de suelos y variedades de plantas no ha permitido otra salida. Así, se han diseñado en los últimos veinte años, sistemas que combinan el empleo de microorganismos beneficiosos del suelo donde se incluyen por ejemplo: nitrificadores, solubilizadores del fósforo no soluble del suelo, solubilizadores del azufre y el hierro, productores de polímeros de alto peso molecular que mejoran las propiedades físicas del suelo, estimuladores del crecimiento y rendimiento de las plantas, antagonistas contra pa-

tógenos del suelo y la rizosfera, extensores de raíces de plantas como los hongos micorrizógenos arbusculares y degradadores de la materia orgánica de suelos y sustratos; junto a estos microorganismos, existe la combinación de los más variados portadores de abonos y sustratos orgánicos, de diverso origen y, de hecho, de un nivel realmente asimilable de fertilizantes químicos, como complemento de la fertilización biorganomineral (Dibut, 2005), todo con un fuerte balance de la “biologización del sistema productivo”.

La mayor limitante de resistencia al cambio lo constituyó la estrategia desarrollada por las grandes empresas productoras de agroquímicos, entre ellos, los fertilizantes, junto al dominio del germoplasma que hoy se cultiva y comercializa, que procede de esquemas de mejoramiento genético basado en un alto grado de “quimización”, incluyendo los híbridos muy dependientes de paquetes agroquímicos para su cultivo (Asghar *et al.*, 2004; Dibut, 2005).

Solo hace pocos años, se han podido constatar resultados favorables al aplicar estos nuevos modelos, que podrían llamarse estrategias de nutrición biorganomineral de forma integrada y amigable con el resto del agroecosistema; no obstante, ya muchas pequeñas y medianas empresas se vienen pronunciando por estas estrategias, y aún las grandes transnacionales han incursionado en el tema, dedicando sustanciales presupuestos de investigación-desarrollo para profundizar en esta líneas de desarrollo futuro; a esto, se ha unido el auge alcanzado por el desarrollo local, urbano y suburbano, donde el productor se ha apropiado de tecnologías asequibles diseñadas para el desarrollo endógeno (Derpsch y Benites, 2003; Delate y Cambardella, 2004).

Este último punto cobra cada día más fuerza, estimulándose el desarrollo de microempresas y asociaciones de productores en forma de cooperativas y unidades de producción local y/o regional, donde viene imperando este enfoque sistémico del tratamiento de la tierra, con entradas y salidas que permitan la sustentabilidad productiva, económica, social y ambiental.

En este capítulo se exponen y discuten estas proyecciones, sobre la base de la experiencia acumulada en la implantación de estas estrategias en la práctica agrícola.

Estado actual de desarrollo de la temática

De forma general, la tendencia mundial actual de la nutrición de plantas está basada en un modelo de integración de factores, portadores y técnicas de cultivo que, unido al resto de la agrotecnia, logran conformar el paquete de implementación en la práctica.

En este caso, es de destacar que el empleo de cantidades reducidas de fertilizantes nitrogenados y fosfóricos y/o fórmulas completas combinadas, junto a los fertilizantes orgánicos y los microorganismos beneficiosos del suelo, ha mostrado una gran recepción por parte de productores y funcionarios; mientras que los facilitadores trabajan en acelerar este tipo de manejo, en función de la introducción y generalización en los más variados agroecosistemas. En este capítulo, no se puede tratar a profundidad todos los elementos, por ello, la mayor proyección estará dirigida a los microorganismos, que es la línea menos difundida en comparación con el uso de fertilizantes químicos y orgánicos.

En este sentido, y teniendo en cuenta el germoplasma que hoy se comercializa por las empresas productoras de semilla, el predominio de los sistemas de producción actuales no se ajustan a un modelo de producción netamente orgánico, ya que la base genética de estos materiales proviene de la incorporación de genes predominantes bajo el esquema de la revolución verde. Por ello, los genetistas, agrónomos, microbiólogos, fitopatólogos, fisiólogos y economistas, deben de estudiar la obtención de materiales adaptados a bajos insumos nutricionales (macro y micro elementos) y, al mismo tiempo, combinar estos estudios con el manejo bioorgánico de sustratos, incluyendo el suelo. Lo anterior con la finalidad de mantener un nivel aceptable de rendimiento (capaz de asegurar un nivel elemental de volumen alimentario per cápita en el planeta) y calidad del ambiente (Dibut *et al.*, 2009).

En cuanto a la bioindustria, se debe prestar gran atención al diseño y obtención de biopreparados, basados en profundos estudios de investigación básica y aplicada. Datos recientes en la literatura técnico-comercial, indican la introducción y aplicación de un gran número de biopreparados con elevada diversidad microbiana y a elevadas concentraciones (Dibut, 2005). Esta situación puede, en pocos años, alterar el equilibrio ecológico, más aún si tenemos en cuenta la aplicación conjunta de otros biopreparados microbianos con igual situación, como es el caso de los biopesticidas, mejoradores de suelo y bioestimuladores; lo que conduciría a una etapa similar a lo sucedido bajo el esquema de la Revolución Verde, o sea un evento de “biologización desequilibrada” del agroecosistema. Es decir, el riesgo que puede significar una aplicación no planificada o indiscriminada de productos biológicos, sin tener en cuenta la relación bioproducto-función-residualidad, sobre la base de la naturaleza y riquezas garantizadas del producto, dosis y número de aplicaciones mínimas recomendadas para obtener el efecto agrobiológico y medioambiental deseado.

Esto a pesar de no estar legislados, ha sido el llamado de atención de algunos ecólogos, microbiólogos y otros especialistas que han incidido, de alguna u otra forma, sobre corporaciones y pequeñas y medianas empresas, con respecto a la regulación de la aplicación indiscriminada de biopreparados, como son los biofertilizantes y bioestimuladores (Oberson y Joner, 2005; Dibut *et al.*, 2009). En relación a los biopesticidas, la situación es diferente, ya que existen regulaciones para obtener su licencia de introducción más rigurosa, así como pruebas ecotoxicológicas que se exigen para tal efecto; sin embargo, no se ha establecido un sistema que regule su aplicación como ya existía en los últimos años de la Revolución Verde para los pesticidas.

Microorganismos fijadores de nitrógeno atmosférico

Dentro de la amplia gama de microorganismos que se han empleado en la práctica productiva, los más destacados son los fijadores del dinitrógeno, entre los que se encuentran dos grandes grupos: (1) los fijadores simbióticos del nitrógeno (*Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Frankia*)

y (2) el grupo de los fijadores asociativos (*Azotobacter*, *Azospirillum*, *Artrhobacter*, *Azomonas*, *Gluconacetobacter* y *Bacillus*, entre otros); ambos grupos aportan cantidades significativas de nitrógeno que permiten a su vez la reducción de la misma cantidad del portador (urea, nitratos, amoníaco) aplicado en forma de fertilizante químico. Aquí, no solo se debe tener en cuenta el impacto económico (conociendo el costo cada vez más excesivo de los fertilizantes), sino el que no generen un impacto medioambiental negativo; todo este análisis, teniendo además en cuenta, el costo más bajo del que se obtienen estas bacterias en la industria biotecnológica en forma de biofertilizantes.

Por ejemplo, en el caso de los simbióticos, se ha logrado reducir en frijol, soya, alfalfa, maní y otras muchas leguminosas, entre el 60-80 % de las necesidades de nitrógeno en estos cultivos; mientras que con los asociativos, se logra suplir entre el 15-28% de la demanda de nitrógeno; en este análisis hay que dimensionar el efecto no contaminante de estos microorganismos en el suelo, las cosechas y las aguas del ecosistema (Fan *et al.*, 2002; Diekow, 2005).

Recientemente, se ha desarrollado una nueva línea de productos sobre la base de bacterias endófitas, con las que se aumenta la eficiencia de la fijación biológica del nitrógeno atmosférico, ya que todo ocurre en estrecha asociación del microorganismo y el sistema planta, como ocurre con los simbióticos; con ello, no se presentan las pérdidas de nitrógeno por diferentes vías como la lixiviación, el arrastre o la asimilación por parte de otros organismos no deseados en el proceso, entre otras; como ocurre con los microorganismos asociativos.

En Cuba, en el Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical (INIFAT), se culminó un ciclo de tres proyectos (2002-2011), en los que se ha estudiado a profundidad las relaciones endófitas a partir de la bacteria *Gluconacetobacter diazotrophicus*; de tal efecto, se obtuvo un nuevo biopreparado, el ACESTIM, que logra notables beneficios en cultivos con alto contenido de azúcares, como es el caso de las "viandas" (frutos y raíces como la yuca, calabaza, plátano, papa, boniato y malanga) (Dibut *et al.*, 2009).

Los estudios que logran cuantificar la capacidad real de la fijación biológica derivada del aire, se basan en la aplicación de la técnica isotópica de N_{15} , donde el contenido en exceso del elemento en la planta, justifica el aporte de los microorganismos en este importante proceso, al combinarlos con la fertilización mineral y/o organomineral y, de hecho, poder cuantificar por los “nutricionistas” la dosis real de fertilizante nitrogenado que necesita el cultivo para cada una de las etapas del desarrollo fenológico, hasta mejorar el rendimiento. En numerosos reportes, se ha logrado cuantificar el aporte entre 15-25% de nitrógeno por vía biológica en sistemas asociativos y, en simbióticos entre 50-65%, según una amplia revisión al respecto realizada por (Waldrop *et.al.*, 2004).

Microorganismos solubilizadores de fósforo del suelo

El otro grupo destacado lo constituyen los solubilizadores del fósforo (los microorganismos solubilizadores actúan sobre compuestos inorgánicos de fósforo y los que lo hacen sobre la biomasa vegetal son mineralizadores de fósforo) van a actuar, sobre todo si se tiene en cuenta que la cantidad total de fósforo en la biomasa vegetal, se ha calculado en 1805 millones de toneladas anuales en el planeta; considerando un contenido de 0.1% de esta cantidad, se ha estimado una transferencia al suelo como componente orgánico (fracción orgánica) de 136.4 millones de toneladas por año (Bloemberg y Lugtenberg, 2004). A pesar de estas reservas, gran parte del elemento es inmovilizado (inmovilización es el proceso inverso a la mineralización, es decir, cuando el fósforo disponible presente en el suelo es incorporado o asimilado por las plantas, para formar parte de la biomasa vegetal, es decir, el P se transforma en compuestos orgánicos) en formas no accesibles para las plantas, además de que se pierde una parte importante por lixiviación de iones fosfato y por la erosión del suelo (más que por lixiviación, el P se retiene en los suelos, principalmente tropicales, pasando de formas solubles a fosfatos insolubles). Lo mismo ocurre cuando se aplica fertilizante fosfórico, del cual las plantas aprovechan solo una mínima porción, especialmente en los suelos tropicales (debido al mismo proceso de retención o insolubilización del P).

Por otra parte, la presencia de fósforo es fundamental para que se realicen los más importantes procesos que influyen en la productividad de los cultivos agrícolas. Así, un requerimiento fundamental para que ocurra la fijación de N_2 atmosférico es la presencia de fósforo asimilable, ya que las bacterias deben asimilar, por lo menos, 1 mg de este elemento por cada 5 a 10 mg de N_2 que se fijan por los microorganismos (Arpana *et al.*, 2002). Debido a esta necesidad, se obtienen los elevados incrementos en los rendimientos que se mostrarán, cuando se traten los biofertilizantes mixtos a base de fijadores de nitrógeno y solubilizadores de fósforo.

El efecto de la falta de disponibilidad de fósforo se debe a que este elemento tiene un efecto fundamental en el intercambio del carbono, en la multiplicación de las bacterias y en el mismo proceso de fijación.

Se han efectuado muchos trabajos para conocer las cantidades de este elemento que deben existir para garantizar un proceso de fijación efectivo, se ha demostrado que las leguminosas requieren un mínimo de 30 kg/ha para que pueda efectuarse la simbiosis (Uren, 2007). Pero las especies vegetales difieren en su capacidad para asimilar fósforo, especialmente cuando el contenido del elemento asimilable en el suelo es bajo. Por eso es importante aplicar la inoculación al suelo de organismos solubilizadores de fósforo, para garantizar que esté disponible en el proceso de fijación (Samad *et al.*, 2002).

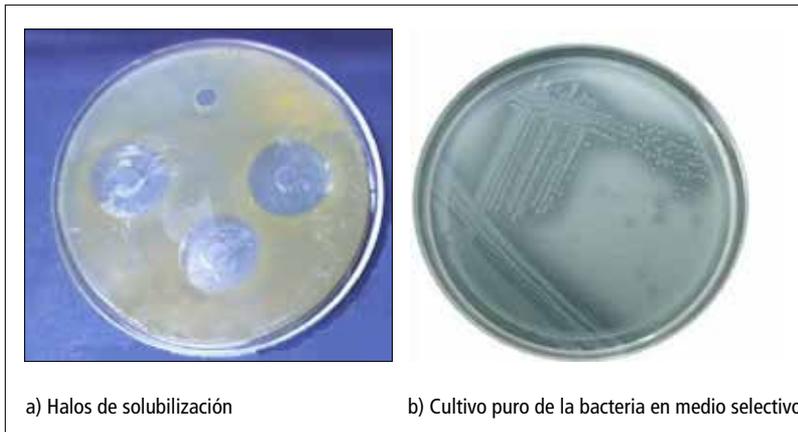
El fósforo está presente en niveles de 400-1200 mg/kg de suelo. Su deficiencia es uno de los mayores problemas en todas las regiones climáticas, pero especialmente en los países tropicales, donde suele ocurrir que los suelos tengan un bajo contenido del fósforo nativo y/o una alta capacidad de fijación o retención de este elemento y en suelos empobrecidos por el cultivo intensivo de especies extractoras de P debido a sus altos requerimientos por este elemento, una exagerada repetición de cultivos esquiladores (Smithson y Giller, 2001). Los microorganismos desempeñan un papel fundamental en el ciclo del fósforo, el cual ocurre por medio de la oxidación y reducción cíclica de los compuestos de este elemento, donde las reacciones de transferen-

cia de electrones entre los estadios de oxidación oscilan desde fosfina (-3) a fosfato (+5).

Solubilización del fósforo inorgánico del suelo

El proceso de transformación de las formas de fósforo insoluble en soluble en el suelo ocurre principalmente por la acción de microorganismos. La estimación semicuantitativa de este proceso es posible mediante el uso de screening (análisis en placas), los cuales muestran zonas claras alrededor de las colonias bacterianas, cuando estas se desarrollan en medios de cultivo que contienen fosfatos minerales como fuentes de fósforo, principalmente fosfato tricálcico o hidroxapatita. En la Figura 1a, se observan los halos de solubilización del compuesto insoluble $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ producidos por las bacterias *Bacillus megatherium* var. *phosphaticum* y *Pseudomonas fluorescens* en medio de Pikovskaya.

En el caso de la solubilización del fósforo inorgánico, el principal mecanismo microbiológico que permite la movilización del compuesto insoluble, consiste en la síntesis de ácidos orgánicos en el medio, entre



Fotografías propias.

Figura 1. Se observan los halos de solubilización del compuesto insoluble $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ producidos por las bacterias *Bacillus megatherium* var. *phosphaticum* y *Pseudomonas fluorescens* en medio de Pikovskaya en la Figura 1 b.

otros, fórmico, acético, propiónico, glucónico, láctico, cuya acción tiene como resultado la acidificación de la célula microbiana y el ambiente que la rodea y, en consecuencia, pueden liberarse formas de fósforo soluble (Tohidi-Moghaddan *et al.*, 2004).

Parte de los compuestos de fósforo con los iones hierro y aluminio pueden ser quelados por grandes moléculas orgánicas, como los ácidos húmicos y fúlvicos y, así, se convierten en intercambiable y, por ello, disponible para las plantas. Otros microorganismos sintetizan ácidos inorgánicos que tienen la misma acción, formando quelatos con calcio y hierro que traen como consecuencia la efectiva solubilización (Han y Lee, 2005; Oberson y Joner, 2005). Por ejemplo, el $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, insoluble, se transforma en fosfato dibásico o monobásico solubles, lo que trae como consecuencia un aumento de la disponibilidad para las plantas. La cantidad de fósforo solubilizado varía de acuerdo con el consumo de carbohidratos por los microorganismos, que deben tener la capacidad para convertir el sustrato carbonatado en ácidos orgánicos.

Solubilización -mineralización- del fósforo orgánico del suelo

El fósforo unido a elementos orgánicos constituye entre el 30 y el 50% del contenido total en la mayoría de los suelos. La principal fuente de compuestos orgánicos del elemento proviene de la descomposición de la vegetación y de los protoplasmas microbianos, así como de los productos metabólicos de la flora y la microflora, todo este conjunto es la fuente que provee al suelo de compuestos como el fosfato de inositol (fitatos), fosfolípidos, ácidos nucleicos, y cantidades pequeñas de fosfoproteínas.

Los microorganismos presentes en el suelo o provenientes de inoculantes, participan en la transformación de las formas de fósforo orgánico para hacerlas utilizables por las plantas a través de procesos complejos, especialmente en los suelos tropicales. Estos procesos pueden separarse en tres categorías:

1. Adquisición de fósforo a partir de formas orgánicas estables en el suelo. Este mecanismo microbiano actúa en el largo plazo, para mantener el equilibrio de las concentraciones de fósforo en los sistemas suelo-planta.

2. Descomposición de los residuos orgánicos añadidos al suelo, como son los casos de compost, abono animal o abono verde. La composición de nutrimentos y la calidad del carbono de tales materiales (por ejemplo su viabilidad como un sustrato para que los microorganismos realicen la descomposición o mineralización), determina cuales nutrimentos son liberados inmediatamente en la solución del suelo o son retenidos en las células de los microorganismos (inmovilización).

3. Liberación a corto plazo del fósforo microbiano a través de la solución del suelo. Esto ocurre mediante la presencia de perturbaciones ambientales, como por ejemplo exceso de humedad o desecación, que causan la muerte de los microorganismos, y también mediante la actividad de la microfauna, como protozoarios o nemátodos, que se alimentan de ellos y son causa de su descomposición (Tegtmeier y Duffy, 2004). Después de la muerte de los microorganismos, el fósforo tomado por ellos a través de los dos primeros procesos, se convierte en utilizable por las plantas. por medio de este tercer proceso.

Los fosfatos de inositol constituyen las formas más abundantes de fósforo orgánico en la mayoría de los suelos, pero su utilización por las plantas es muy pobre, porque se ligan estrechamente en el suelo para formar compuestos insolubles, además de que muy pocas especies vegetales sintetizan las enzimas fitasa o fosfatasas necesarias para que ocurra la defosforilación. Sin embargo, algunos microorganismos pueden transformar los fosfatos de inositol en el suelo, especialmente los hongos micorrizógenos y algunas bacterias que son capaces de sintetizar estas enzimas (Cleveland *et al.*, 2002).

En los suelos tropicales, estos procesos son más significativos que en los templados, porque los microorganismos se encuentran adaptados a las limitaciones de fósforo utilizable desarrollando, con notable efi-

ciencia, actividades bioquímicas o fisiológicas que les permiten adquirir este elemento; a pesar de que en el suelo las formas que se encuentran son inutilizables.

El suministro de fósforo a los cultivos a partir de residuos orgánicos frescos, depende en gran parte de la calidad de los residuos. También influyen en alto grado las características del suelo. Así, los que son ricos en fósforo se descomponen con rapidez pasando este nutrimento a la solución del suelo, de donde es tomado por las plantas; mientras que los suelos que contienen poco fósforo, se descomponen más lentamente y es retenido dentro de las células microbianas (Bünemann, 2004 b). No obstante, con esta actividad se puede aportar a las plantas entre el 30 y 60% de sus necesidades de fósforo; aunque dependerá de la capacidad de los microorganismos.

Microorganismos solubilizadores del fósforo del suelo

Algunas de las bacterias solubilizadoras se encuentran también dentro del grupo de las Rizobacterias Promotoras del Crecimiento de las Plantas (PGPR), porque son capaces de sintetizar factores del crecimiento. También pueden producir antibióticos y sideróforos (compuestos de bajo peso molecular con alta afinidad por el Fe^{+++}) que son antagonistas de hongos y bacterias fitopatógenas (Chaturvedi, 2006).

Entre las especies microbianas que hoy se conocen como solubilizadoras se encuentran algunas de las siguientes (Subba Rao, 1996):

Bacterias: *Achromobacter* sp., *Aerobacter* sp., *Azotobacter chroococcum*, *Bacillus megatherium* var. *phosphaticum*, *B. pulvifaciens*, *B. circulans*, *B. subtilis*, *B. mycoides*, *Brevibacterium* sp., *Erwinia* sp., *Escherichia freundii*, *E. intermedia*, *Flavobacterium* sp., *Nitrosomonas* sp., *Pseudomonas fluorescens*, ps. *putida*, ps. *calcis*, *Serratia* sp., *Thiobacillus thiooxidans*.

Hongos: *Acrotecium* sp., *Aspergillus niger*, *A. flavus*, *A. fumigatus*, *Cladosporium* sp., *Curvularia lunata*, *Fusarium oxysporum*, *Humicola*

sp., *Penicillium bilaiae*, *P. lilacinum*, *Pythium* sp., *Rhizoctonia* sp., *Sclerotium rolfsii*, entre otros.

Recientemente, se aisló de suelos arroceros de Colombia un hongo solubilizador perteneciente al género *Geotrichum* (Pérez et al., 2005). Es importante señalar que se ha observado mayor habilidad de ciertos hongos para solubilizar fosfatos insolubles que por las bacterias.

En general, los aislamientos de micelios exhiben mayor poder solubilizador que las células procariotas, tanto en medio líquido como sólido. Incluso, la capacidad solubilizadora de las bacterias se puede perder cuando se realizan numerosas y sucesivas transferencias en medios de cultivo, lo que no ocurre en el caso de los hongos (Samad et al., 2002; Jaggi et al., 2003).

En el Cuadro 1 se muestran las potencialidades de solubilización de una gama de microorganismos, según datos publicados por algunos autores (Martínez et al. 2002 y Mehrvarz et al., 2008). Se observa como las especies *Bacillus megatherium* var. *phosphaticum*, *Pseudomonas* sp. y los hongos del género *Penicillium*, desarrollan la mayor capacidad solubilizadora de fosfatos en el suelo. Desde un punto de vista agronómico, amplios resultados han sido, obtenidos con estos microorganismos, con respecto a una amplia gama de especies cultivables, lográndose reducir cuando menos 25% de la cantidad de fertilizante fosfórico que se aplica (Dibut, 2005).

Cuadro 1. Niveles de solubilización de $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ por distintos microorganismos

Microorganismo	P_2O_5 (mg en 50 mL de medio)	% de solubilización
<i>Bacillus megatherium</i> var. <i>phosphaticum</i>	13.86	46
<i>B. mycoides</i>	7.81	27
<i>B. subtilis</i>	6.43	21
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	15.32	51
<i>Ps. liquefaciens</i>	9.32	31
<i>Aspergillus niger</i>	8.43	27
<i>A. flavus</i>	6.75	20
<i>A. terreus</i>	4.83	14
<i>Penicillium bilaiae</i>	16.40	55
<i>P. lilacinum</i>	11.63	39

Fuente: elaboración propia, basado en Martínez et al., 2002 y Mehrvarz, 2008.

Los porcentajes de solubilización generados por *Penicillium bilaiae*, *Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus megatherium* var. *phosphaticum*, son elevados en comparación con las demás especies solubilizadoras, lo que explica el que sean las especies más utilizadas comercialmente.

El número de microorganismos solubilizadores varía ampliamente de un suelo a otro. Así, en 1983, se encontró que las bacterias y los hongos solubilizadores de suelos vírgenes y cultivados del sur de Alberta (Canadá), constituyeron menos del 1% de la población microbiana, mientras que Jaggi *et al.* (2003) estudiaron esta característica en poblaciones bacterianas de los suelos del norte de España, obteniendo menos de 100 UFC por gramo de suelo. Sin embargo, Salehrastin (1999), obtuvieron mayores porcentajes en 13 suelos con textura arcillosa de la región de Jaboticabal (Brasil), reportando el 16.4% del total de la microflora bacteriana y el 30% de la fúngica como solubilizadores. Por otra parte, algunas de las bacterias solubilizadoras tienen una marcada actividad estimuladora del crecimiento vegetal, como ocurre con *Pseudomonas fluorescens*.

Microorganismos estimuladores del crecimiento vegetal

Conocidos también como promotores del crecimiento, es el tercer grupo de microorganismos que aporta notables beneficios a los cultivos. En este sentido, la productividad de los cultivos puede ser mejorada mediante la manipulación de los microorganismos rizosféricos que tienen la capacidad de sintetizar sustancias activas promotoras del crecimiento vegetal; además de que pueden modificar la fertilidad del suelo y facilitar el establecimiento de las plantas. En el caso de las bacterias que poseen esta capacidad, se les ha incluido en un grupo que se conoce como Rizobacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal, más comúnmente llamadas PGPR (Plant Growing Promoting Rhizobacteria). Algunas de ellas, han sido llamadas también Rizobacterias Promotoras de la Emergencia o EPR (Emergency Promoting Rhizobacteria), ya que este efecto es de gran valor al estimular la emergencia de las plantas en suelos con estructura pobre, como los de las zonas áridas y semi-áridas (Robertson y Swinton, 2005).

La mayor parte de los microorganismos PGPR dependen, para su supervivencia, de sustratos excretados por las raíces de las plantas en forma de exudados que pueden contener: aminoácidos, ácidos orgánicos, carbohidratos, derivados del ácido nucleico, vitaminas y otras sustancias. Pero, cuando se realiza la aplicación de inóculos sobre la base de microorganismos con las características de los PGPR, hay que tener en cuenta que diferentes especies y variedades de plantas, pueden producir distintos tipos de exudados en la zona rizosférica, los cuales pueden ser o no capaces de sustentar la actividad de los inóculos, o servir de sustratos para la formación de sustancias biológicamente activas por los inóculos (Frankenberger y Arshad, 1995).

Por otra parte, las cantidades de hormonas sintetizadas pueden variar notablemente de acuerdo con las características del suelo, por lo que dependerán de muchos factores bióticos y abióticos. Por estas razones, no puede utilizarse una sola cepa de un determinado microorganismo para aplicar en cualquier lugar, sino utilizar distintas cepas adaptadas a las diferentes características de los suelos y a las distintas especies vegetales.

Además de estas acciones, los recientes desarrollos de la Biología Molecular y la Biotecnología, han revelado que las fitohormonas desempeñan importantes funciones en el mecanismo de regulación de los genes, y pueden modificar el tipo y la velocidad de la transformación genética y de la expresión de genes en un organismo (Jakubouska y Kowalalczyk, 2004).

Síntesis de auxinas por microorganismos

Un notable número de microorganismos del suelo son capaces de sintetizar auxinas en cultivo puro y en su ambiente natural. Al respecto, se sabe que aquellos organismos que se encuentran en la rizosfera y el rizoplano, sintetizan estas hormonas con más facilidad que los que habitan el suelo libre no influenciado por la raíz, debido a que se necesita la presencia de un precursor como L-triptófano, que se encuentra entre los aminoácidos que son liberados por las raíces. Khalid

et al. (2004), encontraron que, de 30 aislados de rizobacterias, 22 (que representan el 73%) producían auxinas y, cuando estaba presente el precursor, la eficiencia para sintetizarlas se elevaba varias veces.

Los microorganismos pueden sintetizar, por ejemplo, ácido indolacético, indolcarboxílico, indolpirúvico, indol-láctico, heteroauxina y otros. Estas auxinas varían en su actividad fisiológica y en la extensión en la cual se mueven dentro de los distintos tejidos, pudiéndose unir a las células o ser metabolizadas. De todas ellas, el ácido indol-3-acético (IAA) es el compuesto más activo y el principal en la mayor parte de las especies vegetales; este compuesto es sintetizado a partir de triptófano en los tejidos meristemáticos de las hojas jóvenes, flores, semillas y frutos. Tanto las auxinas naturales como las sintéticas reaccionan con otros compuestos dentro de la planta. Cuando se unen a pequeñas moléculas, el proceso se llama "conjugación" y, como consecuencia de ello, las auxinas se vuelven temporal o permanentemente inutilizables. Cuando forman complejos con las proteínas, el proceso se llama "ligamento" y puede ocurrir con una o varias proteínas, las cuales se llaman "receptoras".

De acuerdo con los resultados obtenidos hasta ahora, se conocen 68 especies bacterianas sintetizadoras de auxinas, siendo los géneros más importantes: *Pseudomonas* (10 especies sintetizadoras), *Bacillus* (9), *Arthrobacter* (8) y *Azotobacter* (6). También se conocen 56 especies de hongos capaces de realizar esta función, teniendo la mayor importancia los géneros *Penicillium* (12 especies sintetizadoras) y *Fusarium* (7).

Síntesis de giberelinas por microorganismos

Las giberelinas (GAs) son las fitohormonas menos estudiadas como metabolito microbiano en el sistema suelo-planta. La falta de información se debe a que existen muchas dificultades para su detección analítica. En las plantas, estas hormonas son sintetizadas a partir de ácido mevalónico existente en los brotes, semillas en desarrollo y raíces. Se conocen hasta el momento 84 GAs. desde el descubrimiento

en 1935 de la capacidad de producción de GAs por el hongo *Gibberella fujikuroi* (forma imperfecta de *Fusarium moniliforme*). Se han realizado muchos trabajos en relación con la producción, aislamiento e identificación de GAs en filtrados de cultivos de este hongo, aislados de raíces de diferentes especies vegetales. En sus publicaciones, distintos investigadores coinciden en afirmar que más del 50% de las cepas de *G. fujikuroi* son capaces de sintetizar GAs identificándose, entre las sustancias producidas por este hongo, 26 GAs de las 84 que se conocen; incluyendo GA₃, la forma más activa de giberelina. Los resultados obtenidos han sido tan convincentes, que no se han investigado otros microorganismos de los cuales pudiera ser posible la producción industrial de estas hormonas; aunque se conocen otros organismos capaces de sintetizar GAs, pero no en la magnitud que lo hace *G. fujikuroi* (Frankenberger y Arshad, 1995).

Se ha reportado la síntesis de giberelinas en un número limitado de bacterias y hongos, sólo en 23 especies de bacterias y 13 de hongos, siendo los géneros más importantes de bacterias *Azotobacter* (con 5 especies sintetizadoras), *Bacillus* (con 4) y *Pseudomonas* (con 3). El género más importante entre los hongos es *Fusarium*, con 5 especies sintetizadoras.

Síntesis de citoquininas por microorganismos

(Frankenberger y Arshad, 1995), mencionan que la primera citoquinina, 6-(furfurilamino) purina, fue identificada por Millar en 1956 en materia orgánica en descomposición y fue llamada kinetina; que es utilizada en los estudios comparativos sobre la bioactividad de citoquininas, que se encuentran naturalmente en las plantas y microorganismos. En 1963, se aisló la primera citoquinina de una fuente natural, mazorcas maduras de maíz y se determinó su estructura. Por los isómeros cis y trans de la zeatina, se encontró que eran más activos que la kinetina, siéndolo más el isómero trans. La segunda citoquinina natural que se aisló fue la isopenteniladenina. Hasta el momento, se han encontrado más de 40, siendo las más activas las derivadas de la adenina (Frankenberger y Arshad, 1995).

Las citoquininas se encuentran como moléculas libres en las plantas. Las raíces son los centros principales de biosíntesis en plantas; aunque también puede ocurrir en otros tejidos que se dividen activamente, tales como el cambium del tallo (Chen, 1985), siendo traslocadas por el xilema a otras regiones de la planta. Se han reportado las siguientes funciones en las citoquininas: estimulación de la división celular, del desarrollo de las raíces y de la formación de pelos radicales, iniciación del tallo, formación de yemas, expansión de la hoja, apertura de estomas, retardo de la senescencia de las hojas, acumulación de clorofila, estimulación de la síntesis de proteína, de DNA y de RNS, incremento de la formación de flores y de la actividad fotosintética (Nieto y Frankenberger, 1990).

Como resultado de la relación íntima que existe entre los microorganismos de la rizosfera con la superficie de las raíces, la producción exógena de citoquininas por estos organismos afecta el crecimiento de las plantas, ya que suministra cantidades suplementarias de citoquininas endógenas presentes en las plantas o alteran la síntesis y el metabolismo de otros reguladores del crecimiento de las plantas dentro del sistema.

La mayoría de los microorganismos que sintetizan citoquininas son también capaces de sintetizar auxinas o giberelinas y, algunas veces ambas hormonas. En gran parte, son especies de bacterias fijadoras de N_2 , lo cual le da una doble ventaja a la inoculación con estas bacterias, ya que las plantas se benefician con el suministro del nitrógeno fijado y con el de fitohormonas exógenas. La síntesis de estas ha sido reportada en 21 especies de bacterias, siendo los géneros más importantes *Azotobacter* (con 4 especies) y *Pseudomonas* (con 3). En el caso de los hongos, se han reportado 24 especies sintetizadoras, con *Taphrina* como género más importante, con 4 especies.

Mecanismos de estimulación del crecimiento por parte de las bacterias fijadoras de nitrógeno

Las bacterias fijadoras, especialmente las que lo hacen de forma asociativa, sintetizan sustancias activas reguladoras del crecimiento, por lo

que son consideradas también como PGPR; en numerosas publicaciones, se concede mayor importancia a esta actividad que a la fijadora de nitrógeno por parte de estas bacterias. Así, en cultivos a los que se aplicó todo el nitrógeno que necesitaban, Kapulnik *et al.*, (1985) y Römheld y Neumann (2006) incrementaron el desarrollo y el rendimiento de maíz, sorgo y trigo inoculando con *Azospirillum* y Kloepper, (1994) lograron aumentar 30% el rendimiento del trigo con la inoculación de *Azotobacter chroococcum*.

Hay dos tipos de mecanismos mediante los cuales las bacterias fijadoras de nitrógeno actúan como PGPR, uno de acción directa y otro de acción indirecta. El primero consiste en la síntesis de fitohormonas y de algunas enzimas, tales como la deaminasa ACC, las cuales modulan el nivel de las hormonas en las plantas; el segundo se manifiesta en la reducción de la acción perjudicial de los organismos fitopatógenos, mediante la síntesis de sideróforos y antibióticos por parte de las bacterias (Rodríguez y Fraga, 1999), efecto que se demostró en los casos de *A.chroococcum* y *Azospirillum brasilense*.

El conjunto de estas sustancias, que son asimiladas por las plantas a través de las raíces, permite que cada una de ellas actúe en el momento en que la planta lo requiera; así, algunas estimulan el desarrollo de las raíces o el de la planta entera; otras aumentan la floración o reducen el aborto floral; por último, algunas posibilitan que el fruto se forme y madure en un tiempo menor. Todos estos efectos, permiten el desarrollo precoz de plantas más vigorosas, así como el incremento del rendimiento en niveles superiores a los que se obtienen en los países de clima templado.

Investigaciones y resultados aplicados en nutrición integrada y biofertilización. Caso Cuba.

Hace más de cien años que se conoce la actividad beneficiosa de los microorganismos del suelo en Cuba, empleados normalmente como biofertilizantes y/o bioestimuladores; sin embargo, a pesar de los esfuerzos logrados, con el interés de desarrollar estos estudios durante

la primera mitad del siglo pasado, no es sino hasta la etapa revolucionaria, cuando se alcanza el máximo esplendor en los programas de investigación en esta especialidad. Así, en la década de los años 60, se contaba con algunos avances en la obtención de biofertilizantes y, a finales de los 80, se logra la madurez técnica en cuanto al nivel de aplicabilidad de los mismos en la práctica agrícola.

Todos estos resultados, unidos a las dificultades que enfrenta el país en relación con la escasa disponibilidad de fertilizantes químicos, permitieron que, en 1990, se acordara, por la máxima dirección del Estado y del Ministerio de Agricultura (MINAG), la creación de una Red Nacional de Fabricación de Bioproductos que respondiera a la creciente demanda por parte de productores y empresarios agrícolas, respecto a la introducción de estas nuevas biotecnologías. Es a partir de este momento, cuando se crean y modifican múltiples instalaciones industriales ubicadas en diferentes localidades del país, pertenecientes a diferentes organismos del estado, con el objetivo de escalar la producción de biofertilizantes y bioestimuladores a base de bacterias, unido al surgimiento del Centro de Producción de Inoculantes a base de Hongos Micorrizógeno Arbusculares (HMA), con el concurso del Ministerio de Educación Superior (MES) y en interrelación con el (MINAG), con la función de planificar el esquema de introducción y desarrollo de este importante grupo microbiano como biofertilizante.

Niveles de producción de hasta 5×10^6 litros por año para las “bacterianas” y cientos de toneladas en el caso de los HMA, han sido obtenidos a partir de la actividad de la red, registrándose en el mercado cubano y, por su impacto en otros mercados, diversas marcas que identifican estos productos comerciales como: Dimargon®, Fosforina®, EcoMic®, AzoFert®, Biofert®, Micofert®, etc. Esta estrategia productiva ha ubicado a Cuba como país de referencia en el desarrollo de insumos (biofertilizantes), que constituyen pilares básicos dentro del paradigma agrícola ecológico y sostenible que actualmente se impone (Dibut, 2005).

Así, en los últimos quince años, varias instituciones científicas entre las que se destacan el Instituto Nacional de Investigaciones Fundamenta-

les en Agricultura Tropical, los Institutos de Suelos, Nacional de Ciencias Agrícolas, de Ecología y Sistemática, de Investigaciones en Viandas Tropicales, Nacional de Investigaciones en Caña de Azúcar e Instituto de Pastos y Forrajes, desarrollan programas científico-técnico-productivos (obtención de tecnologías y validación) en esta línea, en estrecha colaboración con el (MINAG), lográndose establecer una gama de bio-preparados que, entre otros beneficios, pueden lograr suplir determinadas cantidades de nitrógeno y fósforo, así como aumentar los rendimientos y/o acortar el ciclo de los cultivos, en un número apreciable de especies vegetales de importancia económica que ocupan anualmente en el país más de 5×10^5 hectáreas cultivables.

En paralelo, se destaca la fuerte actividad de introducción de los bio-fertilizantes cubanos en otros mercados (Turquía, México, Colombia, Guadalupe, Perú, Bolivia, Guatemala, Venezuela y España), a través de proyectos de investigación desarrollo o fórmulas de contratos de asociación económica; estos últimos, a cargo de la actividad gerencial de las Empresas Comercializadora de la Ciencia y la Técnica en Agricultura (CATEC), perteneciente al (MINAG) y Empresa para el Mercado de la Educación Superior, (MERCADU) perteneciente al (MES). Como se observa, se han realizado transferencias tecnológicas del tipo Sur-Norte, con notables resultados a favor de la aplicación de estos bio-preparados sobre una amplia gama de cultivos (hortalizas, gramíneas, leguminosas, oleaginosas, cítricos, frutales, pastos, etc.).

Esta información, ya existe en múltiples reportes de reuniones oficiales, eventos científicos nacionales e internacionales y exposiciones comerciales, donde se ofrece el modo de transferencia y los resultados del efecto de las aplicaciones de estos productos (Dibut *et al.*, 1996; Martínez Cruz *et al.*, 1998 y Hernández *et al.*, 2004). Desde hace más de cinco años, muchas de estas marcas comerciales han sido registradas en muchos de estos países para su explotación comercial.

Por último, se presenta en los siguientes cuadros, ensayos sobre manejo integrado de la nutrición, metodología ya aplicable en el desarrollo endógeno local y en algunos escenarios de la agricultura a gran escala

(Cuadro 2). El nuevo concepto, aplicado de microorganismos eficientes, igualmente ha contribuido a esta estrategia, ya que se basa en el aislamiento de poblaciones microbianas autóctonas de los agroecosistemas y, a partir de este aislamiento, se procede a la reproducción y elaboración del inoculante; es decir, microorganismos adaptados al ambiente de que se trate, lo que contribuye sobremedida, a la máxima expresión de su actividad biológica en asociación con las plantas, o en forma libre donde habitan normalmente en el suelo.

Respecto al potasio, su solubilización por vía microbiana, es un error de enfoque en el manejo bio-orgánico dentro del manejo integrado de la nutrición (Dibut, 2005). Sobre este aspecto, se debe trabajar en la búsqueda y explotación de fuentes naturales de potasio, ya que el riesgo de degradar los minerales del suelo que tienen un proceso de formación milenaria, afectaría considerablemente al agroecosistema.

La biofertilización en plantas cultivables y, de hecho, la incorporación de microorganismos beneficiosos en el suelo y la filosfera de las plantas, se debe centrar en los procesos de fijación del dinitrógeno y la solubilización del fósforo (aporte de nitrógeno y fósforo como elementos nutrimentales) que son bien conocidos y aceptados por el desarrollo científico, tecnológico y social en la actualidad. Sobre estos avances se fundamenta el esquema de producción de la industria biotecnológica, y la elaboración artesanal y semiartesanal de estos biopreparados hoy día (Dibut *et al.*, 2009).

Cuadro 2. Procedencia de los elementos esenciales en la nutrición

Elemento	Aportación
N P K	Por el suelo
	Por el fertilizante mineral y/u orgánico
	Por los microorganismos (N,P) K no es recomendable

Fuente: elaboración propia (2012).

Como se observa en el Cuadro 3, se logra cubrir las necesidades nutricionales de la cebolla (var. Red Creole), aunque siempre queda un ligero exceso del elemento nitrógeno, el cual no es nada perjudicial para el balance planta-suelo, sobretodo después de la cosecha. En un sistema biorganomineral, es similar lo que aporta el fertilizante químico (NPK) como fuente de elementos, a lo que significa el empleo de portadores simples (urea, superfosfato y cloruro de potasio).

Cuadro 3. Ejemplo de biofertilización integrada a un cultivo (cebolla)

Sistema biorgánico de producción		Nutrientes		
Demanda		N	P	K
Tratamiento	Dosis a aplicar	100	60	80
		Aporte (kg/ha)		
		N	P	K
Suelo	-	35	23	25
Biofertilizante Azomeg	2 L/ha	25	20	—
Humus (sólido)	5 T/ha	64	25	34.5
Compost	3 T/ha	51	25.2	31.2

Fuente: elaboración propia (2012).

Conclusiones

Se ha tratado de exponer extensamente, el grupo de factores que inciden normalmente en la nutrición integral de plantas, en función de la productividad agrícola, el mejoramiento del suelo y del medioambiente. Según el enfoque actual de la especialidad, se transmite el siguiente mensaje: “La fertilidad de un sistema agrícola no es el producto de la adición de insumos nutricionales, sino el balance de la entrada de insumos y técnicas de cultivo, que se bioconvirtan a partir de variedades recomendadas por su producción vegetal y calidad alimentaria, que mantengan la integridad física, nutricional y biológica del suelo”.

Referencias Bibliográficas

- Andriankaja, A. H., (2001). Mise en évidence des opportunités de développement de la riziculture par adoption du SRI, et évaluation de la fixation biologique du l'azote. Mémoire de fin. École Supérieure des Sciences Agronomiques. University of Antananarivo, Madagascar, 157 p.
- Arpana, N., S. D. Kumar y T.N. Prasad, (2002). Effect of seed inoculation, fertility and irrigation on uptake of major nutrients and soil fertility status after harvest of late sown lentil. *Journal of Applied Biology*, 12 (1):23-26.
- Asghar, H. N., Z. A. Zahi y M. Arshad, (2004). Screening rhizobacteria for improving the growth yield and oil content of canola (*Brassica napus* L.), *Aust. Res.*, Vol.55 (3): 187-194.
- Barros, N., (2003). Development of the macrofauna community under silvopastoral and agrosilvicultural System in Amazonia. *Pedobiologia*. Vol 47: 273-280.
- Bloemberg G. V. y B. J. Lugtenberg, (2004). Bacterial biofilms on plants: relevance and phenotypic aspects. In *Microbial Biofilms*. M Ghanoum, GA O'Toole (eds)., ASM Press. Washington DC: p. 141-59.
- Bunemann, E., (2004 a). Microbial community composition and substrate use in a highly weathered soil as affected by crop rotation and P fertilization, *Soil Biol. Biochem.*, 36: 889-901.
- Bunemann, E., (2004 b). Phosphorus dynamics in a highly weathered soil revealed by isotopic labelling techniques, *Soil Sci. Soc. Am. J.* Vol, 68:1645-1655.
- Chaturvedi, I., (2006). Effects of phosphorus levels alone or in combination with phosphate-solubilizing bacteria and farmyard manure on growth, yield and nutrient up-take of wheat (*Triticum aestivum*). *Jornal of Agric. And Social Sciences*, Vol. 2 (2): 96-100.
- Chen T. W., (1985). Development and application of biofertilizers in China, en *Biological Nitrogen Fixation. The Global Challenge and Future Needs*. Roma, pp.24-26.
- Cleveland, C. C., A. R. Townsend y S.K. Schmidt, (2002). Phosphorus limitation of microbial processes in moist tropical forests: Evidence

- from short-term laboratory incubations and field studies. *Ecosystems*. Vol 5: 680-691.
- Delate, K. y C. A. Cambardella, (2004). Organic production: Agroecosystem performance during transition to certified organic grain production. *Agron. J.*, Vol.96, p. 1288-1298 .
- Derpsch, R. y J.R. Benites, (2003). Situation of conservation agriculture in the world, In: *Proceedings of the Second World Congress on Conservation Agriculture: Producing in Harmony with nature, Iguassu Falls Paraná, Brazil*. Food and Agriculture Organization, Rome.
- Dibut Á., B., (2005). Biofertilizantes como insumos en Agricultura Sostenible. Cosío (eds.). México. 154 p.
- Dibut Á., B., R. Martínez V., M. Ortega, J. M. País y M.C. Acosta, (1996). Biomasa vs. Biomasa. Reproducción Bacteriana-Producción Vegetal. En *Memorias de Conferencia sobre Medio Ambiente, Biomasa y Energía*. La Habana. 136 pp.
- Diekow, N., (2005). Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years, *Soil Till. Res*. Vol. 81: 87-95.
- Fan, X., J. Zhang y P. Wu. (2002). Water and nitrogen use efficiency of lowland rice in ground covering rice production system in south China. *J. Plan Nutr*. 25: 1855-1862.
- Frankenberger, W. T. y M. Arshad, (1995). *Phytohormones in soil: Microbial Production and Function*. Marcel Dekker (ed.), New York. 139 pp.
- Han, H.S. y K.D. Lee, (2005). Phosphate and potassium solubilizing bacteria effect on mineral uptake, soil availability and growth of Eggplant. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*. Vol. 1 (2): 176-180.
- Jaggi, R.C., V. K. Suri y S.P. Dixit, (2003). Comparative performance of sulphur containing and non-containing phosphorus fertilizers on dry chili (*Capsicum annum*) in acid Alfisol. *Indian J. Agric. Sci*. Vol 73: 49-50.
- Jakubowska, A. y S. Kowalaczyk, (2004). The auxin conjugate 1-O-indole-3-acetyl-D-glucose is synthesized in immature legume seeds

and may be used for modifications of some high molecular weight compounds. *J. Exp. Biol.* Vol. 55: 791-801.

- Kapulnik, J., R. Gafuy y Y. Okon, (1985). Effect of *Azospirillum* inoculation on root development and nitrate uptake in wheat. *Can. J. Bot.* Vol.63: 627-631.
- Khalid, A., M. Arshad y Z. A, Zahir, (2004). Screening plant growth-promoting rhizobacteria for improving growth and yield of wheat. *J. Appl. Microbiol.* Vol. 96: 473-480.
- Kloepper, J. W., (1994). Plant-growth promoting bacterias. In *Azospirillum/Plant Associations*. CRC. Press, Boca Ratón, USA. pp 137-154.
- Martínez V., R, J. T. Giovanna, B. Dibut, R. García y G. Tejada, (2002). Efectividad de biofertilizantes cubanos sobre los cultivos de arroz y algodón en la República de Colombia. En: *Programas y Resúmenes del XIII Congreso Científico, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas*. La Habana. 64 p.
- Mehrvaz, S., M. R. Chaichi y H. A. Alikhani, (2008). Effects of phosphate solubilizing microorganisms and phosphorus chemical fertilizer on yield and yield components of Barely (*Hordeum vulgare* L.). *American-Eurasian J. Agric. And Environ. Sci.* Vol. 3 (6): 822-828.
- Nieto, K. F. y W. T. Frankenberger, Jr., (1990). Microbial production of Cytokinins. *Soil. Biochem.* 6: 191 - 248.
- Oberson, A. y E. J. Joner, (2005). Microbial turnover of phosphorus in soil. En: *Biological Approaches to Sustainable Soil Systems*. N.Uphoff, Taylor and Francis Group (eds.), USA. 764 p.
- Pérez, A., C. R. Pérez y G. Cardona, (2005). Hongos solubilizadores de fosfatos en suelos arroceros de La Mojana, Sucre (Colombia). *Revista Arroz*. Vol. 53 (458): 355-45.
- Robertson, G. P. y S.M. Swinton, (2005). Reconciling agricultural productivity and environmental integrity: A grand challenge for agricultura, *Front. Ecol. Environ.* Vol. 3: 38-46.
- Rodríguez, H. y R. Fraga, (1999). Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology Advances*. Vol. 17: 319-339.
- Römheld, V. y G. Neumann, (2006): The Rizosphere: Contributions of the Soil-Root Interface to Sustainable Soil Systems. In *Biological*

- Approaches to Sustainable Soil Systems. Taylor and Francis (ed.), Boca Ratón, USA. pp 91-109.
- Salehrastin, N., (1999). Biological Fertilizers, Soil and Water Research. Scientific Journal of Soil and Water. Institute of Iran. Vol.12 (3): 35-42.
- Samad, M. A., C. A. Meisner, A. Rahman, M. Rahman, J. M. Duxbury y J. G. Laurent, (2002). Wheat Root Growth in Phosphorus Depleted Soil. 17 th WCSS. Thailand. pp 14-21.
- Smithson, P. C y K. E. Giller, (2001). Appropriate faro management practices for alleviating N and P deficiencias in low-nutrient soils of the tropics. Plan and Soil. Vol. 245: 169-180.
- Subba R. N. S., (1996). Interaction of nitrogen-fixing microorganisms with other soil microorganisms. In: Biological Nitrogen Fixation. Marcel Dekker (ed.), New York, pp 37-63.
- Tegtmeier, E. M. y M.D. Duffy, (2004). External costs of agricultural production in the United Status, Int. J. Agric. Sustainability. Vol. 2: 155-175.
- Tohidi-M., H., B. Sani y F. Ghoshchi, (2004). The effects of nitrogen fixing and phosphate solubilizing bacteria on some quantitative parameters of soybean from sustainable agricultural point of views. Proceedings of 8 th Agronomy and Plant Breeding Congress of Iran. Guilan University, Iran. pp 33-51.
- Uren N.C., (2007). Types, amounts, and possible functions of compounds released into the rhi-zosphere by soil-grown plants. In: The Rhizosphere. Biochemistry and Organic Substances at the Soil-Plant Interface. R. Pinton, Z. Varanini, P. Nannipieri. (eds.). CRC Press/Taylor & Francis Group, (ed.). Boca Ratón, FL. p. 1-21.
- Waldrop, M. P., D. R. Zak y R.L. Sinsabough, (2004). Microbial community respponse to nitrogen deposition in northern forest ecosystems, Soil. Biol. Biochem. Vol. 36: 1443-1451.

Disco compacto

- Dibut Á., B., R. Martínez V., M. Ortega, Y. Ríos y L. Fey (2009). Potencial agrobiológico de la asociación *Gluconacetobacter diazotrophicus* – *Carica papaya* L. XIV Congreso Científico del INCA. Me-

- memorias* Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. 2004. La Habana, Cuba. [cd-room].
- Hernández, G., A. García, O. Chaveco, B. Faure, M. Mulling, N. Menéndez y V. Toscano, (2004). Progreso en la selección fisiológica en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) para obtener alta expresión del potencial agronómico de fijación simbiótica del nitrógeno. XIV Congreso Científico del INCA. Memorias Instituto Nacional De Ciencias Agrícolas. La Habana. [cd-room].
- Martínez Cruz, A., J. Ferrán, A. Delgado y V. Martínez, (1998). Microorganismos fosfolubilizadores en Suelos Ferralíticos Rojos Típico y Ferralítico Pardo Rojizo de Cuba. En *Memorias de XI Congreso Latinoamericano y II Congreso Cubano de la Ciencia del Suelo. Simposio IV*. R. Villegas y D. Ponce de León (eds.), La Habana, 1392-1395 p. [cd-room]
- Rivera, R., F. Fernández, L. Ruiz, C. Sánchez, M. Riera y K. Fernández, (2004). El manejo efectivo de la simbiosis micorrízica en la producción agrícola. Avances y retos inmediatos. XIV Congreso Científico del INCA. La Habana. Memorias. Instituto Nacional De Ciencias Agrícolas. [cd-room].

Capítulo 9. ¿Es posible tener una producción segura de alimentos en suelos contaminados?

Introducción

El gran crecimiento poblacional sumado a la intensificación de la urbanización e industrialización, es un fenómeno mundial que ocurre sobre todo en los países menos desarrollados. La migración de los campesinos a las ciudades y la escasez de empleo propicia el aumento en los niveles de pobreza urbana, y por lo tanto, de la malnutrición e inseguridad alimentaria (Dubbeling *et al.*, 2010). Esta situación la deben enfrentar los países abordando varios aspectos, entre ellos, el impulso a la producción y abasto de alimentos para el mercado interno. Diversas instituciones han propuesto el desarrollo de la agricultura urbana (AU), incluidas lo que llaman la agricultura familiar, la urbana y la periurbana, como opción para mitigar el grave problema de la inseguridad alimentaria (Altieri *et al.*, 1999, Pérez y Pérez, 2000, Organización de Las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2010). Actualmente, se estima que del 15 al 20% de la producción mundial de alimentos es producida por la AU (Armar-Klemesu y Maxwell, 2001).

Si bien, la AU es una opción muy prometedora, en la práctica deben considerarse los problemas de contaminación ambiental de las ciudades (Nabulo *et al.*, 2011) con la presencia de sustancias contaminantes en los suelos, aire, agua y la biota, que pueden repercutir en la calidad del producto agrícola urbano y representar un riesgo sanitario. Por ello, la FAO (2010) ha propuesto políticas para prevenir la contaminación de los alimentos en todas las etapas del proceso de producción

y, de esta manera, asegurar el abastecimiento de productos de buena calidad. El objetivo de este capítulo es hacer una breve reseña sobre las fuentes de contaminantes más comunes en la AU, su posible transferencia a la planta, y presentar algunas opciones de prevención de la contaminación de los alimentos así como algunas sugerencias a considerar en la práctica de la AU apoyado en un estudio de caso en el sur de la Ciudad de México.

Agricultura Urbana

En este capítulo se define agricultura urbana (AU), como el cultivo de plantas y cria de animales dentro (intraurbana) y alrededor de las ciudades (periurbana) y las actividades relacionadas con ella, como la producción, procesamiento, comercialización, etc. (Dubbeling *et al.*, 2010). También se considera AU la que practican ciudadanos en espacios reducidos, vacíos o abandonados destinados para tal fin, como azoteas, paredes, ventanas, traspacios de casas y edificios o en camellones, parques, lotes baldíos y otros espacios públicos.

A través de la AU se generan productos alimenticios como: los granos, hortalizas, hongos, frutos y animales (producción de carne, huevos y leche); o no alimenticios como plantas aromáticas, medicinales y decorativas (Losada *et al.*, 1998), ya sea como una actividad económica, para autoconsumo, como terapia ocupacional, o con fines educativos. Se utilizan diferentes técnicas, como la hidroponía, huertos acolchados, cultivo en macetas o en cualquier tipo de materiales reciclados (cajas, cubetas, llantas, etc.), y los sustratos utilizados son muy diversos (Sánchez, 2007).

Algunas ventajas de la AU son: el aumento de la producción alimentaria/nutricional; generación de ingresos y empleo; apoyo en la gestión ambiental; generación de áreas verdes con las que se mantiene zonas libres del asfalto y concreto y, que consecuentemente contribuyen a la recarga del manto acuífero; reducción de tiempos y costos de transporte; almacenamiento, procesamiento y empaque, así como la disminución del número de intermediarios en la producción del alimento. La

AU se realiza tanto a nivel familiar, como por organizaciones sociales y no gubernamentales con proyectos de tipo ambiental o social. México cuenta con leyes¹⁰ y programas¹¹, que fomentan la creación de espacios permanentes de producción agropecuaria y se incentiva la recuperación de áreas verdes. En la Ciudad de México existen delegaciones con extensiones de suelo en las que se practica la agricultura, como en Álvaro Obregón, Cuajimalpa, Magdalena Contreras, Tláhuac, Tlalpan y Xochimilco (Pérez y Pérez, 2000).

No obstante, las ventajas que se obtienen a través de la AU, la congregación de las actividades económicas e industriales en las grandes ciudades propician alteraciones en el medio y acumulación de materiales de desecho (Nabulo *et al.*, 2011), lo que favorece la presencia de sustancias contaminantes en los suelos, aire, agua y la biota. Estas sustancias pueden, por un lado, tener un efecto adverso sobre el desarrollo de las plantas y, por otro, entrar a la cadena alimentaria a través de su incorporación a la planta, lo que constituye una vía de exposición importante para quienes consumen estos productos (Nabulo *et al.*, 2011). Este fenómeno es una de las críticas más severas que utilizan las autoridades sanitarias para rechazar los productos provenientes de la AU. Es por ello necesario conocer el tipo de contaminantes en cada sitio, de dónde provienen, su concentración, toxicidad, movilidad, así como los principales factores que influyen en la incorporación de éstos en la planta que pudieran poner en peligro la producción de un alimento que sea seguro consumir.

Fuentes de contaminación en agricultura urbana

Si se suministra a la planta un medio de soporte, nutrimentos, agua, aire y el calor necesarios para un cultivo específico, entonces la producción puede alcanzar su máximo potencial (Van Ittersum and Rab-

¹⁰ Ley de Desarrollo Agropecuario, Rural y Sustentable del Distrito Federal. Asamblea Legislativa del Distrito Federal, GDF. (ALDF, 2011), en donde se establece que la actividad rural debe sujetarse a los mecanismos de conservación.

¹¹ Programa Sectorial de Medio Ambiente 2007-2012 de la Ciudad de México. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, (SEMARNAT 2007).

binge, 1997). Siempre y cuando no haya factores limitantes que impidan su desarrollo, una de estas limitantes en la AU es la presencia de contaminantes derivados de la emisión de desechos sólidos, líquidos y gaseosos, generados por las actividades socioeconómicas (forestales, agropecuarias, urbanas e industriales).

Los contaminantes pueden llegar a la planta a través del aire y del sistema suelo/agua (De Bon *et al.*, 2010), donde los efectos tóxicos que puedan tener dependen de las propiedades del contaminante, las características del suelo, de la especie vegetal y de su ciclo vegetativo.

Contaminantes atmosféricos. Se ha demostrado que existe una reducción en la producción y calidad de productos procedentes de la AU, debido a la contaminación del aire (Bell *et al.*, 2011). Entre los contaminantes atmosféricos que causan mayor afectación a las plantas se encuentran algunos gases como el ozono, los óxidos de azufre, los óxidos nitrosos, el bióxido de carbono (Emberson *et al.*, 2001); y el material particulado suspendido (MPS), sobre todo, si está compuesto por fenoles, ácidos, alcoholes y material biológico (polen, protozoarios, bacterias, virus, hongos, esporas y algas), así como por subproductos de la combustión, como son los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), muy comunes en las ciudades.

Estos contaminantes, cuando están en altas concentraciones, causan daño a los cultivos ya que, además de depositarse en los suelos y cuerpos de agua, entran en contacto con la vegetación, y pueden, en este caso ocasionar lo siguiente: bloquear los estomas e inhibir la respiración; descomponer las células vegetales al entrar por los estomas; retardar la aparición de brotes; acortar el periodo de floración; acelerar el envejecimiento; disminuir la producción de frutos y reducir la longitud de la panícula; provocar la aparición de manchas foliares, blanqueamiento de las hojas, necrosis, manchas rojas y clorosis, así como reducir el peso seco de los granos y el rendimiento general (Eriksen-Hamel y Danso, 2010, Emberson *et al.*, 2001).

Los metales que se han detectado en el MPS son motivo de preocupa-

ción, ya que no se degradan y pueden representar una fuente significativa de ingreso de contaminantes a la cadena alimentaria (Dalenberg y Van Driel, 1990).

Contaminantes en el agua. El agua para riego en la AU proviene de tomas de agua corriente, pipas con agua potable, aguas residuales crudas o tratadas, de la lluvia. Con el uso de aguas residuales y tratadas se obtiene agua disponible y de bajo costo para la AU. Sin embargo, se han documentado los riesgos derivados de esta práctica como presencia de bacterias causantes de enfermedades, una gran gama de compuestos orgánicos (incluyendo fármacos); además, los suelos irrigados con aguas residuales pueden acumular metales, tales como: cadmio, zinc, cromo, níquel, plomo y manganeso (Gharbi *et al.*, 2010). Por su parte, el agua de lluvia puede acarrear contaminantes de la atmósfera y convertirse en lluvia ácida (formada por la reacción de los óxidos de azufre y de nitrógeno con oxígeno, agua y otras sustancias), que pueden tener un efecto negativo sobre el desarrollo y rendimiento de las plantas y árboles; por ejemplo, al necrosar las hojas, afectar a la corteza y destruir las raíces finas (Dursun *et al.*, 2002).

Contaminantes en el suelo o sustrato. Pueden provenir de diversas fuentes, como por ejemplo: agua de riego; residuos orgánicos parcialmente descompuestos (composta, basura orgánica, abonos), que se aplican frecuentemente debido a su bajo costo (Eaton *et al.*, 2007); fertilizantes inorgánicos, plaguicidas, lodos residuales de origen municipal o industrial que pueden, por un lado, inhibir a la microbiota edáfica (Shivakumar *et al.*, 2011) y, con ello, alterar procesos como la mineralización de materia orgánica y del aporte de nutrimentos a las plantas y, por otro lado, pueden ser absorbidos por las plantas y causar fitotoxicidad, o ser transferidos a la cadena alimentaria (Paraíba *et al.*, 2011).

La cantidad de metales presentes en los desechos urbanos depende de su origen; así, los lodos de las aguas residuales de las Plantas de Tratamiento, son las que tienen una mayor concentración de metales, seguido por el desperdicio municipal composteado y por último, por el

estiércol (Ross, 1994). Los efectos de los metales en las plantas incluyen necrosis en las hojas, inhibición del crecimiento, daños estructurales, cambios en las actividades fisiológicas y bioquímicas y disminución en el rendimiento de los cultivos (Sharma *et al.*, 2010).

Incorporación de contaminantes a la planta

Cuando hay contaminantes presentes en el sustrato del cultivo o en el agua de riego, puede ocurrir un transporte del mismo a la planta a través de las raíces, y en el caso de los atmosféricos por sus partes aéreas, principalmente por las hojas (Schwitzguebel *et al.*, 2009). Esta incorporación de contaminantes, no sólo depende del tipo, concentración y tiempo de exposición al mismo sino, también, de la especie de la planta y su ciclo vegetativo (Kabata-Pendias, 2000), así como de la vía de exposición (aire, suelo) y por lo tanto, de las características del suelo y del aire. Lo anterior da como resultado una gran variedad de condiciones en cuanto a la disponibilidad, toxicidad y respuesta de las plantas ante un contaminante; sin embargo, algunas generalidades se han podido identificar en este sentido. Por ejemplo, durante el ciclo vegetativo de la planta, se ha observado que en la fase de crecimiento es más intensa la acumulación de contaminantes como los metales y, en general, hay una tendencia a acumular los contaminantes en las hojas (Kabata-Pendias, 2000).

La diferencia en la incorporación de contaminantes también es patente entre las especies de plantas. En general, las plantas se pueden clasificar en acumuladoras, indicadoras, excluyentes y sensibles; según su respuesta típica frente a la presencia de metales pesados en el suelo (Adriano, 2001).

Por otro lado, la temperatura ambiente también juega un papel determinante en la captación de los metales; por ejemplo, se ha observado que la acumulación de cadmio en plantas tropicales es mayor que en plantas de climas templados (Nabulo *et al.*, 2011).

Biodisponibilidad de los contaminantes

Tanto nutrimentos como contaminantes se incorporan a la planta principalmente a través de las raíces, por absorción de lo que está soluble o biodisponible en la solución del suelo (Hodson *et al.*, 2011), por lo que es importante entender los procesos que determinan la adsorción – desorción de los contaminantes orgánicos e inorgánicos en el suelo.

Los contaminantes inorgánicos (principalmente compuestos metálicos) al depositarse en el suelo, pueden ser adsorbidos por cargas negativas y positivas de la materia orgánica, arcillas y óxidos, o ser inmovilizados por agentes quelantes o cambiar su forma química; lo que repercute en su comportamiento y disponibilidad y, por ende, en su toxicidad. Por lo general, la disponibilidad de estos contaminantes inorgánicos presentes, mayormente como cationes, tiende a decrecer a medida que el pH del suelo aumenta, ya que típicamente los metales son más solubles a valores de pH más ácidos. La materia orgánica y el contenido de arcillas también juegan un papel importante en la retención de los contaminantes inorgánicos, a través de las cargas que se generan en su superficie, sobre todo cargas negativas que tienen la capacidad de adsorber cationes. En general, a mayor contenido de materia orgánica y porcentaje de arcillas, mayor retención de los contaminantes con carga positiva.

Gran parte de los contaminantes orgánicos, como los plaguicidas HAPs o productos farmacéuticos, se adsorben en el suelo (Chiou *et al.*, 1979). Se ha demostrado que los compuestos orgánicos entran a la planta a través de transporte pasivo, el cual está relacionado con la hidrofobicidad del contaminante. De manera general, las raíces de las plantas tienden a absorber más los contaminantes del agua del suelo mientras más hidrofílico es el compuesto y, mientras mayor sea el contenido lipídico de la planta, mayor es la captación del contaminante orgánico hidrofóbico (Gao *et al.*, 2008). Por ejemplo, se ha visto que los plaguicidas, especialmente los organoclorados como DDT, son especialmente solubles en los aceites y ceras de las plantas (Ripley y Edgington, 1983).

Medidas de mitigación

Una de las primeras recomendaciones para reducir o eliminar la contaminación debida a los productos generados por la AU, es evaluar la calidad del agua y los sustratos utilizados en el crecimiento de las plantas y su monitoreo a lo largo de la práctica agrícola. Las medidas que pueden ayudar a mitigar la contaminación de los productos alimentarios, se resumen básicamente en tres: (1) la prevención; (2) la selección de plantas adecuadas para el cultivo bajo determinadas condiciones y (3) la modificación del medio en el que crecen (suelo o sustrato).

Prevención

Siempre es mejor prevenir que remediar, tal es el caso de la incorporación de contaminantes en las plantas por lo que, en primer lugar, es necesario tomar en cuenta el sitio donde se pretende realizar la AU; al respecto, es conveniente seleccionar lugares con poca incidencia de vientos acarreadores de contaminantes, o en donde la contaminación no sea excesiva. Uno de los mecanismos de eliminación de los contaminantes es la evapotranspiración, por lo que la temperatura ambiente y la aireación también son variables ambientales importantes.

Una acción económica y muy útil, es el utilizar redes malla-sombra para reducir la depositación atmosférica de contaminantes, como las partículas suspendidas y la lluvia ácida, así como para minimizar los rayos solares para evitar una mayor evapotranspiración de la planta (Ponce de León *et al.*, 2010, Eriksen-Hamel y Danso, 2010).

Por otra parte, el uso de aguas residuales en la AU podría ser benéfico, siempre y cuando se tomen las medidas pertinentes para evitar la acumulación de contaminantes en los suelos y su transferencia a las plantas. México cuenta con Normas Oficiales Mexicanas en donde se establecen los límites máximos de metales pesados, coliformes fecales y huevos de helminto en suelo (PROY-NOM-005-ECOL-2000), en agua de riego (NOM-001-ECOL-1996) y especificaciones del agua para manejo postcosecha (PROY-NOM-ECOL-004-2000), así como los re-

quisitos y especificaciones para la aplicación y certificación de buenas prácticas agrícolas, en los procesos de producción de frutas y hortalizas frescas (NOM-EM-034-FITO-2000). En cuanto al sustrato utilizado para la AU, es preferible evitar el uso de lodos residuales de las Plantas de Tratamiento de Aguas, o en su defecto diluirlos con sustrato de buena calidad (Maissonave *et al.*, 2002).

Selección de plantas

Como se mencionó anteriormente, los diversos cultivos vegetales que crecen en sitios contaminados, como es el caso de la contaminación por metales pesados, presentan diferencias en la absorción, acumulación y en el patrón de distribución de metales en las plantas; lo que dependerá de diversos factores como: la especie química de la que se trate, su concentración y disponibilidad, las características del sustrato, así como de la especie, edad y estado fisiológico de la planta, entre otros. También se encuentran diferencias en la concentración de metales en los distintos órganos de la planta (raíz, tallo, hojas, frutos), por lo que una de las recomendaciones más importantes para lograr el desarrollo adecuado de las plantas que se cultivan en sitios urbanos, y que se espera constituyan un alimento seguro es, sin duda, el seleccionar plantas excluyentes, es decir, que no incorporen contaminantes (por lo menos en la parte comestible).

Debido a lo anterior y a los riesgos que representa para la seguridad alimentaria, se han realizado estudios para analizar las diferencias en la acumulación de metales y su distribución, tanto en la parte comestible y como en la no comestible, en diversas especies de plantas, resultando de ello, sugerencias acerca de su posible cultivo en suelos contaminados. Por ejemplo, Singh *et al.* (2012), con base en el patrón de acumulación de metales y su distribución en la parte comestible de diferentes plantas de cultivo, proponen que vegetales como: zanahoria, tomate, berenjena, repollo, coliflor, papa y cebolla, podrían cultivarse en sitios contaminados con zinc y cobre; en cambio, en estos sitios no se recomienda el cultivo de: espinacas, fenogreco, mostaza y frijol de soya. Este mismo estudio sugiere que el rábano, cuya parte comestible

es la raíz, podría cultivarse en suelos contaminados con cobre, plomo y níquel, pero no con cadmio; mientras que la zanahoria podría sembrarse en suelos contaminados con cadmio y níquel.

Por otro lado, si se van a realizar actividades de fitorremediación, se requerirá seleccionar plantas acumuladoras de las que se utilizan frecuentemente para la limpieza de suelos. Pueden elegirse plantas hiperacumuladoras de metales; por ejemplo, cuando se utilizan aguas residuales para el riego, éstas se plantan a la par que el vegetal de interés o en rotación de cultivos (Schwitzgubel *et al.*, 2009); es este sentido, con la fitorremediación se disminuye el contenido de metales en el suelo y se evita o disminuye su acumulación en la planta comestible. Se han identificado más de 400 especies vegetales con el potencial de remediar suelo y agua; por ejemplo, algunas especies de *Thlaspi*, *Alyssum*, *Brassica* y *Arabidopsis* de la familia Brassicaceae (Rascioa y Navari-Izzob, 2011).

Las plantas indicadoras se usan en estudios de contaminación, no obstante que estas plantas no son deseables para la AU, pueden ser tolerables si la acumulación del contaminante no se da en la parte comestible. Finalmente, también pueden elegirse plantas sensibles, considerando que éstas sólo se desarrollan si no hay presencia del contaminante que limite su desarrollo. Dada la complejidad de factores que intervienen en la AU, es conveniente documentarse y asesorarse con expertos, así como en el monitoreo constante de los productos.

Modificación de los suelos

La modificación se refiere a cambiar las características del suelo para influir sobre los procesos de adsorción-desorción y precipitación-disolución y, además, favorecer la inmovilización de los contaminantes o, dado el caso, también su degradación.

Un método simple para inmovilizar los contaminantes en el suelo, y así evitar su captación por las plantas, es la adición de suficiente materia orgánica a los suelos, lo que favorece la adsorción de los metales y los

compuestos orgánicos hidrofóbicos. El pH del suelo también juega un papel muy importante en la biodisponibilidad de los contaminantes, en especial de los contaminantes inorgánicos, por lo que su modificación a valores de 6 a 8 (dependiendo de los contaminantes y el grado de contaminación) puede ser una medida simple para reducir su solubilidad y con ello, su absorción.

Estudio de Caso: Disminución de la captación de metales en lechuga (*Lactuca sativa*)

En Xochimilco, una delegación de la ciudad de México en donde se practica intensivamente la AU, aún se utiliza un método prehispánico para el cultivo, la chinampa. Las chinampas son fertilizadas con el sedimento de los canales y se riegan con agua de los mismos. La recarga de agua hacia los canales proviene en un alto porcentaje de plantas de tratamiento de aguas residuales y por lo mismo se espera que contengan metales, fármacos, hormonas, plaguicidas, que se acumulan en el suelo (Canabal *et al.*, 1992). Esto puede generar una reducción en la calidad de los suelos agrícolas, fitotoxicidad y transferencia de contaminantes a la dieta humana, por el consumo de productos cultivados en estos sitios o por pastoreo de los animales (Micó *et al.*, 2006).

También hay otros factores que favorecen la incorporación de contaminantes de los productos agrícolas en esta zona, como por ejemplo, la exposición directa a la radiación solar, a los gases y MPS provenientes de la atmósfera citadina. El aumento de la temperatura favorece la evapotranspiración, lo que promueve que se absorba más agua y, con ello, el movimiento de metales al interior de la planta. Los contaminantes atmosféricos pueden depositarse por vía seca o húmeda en el agua, los suelos y sobre las plantas y entrar a éstas a través de las raíces o los estomas y acumularse en diversos sitios.

Se llevó a cabo un estudio cuyo objetivo fue evaluar el uso de una medida de mitigación barata y fácil de implementar, como es el uso de protecciones para evitar la radiación solar directa y disminuir así la depositación de MPS sobre la superficie de los vegetales. Este estudio

consistió en estimar la incorporación de metales en uno de los cultivos principales de Xochimilco (particularmente en la localidad de San Gregorio Atlapulco), donde se realizó un muestreo aleatorio simple (diciembre 2006 y febrero del 2007), en una chinampa en donde se cultiva lechuga (*Lactuca sativa*) bajo dos condiciones de crecimiento: la mitad de la parcela protegida con malla sombra y la otra sin protección (Figura 1).

Se recolectaron 50 lechugas por sección (total 100 muestras) y en cada sitio se tomó muestra del suelo asociado con la raíz (profundidad 25 cm). En el laboratorio se determinaron diversos parámetros edáficos (pH, conductividad eléctrica, textura, contenido de materia orgánica).

Para el análisis de metales en suelo, se hizo una digestión total y una extracción con EDTA (0.025M pH 4.6); para la evaluación de la disponibilidad del metal. Para el análisis de metales en plantas (en raíz y hoja), se realizaron digestiones totales en horno de microondas (CEM, modelo MARS-x®) en tejido previamente lavado. Los análisis de hicie-



Fotografía propia.

Figura 1. Lechuga (*Lactuca sativa*) bajo dos condiciones de cultivo: protegida con malla sombra (al fondo) y sin protección (en primer plano).

ron por duplicado, se incluyó un blanco y un material de referencia por lote. Se cuantificaron 12 metales por la técnica de ICP-MS (Ponce de León *et al.*, 2010). A los resultados se les aplicó un análisis de varianza y una prueba de Newman-Keuls, con un nivel de significancia $P < 0.05$. (Cuadro 1).

Los resultados mostraron que, en los suelos de ambas parcelas, los valores de pH son de ligeramente básicos a básicos (7.4-8.8) y su contenido de materia orgánica fue elevado (12.21-17.15%), condición que, por lo general, no favorece la disponibilidad de muchos metales; sin embargo, se encontraron concentraciones elevadas de algunos de

Cuadro 1. Concentraciones totales de metales (mg kg^{-1}) en peso seco de hojas, raíces y suelo asociado en lechuga (*Lactuca sativa*) cultivada en parcelas protegidas con malla sombra y no protegidas.

c	Parcela protegida			Parcela no protegida			Valores de referencia	
	Hojas	Raíz	Suelo	Hojas	Raíz	Suelo	Hojas de lechuga ^c	Suelo
Titanio	15.4*	41.4	2203.4*	37.2*	42.8	2430.1*	-	-
Vanadio	2.3*	19.9*	1242.2	4.0*	18.4*	1229.2	-	550 ^a , 130 ^b
Estroncio	53.8*	37.9*	302.8*	95.2*	51.9*	258.7*	-	-
Cromo	2.6*	4.6*	45.1	1.6*	1.2*	45.3	-	280 ^a , 64 ^b
Cobalto	0.1*	0.4*	9.8	0.2*	1.2*	10.8	-	40 ^b
Manganeso	21.7*	17.8	326.9*	67.3*	15.2	293.3*	1.8 - 3.2	-
Cobre	3.6*	4.9*	22.1*	5.9*	1.1*	17.5*	0.2 - 0.8	63 ^b
Níquel	1.8	0.5	22.2	1.4	0.5	22.3	0.020 - 0.141	1600 ^a , 50 ^b
Arsénico	0.1*	0.6	5.6*	0.4*	0.7	4.9*	nd - 0.010	22 ^a , 12 ^b
Cadmio	0.16	0.16	0.30	0.15	0.16	0.3	0.019 - 0.125	37 ^a , 1.4 ^b
Plomo	0.03*	0.64*	25.80*	0.8*	0.4*	20.3*	nd - 0.014	400 ^a , 70 ^b

*Diferencias significativas a $P < 0.05$ entre la parcela protegida y la no protegida.

nd: no detectado

^a Valores recomendados por SEMARNAT, (2007). ^b Valores recomendados por la Guía de Calidad del Medio Ambiente de Canadá para Suelos Agrícolas (CCME, 2014). ^c Intervalo de valores encontrados en hojas de lechuga por la Food and Drug Administration de EUA (FDA, 2010).

Fuente: Ponce de León *et al.*, 2010

ellos tanto en la raíz como en las hojas (Ponce de León *et al.*, 2010) (Cuadro 1).

En las hojas se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre las dos parcelas en las concentraciones de titanio, vanadio, estroncio, cobalto, manganeso, cobre, arsénico y plomo, siendo mayor la concentración en el lote sin la protección de la malla-sombra. En las raíces se encontró lo mismo para estroncio y cobalto; en cambio, para el vanadio, cromo, cobre y plomo se encontraron niveles más altos ($P < 0.05$) en las raíces de las plantas de la parcela protegida.

Las hojas tienen mayores niveles de estroncio, manganeso y níquel en ambas parcelas, en comparación con las raíces; a diferencia del vanadio, cobalto y arsénico, cuya concentración fue más elevada en la raíz que en las hojas. El metal que presentó mayor concentración fue el estroncio en las hojas, esto puede ser debido a que es muy abundante en los suelos. Cabe mencionar que las concentraciones de cobre, manganeso, níquel, cinc, arsénico, cadmio y plomo sobrepasaron las concentraciones máximas aceptadas en lechugas, dadas por la FDA (Cuadro 1) para ambos lotes.

En general, puede decirse que los suelos de las dos parcelas son parecidos en cuanto al contenido de metales, pero no en el contenido de metales en las hojas en donde sí se encontraron diferencias significativas, atribuibles a la barrera física que representa la malla-sombra que evita o reduce la depositación del MPS sobre el vegetal y/o la radiación solar, disminuyendo la evapotranspiración y con ello la absorción de metales.

En el estudio, se probó que en el cultivo periurbano de lechuga (*Lactuca sativa*) regado con aguas residuales tratadas, las concentraciones de metales fueron menores en las hojas de la lechuga en la parcela cubierta con malla-sombra, que en la que no lo estuvo. El uso de estas redes malla-sombra constituye una medida de bajo costo, muy útil y fácil de implementar para reducir la evapotranspiración de la planta y, así, contribuir a la disminución de la translocación de los metales

(Ponce de León *et al.*, 2010, Eriksen-Hamel y Danso, 2010) y, además, evitando o disminuyendo la depositación de partículas suspendidas y lluvia ácida sobre las plantas.

Si bien, la práctica de la AU presenta muchas ventajas y va a continuar desarrollándose a pesar del aumento en los niveles de contaminación dentro y alrededor de las ciudades, es necesario reforzar la investigación en este sentido y encontrar una serie de medidas al alcance de los agricultores de diversos estratos económicos que ayuden a mitigar este problema.

Referencias bibliográficas

- Adriano, D. C., (2001). Trace elements in terrestrial environments: biogeochemistry, bioavailability and risks of metals. Springer-Verlag. New York. 879 p.
- Altieri, M. A., N. Companioni, K. Cañizares, C. Murphy, P. Rosset, M. Bourque y C. I. Nicholls, (1999). The greening of the "barrios": Urban agriculture for food security in Cuba. *Agriculture and Human Values*, No. 16, pp. 131-140.
- Armar-Klemesu, M. y D. Maxwell, (2001). Accra: Urban Agriculture as an Asset Strategy -Supplementing Incomes and Diet. In: N. Bakker, M. Dubbeling, S. Guendel, U. Sabel-Kosschella, H. de Zeeuw, H. (eds). *Growing Cities, Growing Food: Urban Agriculture on the Policy Agenda: A Reader on Urban Agriculture- City Case Studies*. Feldafing: Deutsche Stiftung fur Internationale Entwicklung. pp. 183-208.
- Bell, J. N. B., S. A. Power, N. Jarraud, M. Agrawal y C. Davies, (2011). The effects of air pollution on urban ecosystems and agriculture. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, No. 18, pp. 226-236.
- Canabal, B., P. Torres y G. Burela (1992). La ciudad y sus chinampas, el caso de Xochimilco. Colección Ensayos, UAM-Xochimilco. 177 pp.
- Chiou, C. T., L. J. Peters y V. H. Freed, (1979). Physical concept of soil-water equilibria for nonionic organic compounds. *Science*, No. 206, pp. 831-832.

- Dalenberg, J. W. y W. Van Driel, (1990). Contribution of atmospheric deposition to heavy-metals concentrations in field crops. *Netherlands Journal of Agricultural Sciences*, No. 38, pp. 367-379.
- De Bon, H., L. Parrot y P. Moustier, (2010). Sustainable urban agriculture in developing countries. A review. *Agronomy For Sustainable Development*, No. 30, pp. 21-32.
- Dubbeling, M., H. De Zeeuw y R. Van Veenhuizen, (2010). *Cities, Poverty and Food: Multi-satkeholder Policy and Planning in Urban Agriculture*, Warwickshire, UK, Practical Action Pub. LTD. pp. 1-24.
- Dursun, A., E. Yildirim, I. Guvenc y A.M. Kumlay, (2002). Effects of simulated acid rain on plant growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum*). In: Paroussi, G., D. Voiyatzis and E. Paroussi, (eds). *Second Balkanian Symposium on vegetables and potatoes*. Thessaloniki, Grecia. pp. 245-248.
- Eaton, D., V. O. Ajibola y F. N. Folaranmi, (2007). Opportunities for managing solid waste flows in the peri-urban interface of Bamako and Ouagadougou. *Environment and Urbanization*, No. 15, pp. 53-63.
- Emberson, L. D., M. R. Ashmore, F. Murray, J. C. I. Kuylenstierna, K.E. Percy, T. Izuta, Y. Zheng, H. Shimizu, B.H. Sheu, C.P. Liu, M. Agrawal, A. Wahid, N. M. Abdel-Latif, M. Van Tienhoven, L.I. De Bauer y M. Domingos, (2001). Impacts of air pollutants on vegetation in developing countries. *Water, Air and Soil Pollution*, No. 130, pp. 107-118.
- Eriksen-Hamel, N. y G. Danso, (2010). Agronomic considerations for urban agriculture in southern cities. *International Journal of Agricultural Sustainability*. No. 8, pp. 86-93.
- Gao, Y., W. Xiong, W. Ling, H. Wang, L. Ren y Z. Yang, (2008). Partitioning of PAHs between plant roots and water. *Plant Soil*, No. 311, 201-209.
- Gharbi, L.T., P. Merdy y Y. Lucas, (2010). Effects of long-term irrigation with treated wastewater. *Applied Geochemistry*, No. 25, pp. 1711-1721.
- Hodson, M. E., M. G. Vijver y W. J. G. M. Peijnenburg, (2011). Bioavailability In Soils. In: F.A. Swartjes. (ed.) *Dealing with Contaminated Sites: From Theory towards Practical Application*, Amsterdam:Springer. pp. 721-749.

- Kabata-Pendias, A., (2000). Trace Elements in Soils and Plants, Boca Raton. USA, Third Edition. Crc Press, Inc. 505 p.
- Losada, H., H. Martínez, J. Vieyra, R. Zavala y J. Cortés (1998). Urban agriculture in the metropolitan zone of México City: changes over time in urban, suburban and peri-urban areas. *Environment and Urbanization*, No. 10, pp. 37-54.
- Maissonave, V., M. Montrejaud-Vignoles, C. Bonnin y J.C. Revel, (2002). Impact on crops, plants and soils of metal trace elements transfer and flux, after spreading of fertilizers and biosolids. *Water Science and Technology*, No. 46, pp. 217-224.
- Micó, C., L. Recatalá, M. Peris y J. Sánchez, (2006). Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. *Chemosphere*, No. 65, pp. 863-872.
- Nabulo, G., C.R. Black y S.D. Young, (2011). Trace metal uptake by tropical vegetables grown on soil ammended with urban sewage sludge. *Environmental Pollution Series A*, No. 159, pp. 368-376.
- Organización de Las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), (2010). Producción, inocuidad, calidad y comercio internacional de alimentos. En: FAO (ed). *Panorama de la Seguridad Alimentaria y Nutricional en América Latina y el Caribe*. FAO, Roma. Italia. pp. 48-53.
- Paraíba, L. C., S. C. N. Queiroz, D. R. C. De Souza y M. L. Saito, (2011). Risk Simulation of Soil Contamination by Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from Sewage Sludge used as Fertilizers. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, No. 22, pp. 1156-1163.
- Pérez, G. y J. Pérez, (2000). El marco legal para el fomento de la agricultura en el Distrito Federal. En: Torres-Lima, P. (ed.) *Procesos Metropolitanos y Agricultura Urbana*. Ciudad de México: UAM-X/FAO. pp. 103-115.
- Ponce de León, C., I. Sommer, S. Cram, F. Murguía, M. Hernández. y C. Vanegas, (2010). Metal uptake in Peri-urban *Lactuca sativa* Cultivated Area. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, No. 45, pp. 111-120.
- Rascioa N. y F. Navari-Izzob, (2011). Heavy metal hyperaccumulating plants: How and why do they do it? And what makes them so interesting? *Plant Science* No. 180, pp. 169–181.

- Ripley, B.D. y L.V. Edgington, (1883). Internal and external plant residues and relationships to activity to activity of pesticides. p. 545-553. In: Proc. of the 10th Int. Congr. Plant Protection for Human Welfare, Brighton, England. 20-25 Nov. Br. Crop Prot. Council., Cro-ydon, England.
- Ross, S. M., (ed.) (1994). Sources and forms of potentially toxic metals in soil-plant systems. En: S. Ross (Ed.) Toxic metals in soil-plant systems, Chichester, England: John Wiley and Sons. pp. 3-25.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), (2007). NOM-147 Norma Oficial Mexicana que establece los criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo, cromo hexavalente, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio. Diario Oficial de la Federación, 2 marzo 2007, 2ª Secc. pp.1-69.
- Schwitzguebel, J.P., J. Kumpiene, E. Comino y T. Vanek, (2009). From green to clean: a promising and sustainable approach towards environmental remediation and human health for the 21st century. *Agrochimica*, No. 53, pp. 209-237.
- Sharma, R.K., M. Agrawal y S.B. Agrawal, (2010). Physiological, biochemical and growth responses of Lady's Finger (*Abelmoschus esculentus* L.) plants as affected by Cd contaminated soil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, No. 84, pp. 765-770.
- Shivakumar, C. K., C. Hemavani, B. Thippeswamy y M. Krishnappa, (2011). Effect of inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi on green gram grown in soil containing heavy metal zinc. *Journal of Experimental Sciences*, No. 2, pp. 17-21.
- Singh, S., M. Zacharias, S. Kalpana y S. Mishra, (2012). Heavy metals accumulation and distribution pattern in different vegetable crops. *Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology* No. 4, pp. 75-81.
- Van Ittersum, M. K. y R. Rabbinge, (1997). Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. *Field Crop Research*, No. 52, pp. 197-208.

Referencias electrónicas

- Canadian Council of Ministers of Environment (CCME), (2014). Canadian Environmental Quality Guidelines: Summary Table. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg, Manitoba. http://www.ccme.ca/publications/ceqg_rcqe.html Consulta: 2014.
- Food and Drug Administration (FDA), (2010). Total Diet Study Statistics on Element Results - Market Baskets 2006-1 through 2008-4. December 14, 2010. <http://www.fda.gov/AboutFDA/CentersOffices/OfficeofFoods/CFSAN/ContactCFSAN/> Consulta: 2014.
- Ley de Desarrollo Agropecuario, Rural y Sustentable del Distrito Federal. Asamblea Legislativa del Distrito Federal, GDF. (ALDF), (2011). Gaceta Parlamentaria de la ALDF. Núm. 141-A. Año 02. <http://www.aldf.gob.mx/archivo-210312d2f99a906cfb0d2cf61096eee1.pdf> Consulta: 2014.
- Sánchez, C.M. (Coord. General), (2007). Agricultura Urbana. Cartillas Técnicas. Sec. Gobierno, Alcaldía Mayor de Bogotá, Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, Centro de Investigación y Desarrollo Científico. Bogotá, Colombia. 62 pp. <http://es.scribd.com/doc/31695652/CARTILLA-TECNICA-AGRICULTURA-URBANA-JARDIN-BOTANICO> Consulta: 2014.

Capítulo 10. Transición del manejo de plagas y enfermedades sobre bases agroecológicas

Introducción

La lucha contra las plagas agrícolas constituye una de las principales preocupaciones para la mayoría de los agricultores, no solamente por las afectaciones y pérdidas ocasionadas por estos organismos, sino por los costos de las medidas de control y las regulaciones existentes para la comercialización de los productos agrícolas.

En los últimos años, se ha llamado la atención sobre el enfoque de control de plagas con productos plaguicidas, lo que se conoce internacionalmente como “protección” y “defensa” de cultivos. Esta tecnología, que fue desarrollada desde la II Guerra Mundial y que caracterizó el período de la “revolución verde”, ha sido muy criticada, principalmente porque contribuye a lo que se llama “ciclo vicioso” de los plaguicidas, al crear una alta dependencia a estos productos por parte de los agricultores, además de los efectos indeseables que causan sobre el medio ambiente y la biodiversidad, entre otros (Vázquez, 2008).

Así surgió y ha adquirido importancia el enfoque de manejo de plagas (Andrews, 1989), inicialmente desarrollado bajo el modelo de Manejo Integrado de Plagas (MIP), en el que se logra la integración del control químico y biológico, el manejo fitogenético y las prácticas culturales, entre otros componentes que, junto con el monitoreo para tomar las decisiones, contribuye a reducir el uso de los plaguicidas sintéticos (Howell y Andrews, 1987). Se ha demostrado que este modelo es muy

eficiente en sistemas de producción de monocultivos a gran escala y otros similares conocidos como intensivos, que se manejan a nivel del campo cultivado (Vázquez, 2008); pero, es limitado para sistemas que se manejan sobre bases agroecológicas debido a que en estos últimos se apropian del enfoque de sistema para integrar diseños y prácticas a nivel del sistema de producción, entre otros componentes que se basan en los principios de la agroecología (Vázquez, 2007, 2012a).

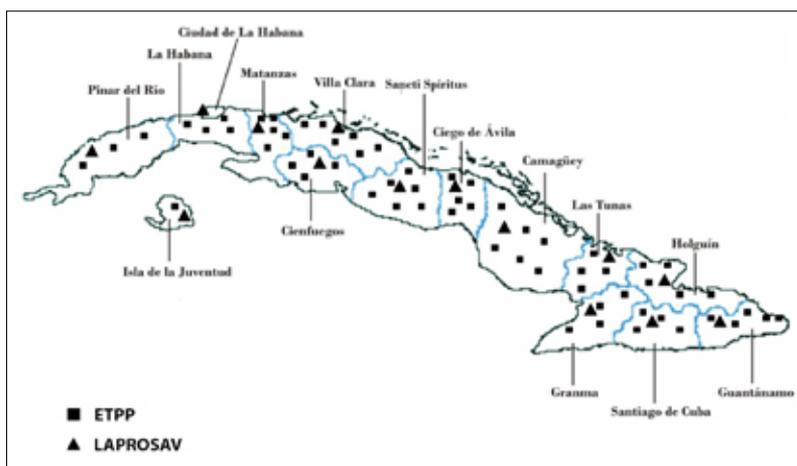
Bajo esta perspectiva, se considera que la agroecología aporta las bases científicas y técnicas, para transitar hacia el manejo de organismos nocivos con enfoque de sistema (Altieri, 1994; Altieri y Nicholls, 2007; Pérez y Vázquez, 2001), además de que favorece la participación de los técnicos y los agricultores en procesos de innovación (Vázquez, 2011a).

El objetivo del presente capítulo, es contribuir a olvidar el enfoque convencional en la lucha contra las plagas (protección de plantas, protección de cultivos, defensa de cultivos), para transitar u optar por el manejo de plagas y apropiarse del diseño y manejo del sistema de producción, que es el enfoque para lograr paulatinamente los sistemas soberanos, sostenibles y resilientes.

La experiencia acumulada en gestión fitosanitaria en los sistemas agrícolas de Cuba, conducida por una red de estaciones y laboratorios (Figura 1), durante la transición de la agricultura desde mediados de los años ochenta, así como la sistematización de experiencias en diferentes sistemas agrícolas durante los últimos veinte años, constituyen la sustentación práctica del presente capítulo.

Origen de las plagas y enfermedades agrícolas y el papel de la biodiversidad

Para entender los cambios que deben realizarse en la lucha contra las plagas y enfermedades que afectan los cultivos, es fundamental conocer las causas por las cuales ciertos organismos que se alimentan de las plantas cultivadas, se han convertido en nocivos a dichas plantas;



Fuente: Vázquez, 2012.

Figura 1. Red de Estaciones Territoriales de Protección de Plantas (ETPP) y Laboratorios Provinciales de Sanidad Vegetal (LAPROSAV) del servicio estatal de sanidad vegetal del Ministerio de la Agricultura en Cuba.

también es necesario entender las relaciones entre estos organismos y el resto de la biodiversidad que habita en los sistemas agrícolas.

Los organismos que se hospedan y viven de las plantas cultivadas, pueden actuar como fitófagos (insectos, ácaros, moluscos, roedores, aves), como fitoparásitos (nemátodos, protozoos) y como fitopatógenos (hongos, bacterias, virus, micoplasmas y otros), y cohabitar con dichas plantas en las zonas de origen de las mismas, por lo que han coevolucionado con ellas, de manera que forman parte de su alimentación, multiplicación y supervivencia.

En los sistemas naturales (no explotados o alterados por el hombre), estos organismos se mantienen en bajas poblaciones, constituyendo un elemento más de la biodiversidad en dichos sistemas, los que generalmente viven en equilibrio como parte de la trama trófica.

Está demostrado que, en la medida en que el hombre devasta áreas naturales para desarrollar la agricultura, selecciona y mejora especies

de plantas (variedades) para cultivarlas de manera intensiva y extensiva con propósitos económicos, está contribuyendo a alterar esos elementos de la biodiversidad (fitófagos, fitoparásitos, fitopatógenos) que estaban en poblaciones equilibradas o normales con sus plantas preferidas.

Las poblaciones de estos organismos potencialmente nocivos, que habitan en las zonas agrícolas han sido sometidas a una presión de selección por las propias tecnologías de cultivo; es decir, el cultivo de una sola especie en grandes extensiones, el uso de agroquímicos, las prácticas culturales, la mecanización y otras tecnologías van desencadenando mecanismos de tolerancia, resistencia o susceptibilidad en dichas poblaciones, contribuyendo a que en el tiempo existan individuos sensibles a estas prácticas que mueren, pero otros las toleran e incluso existen los que son resistentes o no afectados (Vázquez, 2008).

Estos últimos son los que dan lugar a nuevas generaciones de organismos que sobreviven a dichas prácticas, lo que quiere decir que son poblaciones seleccionadas, que pueden desarrollarse bajo estas tecnologías de cultivo y son, precisamente, los que cada año inciden de manera intensiva y requieren medidas efectivas de control.

Por ello, el enfoque agroecológico sustenta la necesidad de lograr la diversificación e interacción en los agroecosistemas, para favorecer las relaciones tróficas con las plantas cultivadas, en los que diversos elementos de la biodiversidad, interactúan como resultado de procesos coevolutivos (Altieri y Nicholls, 2007). Todo lo anterior, contribuye a transitar del viejo enfoque de sistemas de producción simples a los complejos, donde los elementos de la biodiversidad dejen de categorizarse como beneficiosos o perjudiciales, para considerarlos como asociados y auxiliares (Vázquez, 2012b).

Es decir, de manera general existen dos elementos básicos que contribuyen a entender el origen de las plagas y enfermedades agrícolas: (1) el hecho de ser especies que naturalmente necesitan de dichas plantas para su alimentación, multiplicación y supervivencia y (2) la presión de

selección que reciben estas especies, cuando se practica la agricultura de manera intensiva, ocasionando su incremento poblacional y la selección de poblaciones tolerantes o resistentes a las prácticas agrícolas.

Por ello, es importante entender que la transición del manejo de plagas, de actuar sobre las plagas y el cultivo, a la actuación sobre las causas (Vázquez, 2012a), significa tratar de restablecer las poblaciones de plagas y enfermedades en equilibrio con sus plantas hospedantes y sus reguladores naturales, tanto las que habitan total o parcialmente en el suelo y la vegetación auxiliar, como las que se hospedan transitoriamente en otros campos de cultivo o fincas cercanas.

En los últimos años, se ha documentado ampliamente la necesidad de prestar mayor atención a los efectos de la diversidad sobre la estabilidad (Landis *et al.*, 2000) y la ocurrencia de organismos nocivos y sus enemigos naturales en los agroecosistemas (Nicholls *et al.*, 2001), así como favorecer interacciones que contribuyan a los servicios ecológicos de la biodiversidad funcional (Altieri, 2010; Nicholls, 2010), incluyendo las conexiones entre sistemas de producción y ecosistemas naturales (Perfecto *et al.*, 2009).

En un sistema de producción, resulta necesario lograr que se favorezcan estas interacciones funcionales y, para ello, no es suficiente con lograr arreglos en los que estén asociados cultivos y vegetación auxiliar, sino también tolerar ciertas poblaciones de organismos nocivos y reducir las prácticas degradativas de esta trama de relaciones, de manera tal, que contribuyan directa e indirectamente a la productividad y eficiencia de dicho sistema.

Particular importancia en la reducción de organismos nocivos tienen sus enemigos o reguladores naturales. En Ecología, los entomófagos y entomopatógenos se consideran reguladores naturales de insectos fitófagos; de igual forma, los microorganismos antagonistas y parásitos de los hongos y bacterias fitopatógenas y los nemátodos fitoparásitos también son reguladores naturales. Es decir, aunque no son tan ostensibles como los de insectos, el resto de los organismos que habitan en

el suelo y las plantas son también regulados naturalmente (Vázquez *et al.*, 2008).

Precisamente, una parte de estos reguladores naturales, los más eficaces, se han utilizado para programas de control biológico los que, muchas veces, son introducidos en el sistema (aplicados o liberados) se establecen y continúan actuando junto con los reguladores naturales que lo habitan, lo que depende mucho de las características del sistema de producción y esto es, precisamente, lo que se logra con la conservación y manejo como estrategia de control biológico: favorecer la protección, diversidad, reproducción y actividad de los reguladores naturales y los agentes de control biológico introducidos en el sistema, mediante diseños y manejos que contribuyan a fuentes de alimentación, sustrato y refugio alternativas, incluyendo plantas florecidas que forman parte de la dieta alimentaria de los adultos de entomófagos.

Los avances logrados en Cuba en conservación de reguladores naturales, constituyen una evidencia de que estos organismos pueden jugar un papel importante en la regulación de poblaciones de organismos nocivos (Vázquez *et al.*, 2008); pero, se requiere de más estudios que permitan la integración de prácticas efectivas de conservación en el manejo de cultivos y agroecosistemas, además de que los agricultores toleren poblaciones de organismos nocivos mediante el manejo de reservorios.

Lo antes expuesto es una evidencia de que en el manejo del sistema de producción, es posible integrar la conservación y manejo de los reguladores naturales, para incrementar su diversidad y actividad reguladora, en lo cual el diseño y manejo de cultivos y la vegetación auxiliar, así como en los cuidados que se tengan con las prácticas degradativas (agroquímicas, mecánicas y otras) es fundamental.

Enfoque de manejo en la lucha contra las plagas, enfermedades y malezas

La producción agropecuaria ha tenido un proceso de transformación bajo la influencia del modelo de “desarrollo” internacional, que ha su-

cedido con posterioridad a la II Guerra Mundial, en la que la industria militar se dedicó a actividades civiles, entre ellas, la mecanización y el uso de agroquímicos para la agricultura y, como resultado de este rápido desarrollo tecnológico, surgió lo que se identificó como “periodo de la revolución verde”, que ha caracterizado lo que se conoce como agricultura convencional, intensiva o “moderna”, que se sustenta en sistemas de cultivo a gran escala, con gran apoyo en equipos e insumos, para lograr el máximo posible de producción por superficie cultivada, mediante la explotación intensiva del suelo y las fuentes de agua, el uso de variedades mejoradas con respuesta productiva al suministro de fertilizantes para potenciar su producción, de plaguicidas para protegerlas de los organismos nocivos y de combustible fósil para garantizar el riego y las diferentes labores al suelo y al cultivo (Vázquez y Funes, 2008).

Posteriormente, devino lo que se considera una nueva agricultura intensiva, con el auge de los agrocombustibles y los transgénicos, para desarrollar producciones a gran escala en empresas agroindustriales, donde generalmente antes no se practicaba agricultura, con el incremento de demandas en equipos e insumos mediante los conocidos paquetes tecnológicos, sistema que genera enormes gastos económicos y ambientales, además de degradar el suelo, agotar reservas de agua y afectar la biodiversidad, entre otros recursos, que además de los efectos antes mencionados, generan la dependencia tecnológica externa en semilla, agroquímicos, equipos y maquinaria agrícola e industrial, conocido como “colonización tecnológica”, que es favorecida por la globalización de la economía a través de “cadenas” productivas internacionales y nacionales, que caracterizan la producción agropecuaria insostenible de muchísimos países y territorios en América Latina y el Caribe, Asia y África (Vázquez, 2011b).

Bajo este enfoque tecnológico convencional, el manejo de plagas ha tenido un proceso de transición, primero la utilización de plaguicidas, conocida como “defensa” y “protección” de cultivos; posteriormente, la integración del control biológico con los plaguicidas químicos, mediante sistemas de monitoreo para decisiones “umbral económico”,

así como diferentes prácticas de manejo de cultivos, bajo el Manejo Integrado de Plagas (MIP). Esta última, considerada como una primera etapa en la transición de la producción agropecuaria hacia sistemas menos intensivos.

Todo lo antes expuesto de manera sintética, se ha propiciado bajo la influencia de la industria transnacional y la globalización, además de la necesidad imperiosa de alimentos en vastas regiones, que ha presionado a los gobiernos del Tercer Mundo a implementar estos enfoques tecnológicos, cuyos resultados iniciales, de apariencia positiva o beneficiosa, han devenido en verdaderos desastres naturales y económicos, la mayoría bien documentados por gobiernos, organizaciones internacionales y centros científicos en el mundo (Vázquez, 2012b).

Por ello, el manejo integrado de plagas (MIP) constituye una alternativa exitosa ante los problemas ocasionados por las tecnologías agrícolas intensivas; principalmente, el uso indiscriminado de plaguicidas sintéticos (Vázquez, 2006); sin embargo, la mayoría de las propuestas de MIP se limitan a la actuación directa sobre dichos organismos nocivos, o la realización de prácticas preventivas y curativas sobre el suelo y el cultivo en los límites del campo cultivado (Vázquez, 2008); por otra parte, su generalización en la práctica ha tenido ciertas dificultades (Rosset, 1998), las que se pueden agrupar según los tipos de sistemas de producción que los utilicen.

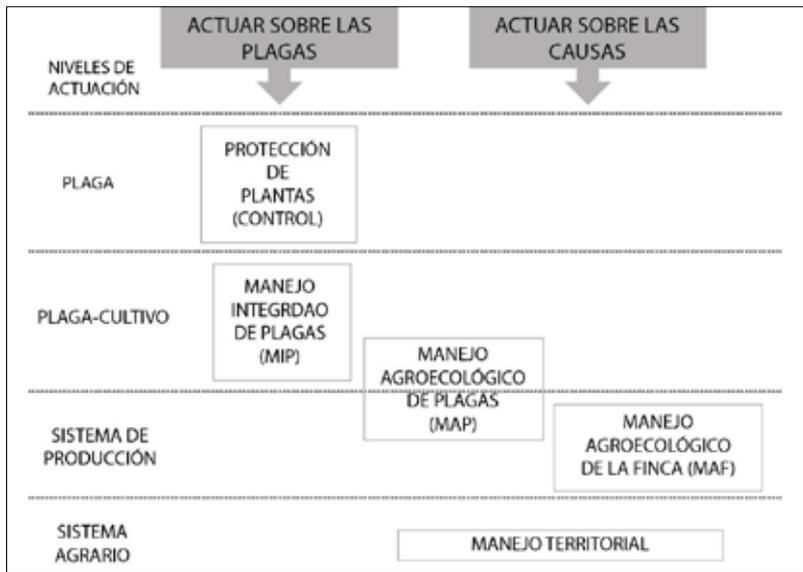
Desde luego, los avances en algunos programas han contribuido a la transición hacia el Manejo Agroecológico de Plagas (MAP), en el que se integran nuevos componentes al manejo del cultivo para reducir la utilización de plaguicidas, y se comienzan a adoptar otros que se realizan al nivel de todo el sistema de producción, lo que permite alcanzar el Manejo Agroecológico de la Finca (MAF), un enfoque holístico para la agricultura sustentable (Vázquez, 2011a, 2012a).

En el manejo de plagas, el enfoque de sistema es la base para entender la necesidad de cambiar la forma en que se manejan o controlan las plagas y enfermedades; es decir, ir dejando atrás el viejo método de

esperar a que estas se incrementen para controlarlas con un producto, sea químico o biológico (enfoque de “control”) y transitar hacia un enfoque consistente en actuar sobre las causas por las cuales estos organismos se incrementan y afectan los cultivos; primero, enfoque de “manejo del campo cultivado”, con la tendencia a ir adoptando el enfoque de “manejo del sistema de producción” (Figura 2).

Inclusive, de acuerdo con lo expuesto por Perfecto *et al* (2009), para alcanzar la sustentabilidad, es necesario transitar hacia un enfoque más holístico (manejar el “territorio” o “sistema agrícola” o “cuenca hidrográfica”); de forma tal, que se establezcan conexiones de la biodiversidad entre los sistemas de producción y los ecosistemas naturales, entre otros servicios ecológicos.

El proceso de transición del manejo de plagas debe ser planificado y facilitado localmente, de manera integrada con el resto de las activida-



Fuente: Vázquez, 2012a.

Figura 2. Representación de la transición del manejo de plagas en Cuba.

des agropecuarias y con una gran participación de técnicos y agricultores, mediante la realización de procesos, que pueden seguir un orden o de manera simultánea, como se expresa a continuación:

- Cambios en la percepción. Sistema de capacitación y educación continuada de directivos, técnicos y agricultores.
- Procesos de innovación local. Intercambiar y sistematizar experiencias, adoptar tecnologías, reconocer experimentación de agricultores. Redes locales de innovación.
- Reducción y optimización paulatina de agroquímicos. Monitoreo para decisiones, optimización de aplicaciones, sustitución de moléculas.
- Sustitución transitoria de insumos. Integrar aplicaciones de bioplaguicidas microbiológicos y botánicos, liberar entomófagos, integrar plaguicidas minerales, combinar con abonos orgánicos. Redes locales de insumos y servicios.
- Manejo adecuado del suelo. Reducir prácticas degradativas, incrementar contenido de materia orgánica, establecer sistemas de rotaciones, integrar abonos verdes y cultivos alelopáticos y de cobertura.
- Diversificar sistemas de cultivos. Adoptar policultivos, silvopastoriles, agroforestería, fincas integrales.
- Arreglos de la vegetación auxiliar. Manejar cerca viva diversificadas con servicios ecológicos, integrar arboledas o mini bosques, establecer corredores ecológicos internos.
- En los lugares donde se realizan programas nombrados de ordenamiento territorial, desarrollo territorial o manejo de cuencas, la planificación, diseño y manejo de fincas, así como la conexión mediante corredores ecológicos entre las diferentes fincas y los ecosistemas naturales, constituye una estrategia básica para favorecer las interacciones y los servicios ecológicos de la biodiversidad.
- Durante el proceso de transformación de las fincas, las poblaciones de plagas y enfermedades seguirán manifestándose de la misma manera, por lo que se requiere disponer de productos para su control, para lo cual el agricultor debe mantener un sis-

tema de observaciones o monitoreo, de forma tal, que pueda conocer las plagas que se presentan y las que incrementan sus índices, para actuar rápidamente antes de que el daño causado sea de magnitud económica.

- Esto significa que en el proceso de transformación de las fincas, va aparejada la actuación sobre los organismos nocivos de manera directa, ya que se debe entender que los cambios en su incidencia no sucederán rápidamente, ya que dependen mucho de los avances en la complejidad de dicho sistema y de las precauciones que tenga en la aplicación de productos para su control; es decir, hacerlo de forma racional.

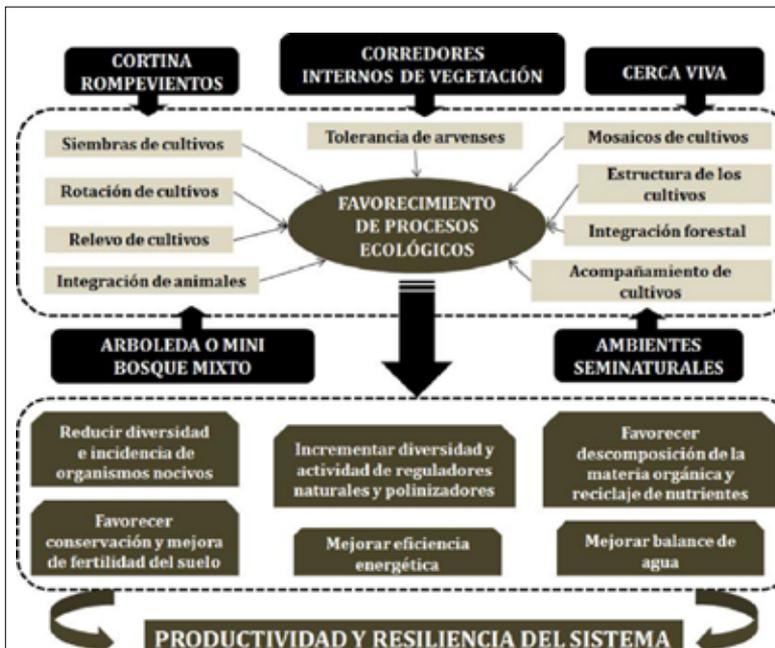
La planificación del proceso de transición de sistemas de producción debe considerar el rediseño de su estructura; es decir, la ubicación de los campos destinados a los rubros productivos y de los sitios de la vegetación auxiliar dentro del sistema, además de las áreas para otras actividades de apoyo, proceso que debe ser más breve y costoso para los sistemas de menor escala pero, a medida que esta aumenta, los retos económicos y tecnológicos son mayores; en primer lugar, debido a las influencias de la agricultura convencional, que se concibe bajo un esquema de campos de grandes dimensiones y un solo cultivo, con nula o mínima rotación, entre otras características; por otra parte, se requiere del acompañamiento de procesos de innovación contextual, que permitan los ajustes tecnológicos que demandan los sistemas complejos, muy difíciles de diseñar mediante procesos de investigación formales.

Diseño y manejo del sistema de producción

El diseño y manejo de los sistemas de cultivo, así como del resto del sistema de producción, se considera tiene grandes efectos sobre los organismos nocivos y las arvenses, todo lo cual está sustentado en diversas investigaciones, que han generado principios ecológicos que se relacionan con la entrada, establecimiento incidencia y nocividad de organismos que actúan como fitófagos, fitoparásitos y fitopatógenos de las plantas cultivadas en los sistemas de producción (Altieri y Nicholls, 2007).

El rediseño y manejo de los sistemas de producción debe considerar que, en su estructura espacial y temporal, se favorezcan varios niveles principales en las interacciones funcionales entre los cultivos y el resto de la vegetación; es decir, en el diseño espacial de los campos cultivados (incluyendo la ganadería y los recursos forestales), las asociaciones, intercalamientos y rotaciones de cultivos, las conexiones con la cerca viva, las arboledas y los ambientes seminaturales a través de las barreras vivas los que, en su conjunto, constituyen corredores ecológicos de la biodiversidad en las fincas (Figura 3).

En la medida que la estructura de cultivo sea más diversa, se acumulan multiefectos en servicios ecológicos, principalmente la reducción de los organismos nocivos y el incremento de sus reguladores naturales,



Fuente: Vázquez, 2012b.

Figura 3. Representación de los principales elementos y manejos de la vegetación que favorecen procesos ecológicos en el sistema de producción.

entre otros efectos relacionados con la conservación de los recursos naturales y la eficiencia del sistema. También se favorece la resiliencia ante eventos extremos del cambio climático, como los ciclones tropicales y la sequía.

Un análisis integral del efecto de la colindancia resulta muy difícil, ya que pueden influir colateralmente diversos factores, como por ejemplo los vientos, la edad de los campos, etc. (Rosset, 1988); además del efecto de los campos colindantes y cercanos como fuentes de infestación, así como las ventajas de planificar siembras diversas teniendo en cuenta su preferencia por las especies de insectos nocivas (Howell y Andrews, 1987).

El diseño y manejo de los campos de cultivos y sus interacciones con el resto de la vegetación en los sistemas de producción, resulta un proceso contextual que depende mucho de las características biofísicas del sistema, de la percepción del agricultor y de los posibles efectos de los sistemas vecinos y cercanos, entre otros factores.

Cuando más de un cultivo está acompañado en el mismo campo se considera como policultivos y los más comunes son las asociaciones de cultivos, que pueden ser de 2-3 especies, los intercalamientos de cultivos en franjas de varios surcos y los cultivos en franjas, entre otros. Los efectos son diversos, pues además de aumentar el aprovechamiento de la superficie cultivada, contribuye a la conservación del suelo, el reciclaje de nutrientes y la regulación natural de organismos nocivos, entre otros.

Estos arreglos estructurales, espaciales y temporales en los diseños y manejos de los campos, reducen la vulnerabilidad de los cultivos a las afectaciones por plagas y enfermedades, en contraste con los sistemas convencionales de monocultivos, que requieren mayor número de intervenciones para la protección fitosanitaria (Cuadro 1).

La diversificación de agroecosistemas resulta generalmente en el incremento de oportunidades ambientales para los enemigos naturales y,

consecuentemente, en el control biológico de plagas, pues la amplia variedad de arreglos vegetacionales disponibles en forma de policultivos, sistemas diversificados de cultivo-malezas o cultivos de cobertura, conservan enemigos naturales al asegurarles una serie de requisitos ecológicos como acceso a hospederos alternos, recursos alimenticios como polen y néctar, hábitats para hibernación y microclimas apropiados (Altieri y Nicholls, 2007).

Cuadro 1. Representación de la vulnerabilidad de sistemas de cultivo a plagas y enfermedades de acuerdo al diseño y manejo de los campos de cultivos (hortalizas, granos, raíces, tubérculos, frutos menores, frutales, otros).

Diseños y manejos	Vulnerabilidad	
	Alta	Baja
Tamaño de los campos	Grandes	Pequeños
Forma de los campos	Regulares: Cuadrados, rectangulares (cuatro lados)	Irregulares: Diversas (menos o más de cuatro lados)
Ubicación espacial de los campos	Agrupados (colindan los de un mismo cultivo)	Dispersos (separados los de un mismo cultivo)
Cantidad de cultivos en los campos	Uno	Dos o mas
Ordenamiento especial de cultivos en los campos	Uniforme (hileras)	Combinaciones (mosaicos, azar, mezclas)
Tipos de cultivos en los campos	Familias similares, estructura similar (herbácea, arbustiva o arbórea)	Diversas familias, estructura diversa
Ciclo de cultivos en los campos	Similar	Escalonado
Rotación de cultivos	Ninguna, una, en ocasiones, no diseñada, etc.)	Varias, sistema establecido
Criterios para rotaciones	Propiedades del suelo, mercado	Propiedades del suelo, mercado, arvenses, enfermedades y plagas del suelo, biodiversidad.
Arvenses en los Campos	Campos de grandes extensiones, sistemas especializados, monocultivo	Campos de diversas dimensiones, sistemas diversificados e integrados.

Fuente: elaboración propia.

Price *et al.* (1980) expresaron que las interacciones en agroecosistemas diversificados pueden ser muy complejas, ya que suelen implicar a diferentes niveles tróficos y a bastantes especies de plantas, fitófagos y enemigos naturales, mientras que Vandermeer (1981) planteó lo que llamó el efecto de cultivo-trampa, es decir, la idea es que la presencia de un segundo cultivo en la proximidad de un cultivo principal, atraiga una especie fitófaga que, de otra forma, probablemente atacaría al cultivo principal.

En Cuba el maíz (*Zea mays*) se ha convertido en una planta con diversos servicios ecológicos en los agroecosistemas (Vazquez *et al.* 2008); principalmente, contribuye al microclima del campo, porque atenúa las corrientes superficiales de aire, retiene la humedad y reduce la incidencia directa de las radiaciones solares sobre la superficie del suelo; condiciones que tienen efectos sobre la biodiversidad asociada al cultivo, actúa eficientemente como barrera física de poblaciones inmigrantes de adultos de insectos, es sitio de refugio de insectos benéficos ante los efectos de los plaguicidas, las prácticas culturales, las corrientes de aire y las radiaciones solares; además, es reservorio de poblaciones de enemigos naturales en diferentes huéspedes que habitan en el maíz, principalmente en el cogollo de la planta, que se considera uno de los principales reservorios de entomófagos, contribuye al desarrollo de poblaciones de hormigas en el suelo y contribuye al manejo ecológico de las arvenses.

202

En un estudio realizado por Veitía *et al.* (2004) en áreas de agricultura campesina del municipio Alquizar, provincia La Habana, detectaron que el 60% de los agricultores no realizan asociaciones de cultivos, y el 40% restante prefiere las siguientes: plátano - frijol (26.67%), maíz - calabaza (20%), boniato - calabaza (13.33%), plátano - col (13.33%), plátano - fruta bomba (13.33%), entre otras; determinaron que los cultivos que más se emplean para las asociaciones son el plátano, el maíz y la yuca.

Determinaron que el 80% de los agricultores, destina un área de su finca para pequeños campos o parcelas en forma de mosaicos de cultivos

(preferiblemente en bandas), donde siembra diversos cultivos anuales (hortalizas, granos, viandas y otros) para pequeñas producciones. En los casos estudiados (yuca-frijol-maíz, plátano-malanga, plátano-frijol, yuca-cebolla, plátano-col), se determinó una menor incidencia de las plagas clave en los cultivos y mayor diversidad y abundancia de biorreguladores. La asociación plátano-frijol reduce la ocurrencia de *Thrips palmi*, *Bemisia tabaci*, y *Empoasca kraemerien*; el frijol y la asociación yuca-frijol-maíz se mantiene en índices bajos la ocurrencia de *Erinnyis ello* y *Frankliniella* spp.; en la yuca, de *Thrips palmi*, *Empoasca kraemeri*, *Bemisia tabaci* en frijol y de *Spodoptera frugiperda* y *Ropalosiphum maydis* en maíz. La mayoría de los agricultores participantes entiende los efectos fitosanitarios de los policultivos, cuando se trata el tema principalmente de las barreras y asociaciones con maíz (barrera física y reservorio de biorreguladores); sin embargo, debido a que sus efectos no se observan con facilidad, generalmente no les atribuyen importancia.

Generalmente los policultivos no requieren de aplicaciones de plaguicidas, debido a que al disminuir la concentración de recursos, los organismos nocivos inciden menos. El acompañamiento de cultivos también es útil cuando se trasplantan frutales y especies forestales, ya que en su etapa inicial estos son vulnerables a determinados insectos nocivos que, al estar acompañados, se desorientan y no acuden. Los árboles de sombra intercalados en los cafetales (sistemas agroforestales) constituyen también eficientes sistemas de acompañamiento de cultivos (Vázquez *et al.*, 2012b).

La composición vegetal de la cerca o poste vivo perimetral debe integrar especies de árboles, arbustos, herbáceas, así como repelentes, barreras físicas y entomófilas, entre otras. Lo importante es que sea diversificada y que, en cada lado donde se ubique, esté compuesto por las plantas que mejor cumplan su función. La función de barrera es compatible con las otras, pero la de repelencia hace interferencia con la conservación de reguladores naturales y polinizadores. Por ello, las plantas que se utilizan para preparados botánicos y las repelentes se ubican en lados donde es necesaria esta función. En las cercas vivas internas que se utilizan en cuarterones de ganadería u otras, no se deben integrar

plantas repelentes ni para preparados botánicos (Vázquez, 2011c). Una de las especies cultivadas que ha sido atractiva para la entomofauna benéfica es el noni (*Morinda citrifolia* L.), especie que florece y fructifica durante todo el año, cuyas flores son visitadas frecuentemente por insectos reguladores naturales y polinizadores como: *Cycloneda sanguinea*, *Apis mellifera*, *Polistes cubensis* Lep., *Xylocopa cubaecola* Lucas y algunas especies de dipteros (Matienzo *et al.*, 2007).

Las barreras vivas, que son plantas que se siembran en hileras en lados de los campos, pueden cumplir funciones de barrera física a poblaciones inmigrantes de organismos nocivos, conservación de reguladores naturales o repelentes a insectos nocivos. También contribuyen a la conservación del suelo, incluyendo las que se intercalan cuando la topografía es irregular. Estas pueden ser de diferentes tipos, en dependencia de los servicios ecológicos y agronómicos que se pretendan lograr.

Igualmente, los corredores internos que son hileras de plantas que se siembran o plantan permanentemente, y que atraviesan la superficie de la finca para conectar internamente los campos de cultivos y las barreras vivas con las arboledas, los ambientes semi naturales y la cerca viva, por tanto, constituye un componente de gran importancia en el funcionamiento de la biodiversidad dentro de la finca. Sus servicios ecológicos son diversos, el principal es para el refugio, la alimentación, la multiplicación y el desplazamiento de reguladores naturales y polinizadores, entre otros elementos de la biodiversidad.

Integración del control mediante métodos ecológico

Para la lucha contra las plagas y enfermedades en la agricultura, se han desarrollado diversos tipos de productos y su tecnología de aplicación; ejemplo de lo cual son los plaguicidas químicos, los cuales son altamente efectivos contra las altas poblaciones de estos organismos nocivos, pero tienen un costo elevado y causan efectos colaterales no deseados sobre las personas, los animales domésticos y la biodiversidad, entre otros.

Por ello, en la transición de la agricultura, sea hacia sistemas orgánicos sostenibles de producción más limpia u otros, se requiere la integración de otros métodos de control, conocidos como alternativas (Vázquez y Alvarez, 2011) que, entre otras ventajas, tienen las siguientes:

- Menor efecto tóxico colateral (personas, animales de labores, biodiversidad).
- Cambios en la percepción de los agricultores (los plaguicidas químicos de alta eficacia no son la única opción).
- Cambios tecnológicos para los agricultores (existen otros productos que tienen diferentes mecanismos de acción y eficacia).
- Posibilidades de reducir gastos por insumos importados o fuera del sistema (producciones nacionales, locales y en el propio sistema de producción).
- Mayor compatibilidad ecológica (especies, ecotipos y cepas locales; productos menos tóxicos).
- Flexibilidad en las técnicas de aplicación (las mismas, adaptadas, rústicas, integradas al manejo del cultivo).

Respecto a los productos, adquieren relevancia los plaguicidas microbiológicos a base de hongos, bacterias y virus, y los bioquímicos a base de extractos de plantas; todos los cuales pueden ser elaborados en la propia finca o laboratorios ubicados en los sistemas agrícolas, de manera tal, que las producciones que se logren estén en función de las demandas.

Además, facilitan utilizar especies, cepas, variedades, etc. autóctonas o adaptadas a la localidad. Muchos de estos productos se pueden aplicar mezclados o en sistemas de aplicaciones secuenciales, de manera tal, que sus efectos son mayores.

También son muy factibles los artrópodos benéficos como los entomófagos, que son organismos que se pueden multiplicar (criar) masivamente en instalaciones sencillas (insectarios) para luego liberarlos en los campos y otras partes de la finca, con la ventaja de poder manejar

especies y ecotipos locales o mejor adaptados a las condiciones del sistema agrícola.

Muchos de estos “productos” ecológicos que se derivan de microorganismos o artrópodos, tienen la ventaja que pueden establecerse, de tal manera, que llega el momento en que no es necesario aplicarlos de nuevo. Desde luego, esto depende mucho del manejo que se haga de la finca, sobre todo de la biodiversidad y de las prácticas agronómicas.

De gran relevancia en el control ecológico son los abonos orgánicos, sean los que se aplican al suelo o los que se aplican al follaje de la planta, pues se conoce que estos no solamente tienen efectos nutricionales sobre la planta o de conservación y mejora del suelo, sino que también tienen efectos sobre las plagas y enfermedades, los cuales no son muy perceptibles porque son de baja magnitud, pero influyen y, en muchos casos, son de importancia, sea directamente sobre las poblaciones de plagas o sobre los reguladores naturales de estas.

Los métodos físicos también tienen importancia en el control o supresión de poblaciones de plagas, como son las trampas, cuando se emplean masivamente para capturar (reducir) poblaciones de plagas, las casas de malla para producir plántulas o para los cultivos, por impedir la entrada de poblaciones de plagas, entre otros.

También se han desarrollado otros métodos de control de plagas del suelo como la solarización, la biofumigación y sus combinaciones, los cuales se están desarrollando como muy efectivos.

Tradicionalmente se emplean diferentes tipos de trampas, principalmente rústicas (recipientes plásticos de desecho), en unos casos, con atraentes sintéticos y naturales, en otros combinadas con bioplaguicidas.

Referencias bibliográficas

- Altieri, M. A., (1994). Bases agroecológicas para una producción agraria sustentable. *Agricultura técnica*. Chile. 54(4):371-386.
- Altieri, M. A. y C. Nichols, (2007). Biodiversidad y manejo de plagas en agroecosistemas. *Perspectivas agroecológicas* No. 2. Ed. Icaria. Barcelona. 247p.
- Altieri, M. A., (2010). El estado del arte de la agroecología: revisando avances y desafíos. En: *Vertientes del pensamiento agroecológico: fundamentos y aplicaciones*. Leon y Altieri (eds). IDEAS No. 21. Instituto de Estudios Ambientales. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. pp. 77-104.
- Andrews, K. L., (1989). Introducción a los conceptos del Manejo Integrado de Plagas. En: *Manejo Integrado de plagas insectiles en la agricultura. Estado actual y futuro*. EAP. El Zamorano. Honduras. pp. 1-20.
- Howell, H. N. y K. L. Andrews, (1987). Utilización de prácticas culturales en manejo integrado de plagas. *Manejo Integrado de Plagas* No. 4. pp. 1-16.
- Landis, D. A., S. D. Wratten y G. A. Gurr, (2000). Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Ann. Rev. Entomol.* 45: 175-201.
- Matienzo, Yarii, (2007). Prácticas agroecológicas para la conservación de la fauna benéfica en sistemas agrícolas urbanos. En: *Memorias Curso Taller Producción Local de Entomófagos*. INISAV. La Habana. pp: 6-17.
- Nicholls, C., (2010). Bases agroecológicas para diseñar e implementar una estrategia de manejo del hábitat para control biológico de plagas. En: Leon y Altieri. (eds). IDEAS, No. 21. Instituto de Estudios Ambientales. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. pp. 203-225.
- Nicholls, C. I., M. P. Parrella y M. A. Altieri, (2001). Effects of a vegetational corridor on the abundance and dispersal of insect biodiversity within a northern Californian organic vineyard. *Landscape Ecology* 16: 133-146.

- Pérez, N., y L. L. Vázquez, (2001). Manejo ecológico de plagas. En: Transformando el campo cubano. Avances de la Agricultura Sostenible. ACTAF (ed). La Habana. pp. 191-223.
- Perfecto, I., J. Vandermeer y A. Wright, (2009). Nature's Matrix. Linking agriculture, conservation and food sovereignty. Earthscan (ed). London. Sterling. 242 p.
- Price, P. W., C. E. Bouton, P. Gross, B. A. McPherson, J. N. Thompson, y A. E. Weise, (1980). Interactions among three trophic levels: influence of plants on interaction between insect herbivores and natural enemies. *Ann. Rev. Ecol.* 11: 41-60.
- Rosset, P., (1998). La crisis de la agricultura convencional, la sustitución de insumos y el enfoque agroecológico. Policy Brief. Institute for food and Development Policy. Food First. California USA. 15 p.
- Vandermeer, J., (1981). The interference production principle: an ecological theory for agriculture. *BioScience* 31: 361-364.
- Vázquez, L. L., (2006). La lucha contra las plagas agrícolas en Cuba. De las aplicaciones de plaguicidas químicos por calendario al manejo agroecológico de plagas. *Fitosanidad* 10 (1): 221-241.
- Vázquez, L. L., (2007). Desarrollo del manejo agroecológico de plagas en los sistemas agrarios de Cuba. *Fitosanidad* 11(3): 39.
- Vázquez, L. L., (2008). Manejo integrado de plagas. Preguntas y respuestas para técnicos y agricultores. Nuevo Milenio (ed). 486 p.
- Vázquez, L. L., Y. Matienzo, M. Veitía y J. Alfonso, (2008). Manejo y conservación de enemigos naturales de insectos fitófagos en los sistemas agrícolas de Cuba. CIDISAV (ed). 202 p.
- Vázquez, L. L. y J. M. Alvarez, (2011). Control ecológico de poblaciones de plagas. CIDISAV. (ed). 134 p. La Habana.
- Vazquez, L. L., (2011a). Supresión de poblaciones de plagas en la finca mediante prácticas agroecológicas. Preguntas y respuestas para facilitar el manejo sostenible de tierras. INISAV-CIGEA-FAO-GEF-PNUD. 233 p.
- Vázquez, L. L., (2011c). La cerca viva perimetral de la finca como práctica agroecológica en el manejo de plagas. En: Manual para la adopción del manejo agroecológico de plagas en fincas de la agricultura suburbana. INISAV-INIFAT. (ed). La Habana. Vol I, pp. 69-83.

- Vázquez, L. L., (2012a). Transición del manejo de plagas en la producción agropecuaria en Cuba. Revista Agricultura orgánica. ACTAF (ed). La Habana. 18 (2): 21-25.
- Vázquez, L. L., Y. Matienzo, J. Alfonso, M. Veitía, E. Paredes y E. Fernández, (2012b). Contribución al diseño agroecológico de sistemas de producción urbanos y suburbanos para favorecer procesos ecológicos. Revista Agricultura Orgánica. La Habana. 18 (3): 14-18.
- Veitía, M., H. Paredes, S. Pérez y L. L. Vázquez, (2004). Diagnóstico de la usanza de los policultivos por los agricultores del municipio de Alquizar, La Habana y su percepción sobre los efectos fitosanitarios. En: V Seminario Científico Internacional de Sanidad Vegetal. La Habana. pp: 21-23.

Referencias electrónicas

- Vázquez, L. L. y F. Funes, (2008). Preguntas y respuestas sobre agricultura sostenible. Una contribución a la transformación de los sistemas agrícolas sobre bases agroecológicas. Ed. ACTAF. La Habana. 21p. 16 de abril de <http://www.inisav.cu/publicaciones/otras>. Consulta: 2011.
- Vázquez, L. L. (2011b). La producción agropecuaria con “paquetes tecnológicos” llamados de “punta”, un mito similar a los “espejitos de los colonizadores”. Rebelión 26/4/2011. <http://www.rebelio.org>. 4p. Consulta: 2011.

Capítulo 11. Diversidad de chile (*Capsicum* spp.) en México y su colocación en mercados nacionales e internacionales

Introducción

Es conocida la gran diversidad de fitorecursos que poseen varias regiones geográficas del mundo, entre ellas México, que cuenta con una alta diversidad entre otros de *Capsicum* (chile) con sus muchas especies y variedades y del cual Vavilov (1931 y 1951) consideró que tuvo su centro de origen y domesticación en el continente americano. Evidencias arqueológicas mencionadas por Long (1986) indican su presencia desde la Época Incipiente (7000-2555 a. C.) en el valle de Tehuacán, Puebla y en Ocampo, Tamaulipas.

Desde el punto de vista cultural y étnico, el peso e importancia que tuvo el chile desde la época prehispánica, quedó plasmado en muchísimas obras arqueológicas y estéticas, basta retomar la información que brinda Long (*op. cit.*), acerca de la existencia de un glifo grabado en el centro ceremonial zapoteco de Oaxaca, de la Época Monte Albán II (300-200 a. C) que según Caso (1965, citado por Long *op. cit.*), representa un cerro o un montículo, con una planta de chile de la que penden tres frutos claramente diseñados y, cerca de éstos, una cabeza humana bellamente adornada con un tocado de un valiente guerrero.

Mesoamérica fue también centro de origen y domesticación de frutos, hortalizas y granos diferentes, entre ellos: aguacate, infinidad de anónáceas, sapotáceas, nopales y tunas, así como amaranto, huauzontle, "jitomate" (hoy tomate para el mundo), calabaza y desde luego de

maíz y frijol que, junto con el chile y la chía, eran consumidos ya desde la época prehispánica y con estos últimos se iniciaba el “trueque”, intercambio, o lo que podría ser una cierta “comercialización” entre las comunidades de aquellas grandes culturas, al intercambiarlos por la sal, entre otros productos (Reyna *et al.*, 2006). Agregan que con las especies de chiles o “ajíes picantes” de la familia Solanácea y sobre todo de *C. annuum*, durante la Conquista, realmente se conoció la riqueza del mismo y otros vegetales del Nuevo Mundo y se dio, entre éste y el Viejo Mundo, una fuerte transculturización e intercambio de productos.

Longar (2001), cita que en la Nueva España, contando con la influencia de las órdenes religiosas de los dominicos, franciscanos, agustinos y otros, se incrementaron y desarrollaron notablemente los huertos familiares (fuente inagotable de germoplasma hasta nuestros días), se organizó el cultivo masivo de muchos vegetales y, por tanto, el comercio local, regional y externo, llevándose el chile a España, Portugal y otras áreas menores de Europa.

En el mundo actual, la diversidad de *Capsicum* y muchas especies taxonómica y sistemáticamente es ya conocida: *C. annuum*, *pubescens*, *chinensis*, *frutescens*, solo por mencionar algunas y de las variedades que se encuentran distribuidas en mayores o menores superficies de Cuba, por ejemplo, el conocido regionalmente “Cachuchita”, así como del Norte y Centro de Centroamérica, Sudamérica, de países asiáticos, africanos y aun europeos.

Las primeras especies mencionadas son picantes y deben esta cualidad a los altos contenidos de capsiacina y, además, poseen vitamina C, caroteno (provitamina A) y en menores cantidades de B1, B2 y PP. El aroma característico es proporcionado por aceites esenciales cuyas proporciones difieren en cada una de las variedades. En tanto que *C. frutescens* son chiles dulces, conocidos genéricamente como “pimientos” que, por su sabor suave, encuentran hoy en día los mejores mercados en Estados Unidos de América (EUA) y Europa.

Los usos son múltiples, se les consume frescos, en ensaladas, cocinados de diferentes formas para darles sabor a los platillos, encurtidos, deshidratados y en polvo, secos, en pastas, procesados para rellenar aceitunas, para confeccionar quesos con sabor picante o suave, según sea la variedad empleada; o bien, los tipos largos y carnosos, no picantes, cultivados especialmente en Europa Central para producir “paprika”, empleada para dar sabor y color al agregarse a los alimentos. En los últimos tiempos, se les ha dado cierta importancia en la industria de los cosméticos para la elaboración de cremas y shampoos, así como en medicina tradicional y farmacéutica, como ingredientes de algunas pomadas y geles contra la relajación muscular y dolores reumáticos, o en cápsulas y gotas; estas últimas, preparadas con chile cayenne, ya sea solo o adicionado con ajo, para “prevenir o controlar enfermedades”; sin embargo, y a pesar de ya estar a la venta en EUA y, a solicitud expresa éstas, pueden ser enviadas a otros países. Su presencia en los mercados no está evaluada por la Food and Drug Administration (FDA, 2012), ya que se desconoce para cuáles enfermedades diagnosticadas o para cuáles prevenir, en qué forma y con qué dosis debe llevarse su tratamiento (Herbal Natural Products & More, 2012).

Objetivos: en el presente estudio se ha enfatizado la importancia de esta hortaliza (condimento) en la cadena alimentaria y tiene como objetivos fundamentales los siguientes: Confirmar sobre todo la gran diversidad y riqueza de *C. annuum* en México. Conocer la distribución del chile en el país y detectar especialmente los estados altamente productores. Analizar en una primera instancia las condiciones generales que guarda en los mercados locales, regionales, nacionales e internacionales, y valorar la inocuidad y calidad requeridas para su aceptación en los mercados internacionales.

Metodología: cubre los siguientes rubros: (1) búsqueda bibliográfica existente para Mesoamérica, el Caribe y aún para otros continentes e intensiva para México; (2) realización de trabajo de campo en algunas entidades productoras durante los ciclos productivos primavera-verano y otoño-invierno; (3) aplicación de encuestas previamente diseñadas tanto en campo como en algunos grandes centros de abasto:

Centrales de Abasto de la Ciudad de México, Celaya, Guadalajara y otros menores como Querétaro, Colima y Xochimilco.

Se evaluó el cumplimiento de los requisitos de inocuidad y calidad alimentaria obligatorio, según los Acuerdos de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias de la Organización Mundial del Comercio (OMC 2005-2011), a partir del procesamiento estadístico de la información publicada por la (FDA) de los EUA, sobre las causas de rechazo de los chiles frescos y procesados de origen mexicano, durante los periodos correspondientes a junio 2004 - enero 2006, abril 2006 – abril 2007 y enero-junio 2008.

Resultados

Distribución y producción de Capsicum spp. en el mundo

Valores numéricos y análisis estadísticos proporcionados por diferentes instituciones, entre ellas: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2002, 2008 y 2011), Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2002), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP, 2002, 2010), así como estudios de varios especialistas cuyas líneas de investigación son las hortalizas y dentro de éstas especialmente los chiles, Rincón *et al.* (2004).

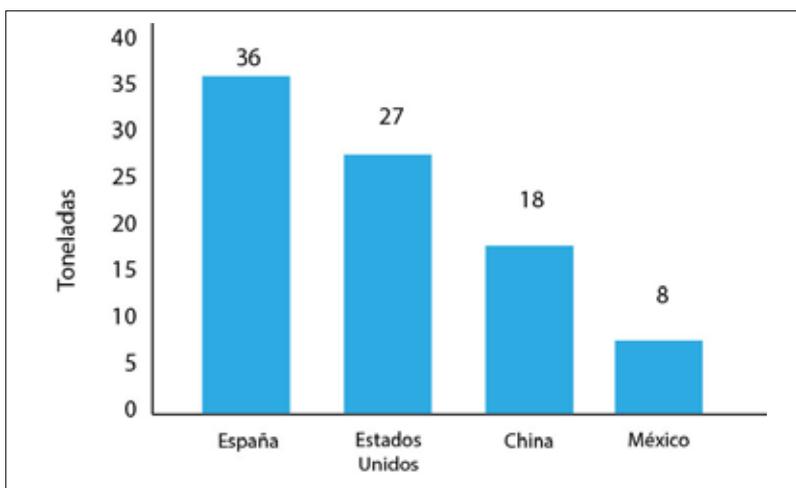
Reyna (2004-2006, 2008) con información directa de campo, Reyna (2005) y Reyna y Cañet (2008), permite concluir lo siguiente: Los seis principales productores de chile en el mundo (periodo 1992-2001) fueron China, seguido de México, Nigeria, Turquía, Estados Unidos y España (Cuadro 1).

En cuanto a rendimiento por hectárea FAO (2002), notifica que en España se obtuvieron aproximadamente 36 toneladas por hectárea, 27 en EUA, 18 en China y ocho en México (Figura 1).

Cuadro 1. Principales países productores de chile en el mundo (1992-2001).

País	Superficie cosechada (miles de hectáreas en promedio)	Producción (millones de toneladas)
China	346 000	6 300 000
México	116 000	1 313 000
Nigeria	80 000	661 000
Turquía	62 000	1 181 000
Estados Unidos	2 600	726 000
España	2 400	848 000

Fuente: SAGARPA (2002, 2008 y 2011), FAO (2002), INIFAP (2002, 2010) Rincón *et al.* (2004). Reyna (elaboración propia, 2008).



Fuente: FAO (2002), Reyna, (elaboración propia, 2011).

Figura 1. Rendimientos (aproximados) de Capsicum spp en países productores.

En los últimos diez años, China sigue manteniendo el liderazgo aun cuando Brasil empieza a competir con una considerable superficie sembrada (INIFAP, Campo Experimental Zacatecas, 2006). A nivel mundial, ha sido notable el aumento tanto en superficie como en cantidad, de los chiles que se cultivan para abastecer la aceptación que tienen entre la cada vez mayor cantidad de consumidores, lo mismo en verde o en fresco que en seco y sus derivados.

En Mesoamérica se observa que es México el que cuenta con mayor riqueza, sobre todo de las especies y variedades picantes y que, en este país y en algunos otros latinoamericanos, se consumen primordialmente por fuertes razones culturales tal como lo señala Long (1986), razón que se da escasamente en los países caribeños, asiáticos y africanos; sin embargo, en la actualidad, y ante los retos que representa la autosuficiencia alimentaria, los requerimientos que demandan los consumidores del mundo de nuevos productos con otros colores, formas y sabores, el consumo se ha incrementado hasta en países desarrollados: EUA, Canadá y algunos europeos, que si bien siguen prefiriendo los dulces, la mayor población inmigrante reclama los picantes.

Colocación del chile en mercados mundiales

En el comercio mundial, la mayor colocación se tiene en los países que lo industrializan, muchos de los latinoamericanos dedican la mayor parte de la producción al mercado nacional para su consumo en verde y el resto para la industrialización; algunos asiáticos y africanos los destinan a los mercados internos, en tanto que en los desarrollados, con la utilización de sofisticados paquetes tecnológicos y alta mecanización para la obtención de productos industrializados, que después exportan a otros países dentro de los mismos continentes, México guarda una posición intermedia, (SAGARPA, 2008).

Las importaciones y exportaciones han ido en aumento, particularmente en España, México, EUA y Holanda que, en conjunto, exportan el 80% de la producción total mundial; este último país, obtiene anualmente una producción cercana a 240 000 toneladas e importa al año cerca de 1 000 para, posteriormente, exportarlo enlatado (90%) a países del resto de la Unión Europea, a mercados asiáticos, EUA y a algunos latinoamericanos; curiosamente, su población no se caracteriza por ser consumidora de esta hortaliza ni en fresco ni enlatado. Sus principales importadores son países europeos, entre ellos: Alemania y Francia y de los americanos EUA y Canadá, que compran el producto en forma de materia prima, sobre todo, de variedades poco picantes y, en cantidades menores, de picantes, (SAGARPA, 2008).

Diversidad y sistema producto chile en México

A diferencia del posicionamiento que guardaba el país como productor hasta 2004, el Consejo Nacional de Productores de Chile (CONAPROCH, 2006), mostró su preocupación dado que se alejaba cada vez más de China, después de ser el segundo productor, hecho que se venía dando desde que se firmó el Tratado de Libre Comercio.

Actualmente, México ocupa el cuarto lugar mundial y el primero en el continente americano como productor y exportador de hortalizas (Financiera Rural, 2012). En el territorio mexicano, se producen alrededor de setenta variedades, esto se debe en gran parte, a la diversidad de climas, suelos y en sí a los ecosistemas que posee, lo que coadyuva en que la producción prácticamente se sostenga todo el año.

Entre las hortalizas más importantes y rentables están el “jitomate” (tomate rojo para el mundo en general) y el chile, la producción de este último se destina para su consumo en las dos modalidades, chile verde o fresco y chile seco (Figuras 2 y 3), para ello, las variedades o cultivares (término agronómico comúnmente empleado en el campo mexicano) sembradas para un fin u otro son específicas.

En los huertos familiares o de traspatio, en superficies reducidas donde se está haciendo agricultura urbana, o aun en macetas o pequeños recipientes, se detectaron, en las treinta y dos entidades del país diversos chiles sembrados que son para autoconsumo y reciben nombres regionales específicos (Cuadro 2).

En uno de estos estados (Tamaulipas), los campesinos mediante trabajo de campo y comunicación personal (2006-2008), informaron que hay muchas zonas donde existen más de sesenta cultivares con diferentes grados de picor, en tanto que el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 1997), mencionó en aquel momento que, de las más de cien especies entre picantes y dulces del género *Capsicum*, cinco son las más cultivadas en el mundo y es *annuum* la que ocupa mayores superficies y es también la más rica en



Figura 2. Chiles serranos en el Campo Experimental INIFAP, de Zacatecas.

Fotografía: Teresa Reyna.



Figura 3. Chiles secos en el mercado de Xochimilco, D.F.

Fotografía: Teresa Reyna y Sonia García.

variedades; situación común en México donde se ha dado, entre las cultivadas, una alta y constante hibridación por lo que no se duda que su agrobiodiversidad sea cada día mayor. En el mismo cuadro, se muestra sintéticamente la gran diversidad y riqueza de este fitorecurso, tanto de chiles nativos o criollos, como de cultivados con *C. annuum* con que cuenta el país.

Cuadro 2. Algunas variedades de chile en México.

Nativos	Cultivados	
	Verdes o frescos	Secos
Chilchote	Jalapeño	Ancho
Tomachile	Serrano	Pasilla
Chiltepe	Poblano	Chipotle
Chiltepin	Chilaca	Morita
Amash	Manzano	Mirasol
Amono	Habanero	Cascabel
Balín	Pimiento bell	De árbol
Catarino	California	Puya
Chilaile	Anaheim	Mulato
Miracielo	Fresno	Piquín
Chilpaya	Caricillo	Guajillo
Chile brujo		
Costeño		
N denominaciones locales y regionales a las que en general les llaman "criollas"		

Fuente parcial: Laborde y Pozo (1984), elaboración propia (trabajo de campo, encuestas Centrales de Abasto de la Ciudad de México, Celaya, Guadalajara 2004-2008, 2011). Mercado de Xochimilco, 2014.

Distribución y producción de chile verde o fresco (Cuadro 3)

Desde 1980-2006 el SIACON (2011) registra particularmente para el año 2005, que la producción de chile verde, tanto de riego como de temporal, fue muy fuerte sobre todo en las regiones noroeste-noreste del país, incluyendo en éstas los estados de Chihuahua, Sinaloa y Tamaulipas, entre otros, así como en el Bajío (Zacatecas, San Luis Potosí y Guanajuato). Al analizar la producción nacional en este año, se observa que fue de 2.023.4 miles de toneladas y la aportación a ésta de los cuatro estados más altamente productivos fueron las siguientes: Sinaloa (470 toneladas), Chihuahua (375), Zacatecas (317) y San Luis Potosí (127), respectivamente (Figura 4).

En ese mismo año, el valor total de la producción nacional en millones de pesos fue de 9.852, contribuyendo con éste Zacatecas (1.793), Sinaloa (1.647), Chihuahua (1.484) y San Luis Potosí (587), periodo en el que el precio medio rural nacional fue de 4.869 pesos por tonelada.

A escala nacional, la mayor producción de chile verde contempla una mediana o elevada tecnificación y aproximadamente el 90% se siembra bajo riego, con lo que se obtiene más o menos el 92% de la producción y, en el 10% sembrado en temporal, el restante 8% de la producción. En los cuatro estados antes mencionados, es donde el manejo bajo estas condiciones se da preferentemente.

Cuadro 3. Principales indicadores de chile verde (riego y temporal) 2004-2006

Año	Superficie Sembrada (ha)	Volumen (miles de toneladas)	Rendimiento (ton/ha)	Valor de la producción (millones de pesos)
2004	146.758.5	1.864.9	13.4	11.021.2
2005	162.837.4	2.023.4	13.4	9.852.0
2006	158.743.2	2.054.6	13.5	8.047.1

Fuente: Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON), (1980-2006, 2011). Reyna, (elaboración propia, 2011).



Fuente: SIACON (2005). Reyna, (elaboración propia, 2011).

Figura 4. Producción de chile verde (riego y temporal 2005).

Estas entidades tienen esquemas productivos donde se manejan cultivos de alto valor comercial y elevado volumen de producción. Hacen una combinación de agricultura extensiva e intensiva en grandes superficies dedicadas a la siembra y con altos insumos para la producción, utilización de numerosa mano de obra, aplicación de productos fitosanitarios muchas veces en ambientes controlados, fuertes inversiones de capital; entre otras, para instalaciones de invernadero y cultivos hidropónicos, aunque todavía no son muy comunes.

SIACON considera que la producción en invernadero podría ser mayor y con mayores beneficios, aun cuando los costos son más elevados en energéticos; no obstante, la demanda es creciente, habría una demanda creciente y mayor control ambiental, el uso del agua sería más eficiente, la producción continua y la generación de empleos lo sería también.

Ciclicidad de la producción

En la mayoría de las entidades, la producción es definitivamente mayor en el ciclo primavera-verano, caso típico de Chihuahua y Zacatecas. No

así la de Sinaloa y, en algunos años, la de San Luis Potosí que es más alta en otoño-invierno.

Siniestros para el cultivo

En éstos están considerados los naturales y los choques exógenos que afectan al cultivo y provocan pérdidas recurrentes en la producción. Los más frecuentes son por plagas, enfermedades y eventos meteoroclimáticos: sequías, inundaciones, granizadas, heladas, entre otros.

Las plagas más comunes, tanto en chile fresco como en seco son: pulgones, mosquita blanca, gusanos trozadores; los primeros, a su vez, pueden ser transmisores de virosis y en la actualidad para combatirlos se utilizan diversos insecticidas en dosis y épocas también diversas.

Enfermedades. En muchas ocasiones, los agricultores adquieren las semillas y/o plántulas y desconocen su procedencia, si éstas no están certificadas pueden ser portadoras de enfermedades y, hasta ahora, la que causa mayores pérdidas son ocasionadas por *Phytophthora capsici*, la cual se conoce como "tristeza", la "marchitez" o "secamiento"; aunque también es producida por un complejo de hongos y, ambas, son comunes cuando hay exceso hídrico en suelos previamente contaminados por hongos; para ello, se aplican altas dosis de fungicidas que ni atacan al organismo y pero sí provocan daños al medio ambiente al igual que cuando se aplican herbicidas para eliminar las malezas.

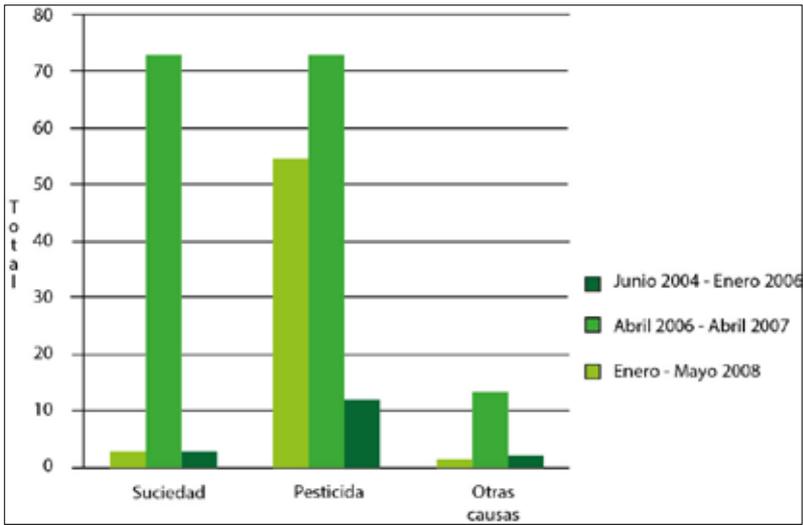
SIACON (1980-2006) aplica el índice de siniestralidad nacional (entre cero y uno) para chile verde, éste se ha mantenido más o menos constante entre 0.04 y 0.06. En los estados altamente productores, los índices aún son más bajos del valor medio. El riesgo de siniestralidad de la producción de temporal puede, en general, hasta duplicarse respecto a la de riego, lo que repercute en la evaluación para otorgar los apoyos crediticios al campo.

Colocación del chile verde o fresco en mercados mexicanos e internacionales

La mayor producción en esta presentación se queda para abastecer el mercado nacional, en donde prácticamente se cubren las necesidades de consumo. Un porcentaje menor es exportado a EUA, principalmente a aquellos estados donde radica una alta población de inmigrantes mexicanos y algunos centroamericanos que demandan las variedades picantes. En cantidades menores, va a Canadá y en algunos años inclusive, ha sido comercializado a Nicaragua, Honduras y El Salvador; en los últimos tiempos, estos dos últimos países han sembrado y cosechado chiles picantes y no han tenido necesidad de comprar a México, sino que algunos excedentes de su producción fueron exportados a otros países. Las variedades más buscadas son entre otras: serrano, jalapeño, poblano, de árbol, manzano y habanero; la mayor producción de éstos llega a los grandes centros de abasto: de la Ciudad de México, Guadalajara, Celaya y León, entre otros, y de ahí son distribuidos a mercados menores, locales o regionales. La mayor superficie sembrada ocupa el ciclo primavera-verano, cuyos rendimientos quedan expuestos, en gran parte, a las condiciones climáticas temporales; en tanto que en el ciclo otoño-invierno, se controlan con mayor eficiencia los factores agroecológicos. Las fluctuaciones medioambientales repercuten indudablemente en los precios que alcanza el chile en mercados nacionales e internacionales.

Factores de inocuidad y calidad que limitan la comercialización internacional

Al no cumplirse con los Reglamentos Vigentes y aspectos técnicos que garanticen la calidad e inocuidad de los frutos y hortalizas para exportar, la FDA aplica rechazos y éstos no entran a los mercados internacionales. A manera de ejemplo y con la información disponible, se analizaron y cuantificaron estos rechazos para los tres periodos siguientes (Figura 5).



Fuente: Reyna T., T. y F. Cañet P., (2008).

Figura 5. Rechazos por FDA de chiles frescos

De Junio 2004 a enero 2006, por suciedad (33 casos rechazados); por exceso de pesticidas (73) y por otras causas (14), entendiéndose por éstas (Cañet y Reyna, 2008) la presencia de aditivos peligrosos; la falta de firma y etiquetado en inglés; por motivo sanitario, es decir, que registraron alguna contaminación biológica (presencia de hongos, bacterias, huevecillos de parásitos, etc.), que pueden ocasionar problemas de salud a los consumidores.

De Abril 2006 a abril de 2007, se tuvieron rechazos por suciedad (3), por pesticida (54) y otras causas (1); en tanto que, para enero-mayo de 2008, por suciedad (3), pesticidas (11), y por otras causas (2), en este caso en particular, las causas de rechazo fueron debidas a que las rajitas de chile jalapeño estaban mal procesadas y no guardaban las mismas dimensiones del corte. Es importante señalar, que en los periodos analizados el exceso de pesticidas fue la causa total más alta de los rechazos (138), en orden decreciente la suciedad y, por otras causas, estos rechazos estuvieron casi siempre aplicados a chiles jalapeños, serranos y habaneros.

Noticias interesantes sobre chiles frescos y secos

En el “Foro Frutas y los Talleres Sanidad e Inocuidad, México Calidad Suprema”, M. Villegas (2006) presentó, en el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura de Costa Rica, noviembre de 2006, los avances y resultados obtenidos por México Calidad Suprema Asociación Civil, que se integró “sin fines de lucro, por productores, empaques y sus organizaciones, con el fin de coadyuvar con el Gobierno Federal en el desarrollo y fortalecimiento de la competitividad del campo mexicano a través de la información, difusión, capacitación, certificación, promoción y uso de la Marca Oficial México Calidad Suprema”.

Esta marca se apega a los requisitos establecidos por SAGARPA (2011), para cualquier producto. Los de calidad: color, tamaño y sin defectos. Los fitozoosanitarios, los de inocuidad y la aplicación de Buenas Prácticas Agrícolas (BAP) y de Manufactura (BPM). México Calidad Suprema cuenta con la certificación de los chiles verdes o frescos: pimiento, manzano, habanero y de otros chiles (no se notifica cuáles). De los secos: chipotle, pasilla, mulato y ancho. Así como de la pasta elaborada con diversos chiles secos, conocida comúnmente como “mole”, producto agroindustrial con un alto valor agregado y cultural, que es a nivel mundial un referente de México. Tan es así, que año con año en el pueblo de San Pedro Actopan, de la Delegación Milpa Alta de la Ciudad de México, se celebra cada año la Feria Nacional del Mole, (Mora y Gallardo, 2007), donde se pueden consumir más de 60 platillos preparados a base del tan famoso y tradicional ingrediente.

224

El Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI, 2010), otorgó la Declaración General de Protección de la Denominación de Origen “Chile Habanero de la Península de Yucatán”, misma que fue publicada por la Secretaría de Gobernación en el *Diario Oficial* el 4 de junio de 2010.

En la Península de Yucatán, queda incluida la producción total del chile habanero obtenida en los territorios de los estados de Campeche, Quintana Roo y Yucatán.

Cumplimiento de las normas mínimas para la exportación

Los resultados de esta investigación, indicaron que existen productores-exportadores de frutas y hortalizas, que deben prestar mayor atención a la implantación de Buenas Prácticas Agrícolas y de Manufactura (BPA y BPM) en toda la cadena agroalimentaria, según lo recomendado por la Comisión del Codex Alimentarius (2011), para poder acceder al mercado internacional, entre las que destacan: que las frutas y hortalizas frescas deben estar enteras, de consistencia firme según el tipo de producto, sanas, libres de podredumbre, moho o deterioro que haga que no sean aptas para el consumo, así como prácticamente exentas de daños mecánicos, desgarraduras, magulladuras, carentes de cualquier materia extraña visible (excepto aquellas sustancias permitidas que prolonguen su duración en almacén), de plagas que afecten el aspecto general del producto y daños causados por éstas, como por ejemplo, de humedad anormal (salvo la condensación consiguiente a su remoción de una cámara frigorífica), así como también, de cualquier olor y/o sabor extraño (excepto el olor causado por los conservadores utilizados de conformidad con el reglamento correspondiente del Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA, 2011), y presentar el color de la pulpa característico del producto. Este Comité se ha venido reuniendo desde 1956; inicialmente, para evaluar la calidad e inocuidad de los aditivos alimentarios y, actualmente (2012), dentro de la calidad se considera incluida la inocuidad.

Los productos tienen que ser recolectados cuidadosamente después de alcanzar un grado apropiado de desarrollo fisiológico, teniendo en cuenta las características de la variedad y de la zona en que se produzcan.

El desarrollo y condición del producto deberán ser tales, que le permitan soportar el transporte y la manipulación, y llegar en estado satisfactorio al lugar de destino, además de estar clasificados por tamaño o peso.

Envasarse de manera que el producto quede debidamente protegido. Los materiales utilizados en el interior del envase deberán ser nuevos o recuperados de calidad alimentaria, estar limpios y ser de una calidad que evite cualquier daño externo o interno al producto. Se permite el uso de papel o sellos con especificaciones comerciales, siempre y cuando estén impresos o etiquetados con tinta o pegamento no tóxico. Los productos deberán disponerse en envases que se ajusten al Código Internacional de Prácticas Recomendado para el Envasado y Transporte de Frutas y Hortalizas Tropicales Frescas (2012).

Es importante destacar que, como requisitos adicionales, los exportadores de alimentos deben cumplir con otras especificaciones de calidad e inocuidad, entre ellas, tener certificado de implementación de protocolos de Buenas Prácticas Agrícolas y de Manufactura, normas ambientales y otras, exigidos por los países importadores o empresas privadas, que dominan las relaciones de gobernanzas de los canales de comercialización (Gereffi *et al.*, 2005). En el caso de México, como parte del apoyo de la SAGARPA (2011) y sus dependencias, a los productores hortofrutícolas en la implantación voluntaria de BPA y BPM, el Comité Estatal de Sanidad Vegetal (CESVVER, 2011), dentro del Programa de Sanidad e Inocuidad Agroalimentaria de la "Alianza para el Campo" (SENASICA, 2011), ejecuta para ellos en todo el país el Subprograma de Inocuidad de Alimentos y Componentes Agrícolas, el cual es operado por los Comités Estatales de Sanidad Vegetal (CE-SAVE, 2012).

226

En el país, es importante también la obtención del Certificado de Origen de los Productos a Exportar, es otorgado por la Secretaría de Economía, el cual garantiza que el producto es mexicano.

Conclusiones

México, cuarto productor mundial de chile, cuenta con una gran riqueza y diversidad, la especie más abundante y ampliamente cultivada en el territorio nacional es *C. annuum* con un alto número de variedades picantes; aunque también, en superficies menores y regiones

de la Península de Yucatán, *C. chinensis* es de una fuerte importancia económica y étnica.

El consumo y uso de este fitorecurso es en fresco, seco y en los productos agroindustrializados derivados de los mismos. Su colocación a nivel nacional está asegurada y se le considera como un mercado maduro.

Algunas especies y variedades son apreciadas y están posicionadas en mercados externos, principalmente de EUA, Canadá y, en algunos mercados europeos, como los de España, Holanda y Alemania, la (Organización Mundial del Comercio, OMC, del 2005 al 2011). Principalmente para mantenerlos y fortalecer la potencialidad de abrir nuevos mercados, México debe subsanar los Obstáculos Técnicos para el Comercio, asegurar la inocuidad y la calidad, dado que las principales causas de rechazo de los chiles mexicanos en el mercado de los EUA, fueron la contaminación por pesticidas y por suciedades asociadas a la deficiente aplicación de las BPA y BPM.

México también debe mejorar los niveles de productividad, hacer más eficiente el manejo del recurso hídrico, dado que la mayor producción de chile se obtiene en zonas bajo cultivo de riego y en general en éstas, las precipitaciones son bajas y con marcada variabilidad anual.

Al mantener en su conjunto la sostenibilidad ambiental y cumplir con los requisitos exigidos por cada mercado, se incrementará esta fuente socioeconómica que en el presente se observa como promisoría.

Referencias bibliográficas

- Gereffi, G. H., J. Humprey y T. Sturgeon, (2005). The governance of global value chains, *Review of International Political Economy*. Vol. 12, No.1. pp. 78-104.
- Laborde, J. A. y O. Pozo C. (eds.), (1984). *Presente y pasado del chile en México*, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (SARH-INIA), Publicación especial No. 85. México. 80 p.

- Long-Solís, J., (1986), *Capsicum y Cultura*, Historia del chili, Fondo de Cultura Económica, México. 181 p.
- Longar, B. M. P., (2001). *Pérdida y rescate de la diversidad biológica en especies frutales de los estados de Puebla (S. O.) y Morelos (N. E.), México*, tesis de Doctorado en Ciencias (Biología). Facultad de Ciencias, UNAM. 248 p.
- Mora, V. T. y E. Gallardo G., (2007). Ferias populares de los pueblos originarios de la Ciudad de México. En: *Los pueblos originarios de la Ciudad de México, Atlas Etnográfico*. Mora, V. T. (coord.). Gobierno del Distrito Federal, Instituto Nacional de Antropología e Historia. pp. 13-43.
- Reyna, T. T., (2005). Importancia del chile *Capsicum annum L.* como recurso alimentario. *El Faro*. UNAM. Año: V, No. 54. México. p.13 - 14.
- Reyna, T. T., S. L. García B. y C. Neri G., (2006). Biodiversidad y colocación del chile *Capsicum annum L.* en mercados nacionales e internacionales, *XVII Congreso Nacional de Geografía. Acapulco, 2006*. Resumen, Instituto de Geografía, UNAM. 27 p.
- Rincón, V. F., F. Echeverría. CH., A. Rumayor. R., J. Mena. C., A. Bravo. L., E. Acosta. D., J. L. Gallo. D. y H. Salinas G., (2004). *Cadena de sistemas agroalimentarios de chile seco, durazno y frijol en el estado de Zacatecas*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, INIFAP. Región Norte Centro-C. Exp. Zacatecas, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, SAGARPA. Publicación especial 14. 157 p.
- Vavilov, N. I., (1931). Mexico and Central America as the principal center of origin of cultivated plants, *The New World Bull. Appl. Bot. Gen. Pl. Breed*, USA. 26:135-199.
- Vavilov, N. I., (1951). The origin, variation immunity and breeding of cultivated plant, *ChronicaBotanica*, Waltham, USA. 185 p.

Referencias electrónicas

Codex Alimentarius Commission. <http://www.codexalimentarius.net>.
Consulta: 2011

Código Internacional de Prácticas Recomendado para el Envasado y Transporte de Frutas y Hortalizas Frescas CAC/RCP, 44/2005. http://s3.esoft.com.mx/esofthands/include/upload_files/4/Archivos/Codigo%20para%20el%20Envasado%20y%20Transporte%20de%20Frutas%20y%20Hortalizas%20Frescas.pdf. Consulta: 2012.

Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA). <http://www.fao.org/food/food-safety-quality/scientific-advice/jecfa/es/>. Consulta: 2011 y 2012.

Consejo Nacional de Productores de Chile, CONAPROCH. <http://conaproch.com/index.html>. Consulta: 2006.

Financiera Rural. <http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Hortalizas.pdf>. Consulta: 2012

Food and Drug Administration. <http://www.fda.gov>. Consulta: 2004, 2006, 2007, 2008 y 2012.

Herbal Company Natural Products & More. <http://www.iherb.com/Cayenne-Pepper-Capsicum>. Consulta: 2011

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. http://www.webiica.iica.ac.cr/reuniones/forofrutas/Foro%20Frutas%20III/Dia15Nov_Taller%20. Consulta: 2011

Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial. <http://www.impi.gob.mx/>. Consulta: 2010.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. <http://www.inegi.gob.mx>. Consulta: 1997.

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias <http://www.inifap.gob.mx>. Consulta: 2002, 2010

<http://www.zacatecas.inifap.gob.mx/publicaciones/virusMarchitezjito.pdf>. Consulta: 2006, 2011

Organización Mundial de Comercio. <http://www.omc.org>. Consulta: 2005, 2011

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación <http://www.fao.org>. Consulta: 2002

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. <http://www.sagarpa.gob.mx>. Consulta: 2002, 2008, 2011

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. <http://200.77231.100/work/normas/normas/kartedmod/mod008fito2009pdf>. Consulta: 2011

- Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON). http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=181&Itemid=426. Consulta: 1980-2006, 2005, 2011
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). <http://www.senasica.gob.mx/?id=3820>. Consulta: 2011.
- Secretaría de Economía. <http://www.economia.gob.mx>. Consulta: 2002 y 2011.
- Secretaría de Economía. <http://www.economia-norms.gob.mx/norms/detalleXNormaAction.do>. Consulta: 2011
- Secretaría de Gobernación. *Diario Oficial de la Federación*. (2010). Declaratoria General de Protección de la Denominación de Origen del Chile Habanero de la Península de Yucatán, México. http://www.impi.gob.mx/TemasInteres/Documents/Declaratoria_Chile_Habanero.pdf. Consulta: 2010.

Disco compacto

- Cañet, P.F. y T. Reyna T., (2006). Manejo sostenible de la biodiversidad de frutas tropicales en Mesoamérica y el Caribe. Una alternativa ante la Globalización. INIFAT, Cuba, Instituto de Geografía-UNAM, U de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco. [cd-rom].
- Reyna T., T. y F. Cañet, P., (2008). VIII Curso-Taller Producción y post-producción de frutas tropicales y hortalizas en Mesoamérica Tropical y el Caribe ante la globalización. La Habana, Cuba. [cd-rom].

Capítulo 12. Experiencias en la producción de hortalizas en la Ciudad de México

Introducción

En la actualidad, la agricultura urbana se practica a nivel mundial como actividad de producción de alimentos de forma sustentable, se basa como principio en el manejo agroecológico y la optimización de los espacios (Rodríguez *et al.*, 2007 y Vázquez 2008a). Por lo que ha logrado gran auge dada su condición de producir alimentos en armonía con el medio ambiente.

En este contexto, es fundamental aplicar tecnologías apropiadas y sostenibles ante los actuales retos de la megaurbanización, pobreza urbana, mal nutrición e inseguridad alimentaria. Teniendo en cuenta esta problemática, surge la agricultura urbana y periurbana que se deben conceptualizar como parte integrante de un sistema, con la misión de producir alimentos de forma más sana (Companioni *et al.*, 2005 y Vázquez, 2008b).

En América Latina, se observan con interés los grandes niveles de producción y áreas dedicadas a la agricultura urbana en Cuba, hecha sobre bases orgánicas, niveles nunca alcanzados en otros países, así como los avances de la investigación y extensión agroecológica (Altieri, 2010), este autor señala la necesidad de un paradigma alternativo de desarrollo agrícola, que propicie formas de agricultura ecológica, sustentable y socialmente justa.

En México y en particular en el Distrito Federal, esta línea de trabajo progresa de forma satisfactoria, a través del desarrollo y ejecución de diferentes proyectos, entre los que se encuentra, “Producción de Alimentos a Pequeña Escala”, que se ha dirigido a la consolidación de los diferentes sistemas productivos, buscando el fortalecimiento de la infraestructura de dirección y apoyo a los procesos productivos, con impacto en la esfera económica, social y el cuidado del ambiente (Ramos, 2011).

Cuba es uno de los mejores ejemplos en agricultura urbana y, como muestra de ello, en la actualidad brinda asesoría científica a diferentes países, entre ellos, Venezuela, Ecuador, México y otros, con el interés de buscar alternativas de alimentación sustentable.

A partir del año 2010, se desarrolla un convenio de colaboración en el marco del “Programa de Agricultura Sustentable a Pequeña Escala en la Ciudad de México”, promovido por el Gobierno del Distrito Federal (GDF), a través de la Secretaria de Desarrollo Rural y Equidad para las Comunidades (SEDEREC), con el Ministerio de la Agricultura de la República de Cuba, a través del Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical (INIFAT), para brindar asesoría técnica y capacitación en proyectos beneficiados. Este trabajo avanza de forma satisfactoria, se agradece en particular a (SEDEREC) por el apoyo y cooperación brindadas.

Estos avances se muestran al ser reconocidos por (Ramos, 2011), en el periódico Reforma con la noticia: “Se consolidan las relaciones en la Agricultura Urbana DF y Cuba”, refiriéndose al fortalecimiento de 12 iniciativas en las delegaciones Cuajimalpa, Iztapalapa, Gustavo A. Madero, Tláhuac y Xochimilco, y se prevé que la cifra en centros escolares incorporados a esta actividad se duplique próximamente. En 2013, en todo el Distrito Federal se tuvieron 195 proyectos clasificados en agricultura urbana, cultivos en traspatios y orgánicos, en los que se invirtieron 38.6 millones de pesos. Actualmente, se prevé que a las iniciativas se sumen otros 285 proyectos, que podrán beneficiar a más de 700 personas principalmente ubicadas en unidades habitacionales, escuelas y reclusorios del DF.

Además, como lo establece el convenio, un grupo de expertos del Ministerio de la Agricultura de Cuba, ha estado brindando asesoría técnica y capacitación a los participantes en estos proyectos desde hace cuatro años, a través del (INIFAT).

Desarrollo

El manejo adecuado de las instalaciones productivas ha sido la base del éxito, ubicadas en cada territorio con la participación directa de los productores en todos los escenarios productivos. Las actividades se dirigen a la producción de hortalizas en huertos, organopónicos, azoteas verdes, hidropónicos, viveros de cultivos protegidos, elaboración y manejo de abonos orgánicos, producción de semillas, capacitación a productores y especialistas.

Durante la primera etapa de impulso y desarrollo de los subprogramas previstos, se ha prestado especial atención al manejo de los sustratos, asociación y rotación de cultivos y a la producción de semillas.

En la mayoría de las unidades habitacionales visitadas, donde se ha trabajado, se ha cultivado con sustratos, y se ha logrado producir abonos orgánicos de diferentes fuentes, tales como: humus de lombriz, composta y pajas de arroz y trigo adicionadas con elementos nutritivos (bocashi).

Algunas experiencias en el trabajo realizado

Atendidas 21 instalaciones productivas, ya iniciadas, ubicadas en las delegaciones Benito Juárez, Iztapalapa, Coyoacán, Álvaro Obregón, Miguel Hidalgo, Cuajimalpa, Xochimilco, Magdalena Contreras, Milpa Alta, Tlalpan, Cuauhtémoc y se continúa el seguimiento a otros escenarios productivos que no contaban con la categoría anterior (Cuadro 1).

Desde el principio se realizó intercambio directo con los productores, no solo señalando las deficiencias o dificultades en el trabajo sino que, de manera conjunta, se les dieron las soluciones más apropiadas acordes con el problema presentado.

Cuadro 1. Instalaciones productivas trabajadas

Organopónicos	Hidropónicos
Huertos intensivos	Fincas de frutales
Azoteas verdes	Granjas de animales
Invernadero	

Fuente: elaboración propia, M. Morales, (2012).

Cultivos

Es importante mencionar que en su mayoría las instalaciones cuentan con más de 10 especies de vegetales, (Cuadro 2). Se mantiene esta diversidad de cultivos y un camino seguro hacia la seguridad alimentaria de los productores, su familia y los pobladores de la zona.

La mayor incidencia dentro de esta modalidad, está encaminada a la preparación de almácigos para la siembra, el manejo adecuado de las densidades de plantas por área, así como la selección de las especies según la época de siembra; la confección de los planes de siembra incluyendo los sistemas de asociación y rotación de cultivos.

Cuadro 2. Principales especies cultivadas en el DF

Nombre científico	Nombre común	Nombre científico	Nombre común
<i>Brassica rapa</i> subsp. <i>chinensis</i> (L.) Hanelt	acelga	<i>Allium cepa</i> L.	cebolla
<i>Lactuca sativa</i> L.	Lechuga	<i>Brassica oleraceae</i> var. <i>italica</i>	brócoli
<i>Daucus carota</i> L.	zanahoria	<i>Brassica oleraceae</i> v var. <i>botrytis</i> L.	coliflor
<i>Beta vulgaris</i> L.	betabel	<i>Portulaca oleracea</i>	verdolaga
<i>Raphanus sativus</i> L.	rabanito	<i>Solanum lycopersi-</i> <i>cum</i> L.	jitomate
<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	frijol ejotero	<i>Capsicum spp</i>	chile
<i>Spinacia oleracea</i> L.	espinaca	<i>Allium sativum</i> L.	ajo

Fuente: elaboración propia: M. Morales. (2012).

Si bien se han logrado avances significativos, aún quedan aspectos en los que se hace necesario continuar trabajando en conjunto con los productores como es: el conocimiento de las variedades, el dominio de las principales características botánicas y las exigencias en cuanto a momento y distancias de siembra más adecuadas.

Experiencias en el cultivo de hortalizas en azoteas

La lechuga (*Lactuca sativa*) es una de las hortalizas que más se cultiva en azoteas; la siembra se realiza en charolas de plástico con 200 cavidades, utilizando como sustrato principalmente perlita o agrolita, y piedra pómez molida mezclada en relación 3:1, sembrando en cada cavidad dos semillas a 5 mm de profundidad (después de emergidas las plántulas se eliminan las más débiles de cada cavidad). El trasplante se realiza y, alrededor de una semana después, aparecen las dos hojas embrionarias; si se utiliza un sustrato rico en materia orgánica y adecuada humedad los resultados son apreciables. Existen otras variantes en hidroponía, que también se desarrollan de forma satisfactoria.

Plantas medicinales (Cuadro 3)

En relación al cultivo de plantas medicinales y aromáticas, y también algunas utilizadas como condimento de cocina (*) se reconoce que los productores tienen un amplio conocimiento sobre todo de las siguientes: toronjil, hierbabuena, epazote, ruda, hinojo, hoja santa, cedrón, cola de caballo, tomillo, santa maría, lavanda, mirto, estafiate, albahaca, orégano, te limón y otras; sin embargo, se debe continuar la capacitación sobre el manejo y procesamiento de estas plantas.

Dysphania ambrosioides es muy importante por sus propiedades medicinales pero también por su uso como condimento culinario (*). Actualmente está en proceso de investigación, dado que se usa desde tiempos prehispánicos con ambos usos, tiene cerca de 15 nombres comunes en lenguas indígenas, el nombre común, en Náhuatl (epazotl o hierba olorosa), permite considerar que se trata de una planta que pudo tener su centro de origen en México. Tiene valor fitoge-

Cuadro 3. Plantas Medicinales y algunas usadas como condimento culinario(*).

Nombre científico	Nombre común	Nombre científico	Nombre común
Melissa officinalis	toronjil	Thymus vulgaris	tomillo *
Mentha sativa	hierbabuena *	Tanacetum partenium	santa maría
Dysphania ambrosioides	epazote *	Lavandula officinalis	lavanda
Ruta graveolens	ruda	Salvia microphzllza	mirto
Foeniculum vulgare	hinojo	Artemisa ludoviciana	estafiate
Piper auritum	hoja santa *	Ocimum basilicum	albahaca *
Aloysia triphylla	cedrón	Origanum vulgare	orégano *
Equisetum arvense	cola de caballo	Cymbopogon citratus	té limón

Elaboración: M. Morales y T. Reyna, (2014).

nético y taxonómico. Se distribuye desde Norteamérica a Sudamérica, de acuerdo con (Piñero, 2014), probablemente su distribución es continental natural. En tanto que (Lira, 2014), “es complicado establecer si su distribución en el continente se debe a variaciones que le permiten soportar toda una gama de climas o a que los humanos sin tener conciencia de ello, han generado condiciones para que crezca sin cultivarla, con tan sólo abrir caminos o seleccionar las variantes más resistentes”. Estas son incógnitas por resolver que se harán a través de un intenso estudio genético y morfológico.

Abonos orgánicos

Los abonos orgánicos representan la principal fuente empleada para garantizar la nutrición de los cultivos y el mejoramiento de las propiedades del suelo y los sustratos. Desde el 2011, se fue retomando paulatinamente en parte de las instalaciones productivas, toda la cultura referente a los abonos orgánicos y, en menor medida, a los sistemas de lombricultura; lo que ha garantizado que la mayoría de las instalaciones actuales, cuenten con un espacio dedicado a la implementación y puesta en marcha de estas técnicas.

En el proceso de elaboración hasta su posterior aplicación, es fundamental y se hace necesario continuar trabajando, para lograr que no se desaproveche ningún material biodegradable; además, hacer cumplir las medidas de bioseguridad establecidas, calidad en los procesos de manejo y garantizar que se obtengan fuentes orgánicas seguras y de elevada calidad biológica.

También se ha trabajado en la elaboración de biofertilizantes, tales como el bocashi (paja de caña de azúcar), caldos sulfocálcicos, supermagro y humus líquido; como alternativas que se deben seguir perfeccionando, de manera que los productores logren asumirlas como parte importante en el manejo de los cultivos.

Manejo del suelo y elaboración de sustratos

Aunque la mayoría de las instalaciones no están diseñadas para el uso directo del suelo, se ha tenido presente su conservación y cuidado, haciendo hincapié en huertos intensivos, organopónicos e invernaderos, donde se ha considerado la pendiente del terreno, la incorporación de materia orgánica durante el período de preparación; además de la aplicación de técnicas de manejo, como la rotación de cultivos y la incorporación de restos de cosechas, así como el empleo de laboreo mínimo, entre otras.

En relación a los sustratos orgánicos, es importante garantizar que existan propiedades físicas adecuadas como son: la relación aire-humedad, alta porosidad, sin compactación, para contar con el lecho apropiado para la siembra; además, velar por el uso de los materiales que garantizarán su calidad; por lo que las aplicaciones frecuentes de materia orgánica, capa vegetal y el reacondicionamiento de los mismos ha sido determinante en su mantenimiento y recuperación.

La no aplicación de las técnicas correctas de preparación del sustrato, se puede convertir en un serio problema productivo. Por ello, es requisito fundamental la composición, textura y el pH, ya que son factores que se deben tomar en cuenta si se quiere cultivar las mejores plantas;

por tanto, el sustrato no debe ser ni muy arenoso ni muy arcilloso, por lo general un término medio.

Las proporciones empleadas para la elaboración de un sustrato adecuado, debe tener más del 50% de abono orgánico y un 25% de un material que facilite el drenaje. Se ha trabajado con éxito cuando se mezcla en porciones 50% humus de lombriz + 25% de perlita o agrolita + 25% de suelo mineral, presentando buenas características para el desarrollo de las plantas.

De igual manera, se ha trabajado en la preparación de sustratos a base de composta, tierra de monte y una porción de tezontle, en aquellos lugares donde los productores consideraron oportuno transformar su sistema productivo de hidroponía a una producción de cultivos orgánicos.

En los cultivos hidropónicos, los productores emplean una solución nutritiva previamente preparada fuera de la instalación, poniendo cuidado en el control de la conductividad eléctrica y en el pH del agua y de la solución, buscando con ello una mejor calidad en la producción.

Se han obtenido avances en este rubro, pero aún falta mucho por hacer. Se debe continuar trabajando en las técnicas de preparación de los sustratos, tanto en las siembras como en la producción de plántulas, con énfasis en la selección de los materiales y en la búsqueda de alternativas que garanticen su adecuada calidad.

238

Producción de semillas

La producción de semillas es el inicio de toda actividad productiva y es una garantía imprescindible para la soberanía alimentaria de cualquier país (Benítez *et al.*, 2012).

En el Distrito Federal, este aspecto ha presentado dificultades ya que los productores dependen únicamente de las semillas importadas; lo que ha sido una limitante para el funcionamiento de las unidades pro-

ductivas ya que, en su totalidad, las tienen que comprar lo que implica un alto gasto, que se repite cada año, además del desconocimiento de la variedad y su procedencia.

En la actualidad y después del intercambio de experiencias existentes, se están dando los primeros pasos en relación a esta acción, mediante la elaboración de conferencias a todos los productores involucrados, retomando las experiencias de aquellos que han logrado producir semillas de algunas especies, entre ellas, las de brócoli, coliflor, lechuga, cilantro, etc. Al respecto, se ha evidenciado la capacitación que han recibido los productores, tanto en Cuba como en México en sus propios escenarios productivos; por lo que se hace necesario continuar transfiriendo tecnologías en aspectos tan importantes como selección y manejo de cultivares, así como en las técnicas de beneficio, postcosecha y conservación.

Manejo del agua

Se está buscando la eficiencia en el uso de este recurso natural, considerando que en muchas de las áreas de cultivo no se dispone en abundancia de ésta, por lo que se han aplicado técnicas de riego ajustadas a la exigencias de los cultivos en períodos críticos; por lo que se hace necesario continuar perfeccionando las técnicas de cosecha de agua de lluvia y su ahorro como una actividad prioritaria.

Manejo agroecológico de las plagas y enfermedades

Especial atención se le ha brindado al control de plagas y enfermedades en las unidades productivas, con el empleo de técnicas y métodos no agresivos para el ambiente, entre las que se destacan: el uso de trampas de colores, plantas repelentes y preparados a partir de diferentes especies, entre otras, así como el manejo adecuado de los cultivos; lo que ha permitido disminuir el efecto negativo de las plagas y enfermedades sobre las principales especies vegetales. No obstante, se hace necesaria la aplicación y desarrollo de otras alternativas como: la crianza y liberación de la entomofauna benéfica y entomopatógenos,

continuar capacitando a los productores en los momentos y técnicas de aplicación, en la identificación de las principales plagas y enfermedades, sus principales formas de acción y continuar incrementando la diversidad de especies vegetales.

Aspecto social

De manera general, se aprecian avances en las relaciones personales entre los productores, así como en la participación directa de los miembros de los equipos de trabajo en el terreno; lo que ha contribuido de manera significativa en esta acción. Se ha elevado el nivel de conocimiento de los productores en la aplicación de las técnicas de manejo de los cultivos lo que, sin duda, repercutirá en el aumento de la producción de las especies vegetales. También se han dado avances en la mejora de la calidad de la dieta alimentaria de los productores, su familia y la de los vecinos de las áreas de influencia de los proyectos, al disponer de una fuente segura para el consumo de alimentos sanos.

La actividad realizada en las diferentes escuelas, ha incrementado el interés de los niños y los jóvenes por el cuidado y el consumo de las diferentes especies de hortalizas, y su función en el mejoramiento de la salud humana.

Si bien es cierto que se ha avanzado, aún quedan muchas acciones por realizar, dirigidas a una mayor integración de los productores en función del manejo de las instalaciones productivas, involucrando a un mayor número de personas en las áreas de trabajo y hacer mayor divulgación sobre los beneficios que aporta para la salud el consumo de hortalizas sanas.

Se aprecia una adecuada interrelación entre los especialistas mexicanos y cubanos, el equipo de dirección del proyecto y los productores, lo que ha permitido un intercambio abierto en la toma de decisiones, dirigidas al mejor funcionamiento de las instalaciones productivas.

Capacitación

La capacitación se ha desarrollado de manera satisfactoria, comenzando con la adecuada preparación de los especialistas; lo que permite la puesta en práctica de diferentes metodologías para mejorar la economía y coadyuvar a la seguridad alimentaria.

Entre las acciones más importantes aún prioritarias por trabajar o continuar, se destacan:

- Realizar actividades directamente en las áreas de trabajo, es decir en el escenario productivo.
- La capacitación de productor a productor, incrementando el intercambio de experiencias entre ellos.
- Implementar talleres participativos en las instalaciones productivas, de donde saldrá el conocimiento de manera conjunta.
- Organizar cursos y conferencias de forma teórica y práctica, sobre diferentes temas relacionados con la producción de alimentos a pequeña escala, así como sobre la organización de ferias y degustaciones donde se conozcan las bondades de la agricultura urbana y suburbana.

Conclusiones

La agricultura urbana sobre bases agroecológicas, organizada en un programa y adaptada a las condiciones locales, puede convertirse en motor impulsor del desarrollo comunitario sostenible, contribuir al incremento de la producción de hortalizas y garantizar formas más sanas de alimentación.

Es interesante seguir profundizando en estos sistemas de producción, que mejoran las condiciones de vida de la población e integra diferentes agrotecnologías en beneficio del medio ambiente.

Referencias bibliográficas

- Altieri, M., (2010). El estado del arte de la agroecología: revisando avances y desafíos. En: T. León y M.A. Altieri (eds). (IDEAS No. 21). Instituto de Estudios Ambientales. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. p. 77 - 104.
- Benítez, M., P. P. Rivero, F. Gil y A. Soto, (2012). Producción de semillas de col (*Brassica oleracea*) var. Marien, en condiciones tropicales de Cuba. *Revista Agricultura Orgánica* 18(3): 19-22. La Habana.
- Companioni N., Y. Ojeda Y. (+), E. Páez y M. C. Murphy, (2005). La Agricultura Urbana en Cuba. *Revista Agricultura Orgánica*. 1 (3):18-23. La Habana.
- Piñero, D. y R. Lira, (2014). Origen y diversidad genética del epazote. *Gaceta UNAM*, Número 4, 606. Ciudad Universitaria, México, D.F. p 8-9.
- Rodríguez N., A., N. Companioni C. y A. Rodríguez M., (2007). La agricultura urbana en Cuba, principales impactos productivos, ecológicos, tecnológicos y sociales en: trópico rural. *Revista de Ciencias Agropecuarias, Forestales y Acuícolas*. Fundación Quintana Roo produce A.C. vol. I. No.3. 13-18 p.
- Vázquez, L., (2008 a). Desarrollo de la innovación agroecológica por los campesinos cubanos. ACTAF. La Habana, 60 p.

Referencias electrónicas

- Ramos A., (2011). Consolidan DF y Cuba la Agricultura Urbana. Periódico *Reforma*, Ciudad de México, Distrito Federal. <http://www.reforma.com>. Consulta: 2011.
- Vázquez, L., (2008 b). Preguntas y respuestas sobre agricultura sostenible. Una contribución a la transformación de los sistemas agrícolas sobre bases agroecológicas. 21 p. <http://www.inisav.cu/publicaciones/otras>. Consulta: 2009.

Capítulo 13. Producción y postproducción de aguacate (*Persea americana Mill*). Importancia cultural y socioeconómica en Michoacán, México

Introducción

Varios autores entre ellos Mettermeier (1988), han expresado que la biodiversidad continental, particularmente en México, dado los altos niveles de riqueza de endemismos con que cuenta, lo coloca después de Brasil y Colombia, como el tercer país latinoamericano megadiverso. Apreciaciones coincidentes con las de Sarukhán (1992), al decir que las regiones tropicales de las cuales México forma parte, junto con Brasil, Colombia e Indonesia y otros trece países más, albergan aproximadamente el 80% de las especies del planeta, que poseen la flora y la fauna más rica del mundo, reafirmando con ello el que sean países megadiversos. Reyna (2003), señala que en el mundo actual, se conocen aproximadamente 250 000 plantas, de las cuales 26 000 están reconocidas como parte de la flora de México (cerca del 10.4% de la diversidad respecto a la total), manifestándose el enorme patrimonio biológico que posee, si se considera que ocupa el 1.3% de la superficie del planeta y es reconocido como un centro mundial de origen y domesticación de germoplasma (Pérez, 2004).

Frutícolamente tiene una gran riqueza que es compartida con gran parte de la región cultural mesoamericana, término utilizado por Kirchhoff (1943) y reeditado en (2002), para definir la región delimitada geográficamente, desde en el siglo XVI, desde lo que hoy es conocido como el río Sinaloa al noroeste de México y las cuencas del Lerma y del

Soto de la Marina en las costas del Golfo, hasta el sur del río Ulúa en el Golfo de Honduras y Punta Arenas en Costa Rica; ubicación retomada por el mismo autor en la obra publicada en el 2002 por el Instituto de Investigaciones Antropológicas; donde agrega también al Caribe. Frutales de climas tropicales, subtropicales y aún templados tuvieron aquí su centro de origen, como el aguacate (*Persea americana* Mill.) de la familia Lauráceas, conocido como “palta” en algunos países sudamericanos y “avocado” en los de habla inglesa; este árbol cuyo fruto es alimenticio, originario del México de hoy, de Guatemala y otras zonas Centroamericanas, al igual que varios géneros y especies de las familias Sapotáceas, Anonáceas y Caricáceas, sólo por mencionar algunas.

Generalidades de la diversidad frutícola en México

La riqueza y diversidad de los frutos que existen en Mesoamérica, se consideran en tiempo y espacio; es decir, a través de fuentes documentales-históricas, como en los Códices, por ejemplo el de la Cruz Badiano (1552), Florentino (1905), y otros como: el Archivo Franciscano (1673-1680), el Archivo General de la Nación, Carpología Mexicana (1895), la monumental obra de Fray Bartolomé de las Casas (1967) y muchas más, donde se dan referencias de estos códices desde las épocas Precolombina y Prehispánica, sobre lo que ya ocupaban los territorios actuales, incluido este país, (Cuadro 1).

Mac Neish (1964), manifiesta que desde la época Prehispánica, en esta región, se dio un altísimo grado de domesticación de un gran número de plantas autóctonas y se originó, así, un importante centro de agricultura, donde se cultivaba una amplia variedad de frutas, entre ellas: guayaba, papaya, piña, varias especies de anonas y zapotes, así como tejocotes, capulines y, desde luego aguacates, especies y cultivares que la población indígena tradicional llamaba “ahuacaquáhuil”.

Vavilov (1951), menciona que el aguacate como elemento nativo, formaba parte de la flora precolombina mesoamericana y como especies cultivadas, posteriormente, cita para esta región las siguientes: *Persea scheideana*, *P. americana*, *P. gratissima* y siete más.

Cuadro 1. Algunos frutales nativos de Mesoamérica (incluido México) y el Caribe.

Aguacate	<i>Persea americana</i>
Mamey	<i>Pouteria sapota</i>
Zapote amarillo	<i>Lucuma salicifolia</i>
Zapote blanco	<i>Casimiroa edulis</i>
Zapote negro	<i>Diospyros ebenaster</i>
Anona	<i>Annona squamosa</i>
Chirimoya	<i>Annona cherimola</i>
Guanábana	<i>Annona muricata</i>
Papaya	<i>Carica papaya</i>
Guayaba	<i>Psidium guajava</i>
Piña	<i>Ananas comosus</i>
Capulín	<i>Prunus capulli</i>
Tejocote	<i>Crataegus pubescens</i>
Ciruela mexicana	<i>Spondias spp</i>
Tuna	<i>Opuntia spp</i>

Fuente parcial: Comisión Nacional de Fruticultura (CONAFRUT, SAG) 1972-1976. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). Datos estadísticos 1980-1985, inéditos; Reyna T.T. trabajo de campo y encuestas 1992-2004.

En los siglos XVIII y XIX se consolidó en México la actividad frutícola y se publicó *La Carpología Mexicana* (1895), obra en la que se proporcionan inclusive listas de los frutales más importantes, entre ellos el aguacate, que ya se cultivaba de manera comercial; además, aparecen nombres científicos y comunes, su distribución espacial, precios de venta y hasta los ingresos que se percibían por las exportaciones de frutas que se hacían a diferentes países europeos.

En el siglo XX, la fruticultura nacional alcanza un gran desarrollo, la superficie plantada se extiende considerablemente y lo mismo se cultivan frutales de zonas tropicales (con temperaturas anuales superiores a 22° C y libres de heladas), que de subtropicales (con temperaturas anuales entre 22° y 18° C y con precipitaciones del orden de 800 a 1 200 mm) y templadas (con temperaturas anuales inferiores a 18° C y presencia esporádica de heladas), de la misma manera como se siguen manejando en el presente.

Objetivos y metodología

En el presente estudio se analiza, de manera sintética, como ejemplo de caso el aguacate, *Persea americana* Mill, tomando en cuenta que las tres razas o grupos ecológicos: Mexicano, Guatemalteco y Antillano son americanos, con gran importancia comercial y alimentaria tanto en México como en otras regiones y países con alto grado de desarrollo económico pero, también, en localidades con restringidos niveles de ingreso y de calidad de vida.

El objetivo fundamental se aplicó en Michoacán, estado mexicano altamente productor de frutales y con una alta diversidad, donde el cultivo del aguacate es la principal actividad económica, que le imprime una gran importancia dado que es generadora de fuentes de empleo y de ingresos. Ante ello se procedió a:

- Determinar las características físico-geográficas del estado (localización espacial, fisiografía, orografía, altitud, generalización climática y algunos siniestros climáticos frecuentes).
- Revisar brevemente la diversidad frutícola en la entidad, sobre todo aquella que está acompañando al aguacate.
- Localizar y cartografiar los municipios productores, apoyados en gran parte por el trabajo de campo y la aplicación de encuestas.
- Analizar las estadísticas de la producción a lo largo de algunos años y, de esta manera, conocer la condición que guarda el abastecimiento en mercados locales, regionales, nacionales y el posicionamiento en algunos mercados del exterior.

Características físicas de Michoacán

Está situado en el Eje Volcánico Transversal y parte de la Cuenca del Río Balsas y de la Sierra Madre del Sur, a los 17° 54' y 20° 24' de latitud norte y a los 100° 05' y 103° 45' de longitud oeste. Colinda al norte con Jalisco y Guanajuato, al noreste con Querétaro, al este con el Estado de México, al sureste y sur con Guerrero, al oeste con Colima y

Jalisco y al sur y suroeste con el Océano Pacífico (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, INEGI, 1985).

Fisiográficamente es heterogéneo, tiene planicies como la Costa del Pacífico y la de Lázaro Cárdenas, que ocupan el estrecho litoral del estado y donde predominan altitudes medias de 60 a 70 msnm; tiene un clima caliente subhúmedo; depresiones como la del Balsas-Tepalcatepec, con alturas entre 200 y 700 msnm, con clima extraordinariamente caliente (más de 26° C) y semiseco (menos de 600 mm de precipitación al año). Las condiciones climáticas son adecuadas para las plantaciones de aguacate Antillano.

Ocupa parte de la depresión del Lerma (parte sur de la Altiplanicie Mexicana), región alta, generalmente plana, dividida en valles por las penetraciones de sierras y montañas pertenecientes al Eje Volcánico Transversal, con altitudes de 1 000 a 2 100 msnm aproximadamente, con climas desde semicálidos hasta templados subhúmedos, García y Reyna (1969), aptos para aguacates criollos mexicanos y/o variedades Guatemalteco x Mexicano.

Tiene además, regiones con marcado y abrupto relieve, donde las altitudes oscilan entre 2 200 y superiores a 2 500 msnm y, en otras áreas, se superan los 3 000 msnm; estas últimas altitudes, son prohibitivas aún para el desarrollo del aguacate del grupo ecológico Mexicano, dado que en estas regiones es frecuente la presencia de heladas y granizadas.

El primer caso, corresponde a las condiciones que se tienen en la Sierra Madre del Sur que atraviesa al estado en la parte suroeste, a la que se le denomina localmente Sierra de Coalcomán, donde la relación altitud-clima marca, desde los climas semicálidos subhúmedos hasta los templados subhúmedos.

Y la última región fisiográfica es el importante Eje Volcánico Transversal, situado en su mayor parte entre los paralelos 19° y 20° de latitud norte. En ésta, confluyen numerosos valles exorreicos y cuencas endorreicas, como las de Pátzcuaro y Zirahuén. Este sistema recibe varios

nombres locales entre ellos: Sierra de Patambán, de Angangueo; también queda localizada la “Región de los Volcanes de Zacapu” con más de 300 conos volcánicos, el Pico Tancítaro (3 845 m) y entre otros el Volcán Parícutín (3 170 m).

Las condiciones climáticas en esta última difieren de las descritas para las regiones anteriores; los cambios de temperatura guardan estrecha relación con la altitud, así es que se presentan condiciones semicálidas, en las partes más bajas, templadas en las altitudes medias y semifrías en las altitudes mayores, la diferencia se marca notablemente en que las precipitaciones son más abundantes y, por lo tanto, hay más humedad y son frecuentes las heladas.

Los suelos dominantes, son derivados de cenizas volcánicas y clasificados como Andosoles o de Ando, suelos que mucho se ha dicho, son adecuados para realizar actividades agrícolas diversas, Reyna (1971) y, en muchos de ellos, se tienen plantaciones exitosas de los grupos Mexicano y Guatemalteco.

Biodiversidad frutícola en Michoacán

En la actualidad, Michoacán es poseedor de una gran diversidad frutícola y está considerado como el primer productor de aguacate (Teliz, *et al.*, 2000) y, para la Asociación de Exportadores y Empacadores de Aguacate Mexicano, A.C (ASEEAM, 1998), es conocido como “la capital mundial del aguacate”, ya que produce el 49% del total mundial y abastece aproximadamente con 1 000 000 de toneladas al mercado mundial de frutas. Si bien el aguacate es el principal y más cultivado de los frutales, muchos otros encontraron también las condiciones ecológicamente óptimas para adaptarse en este territorio; algunos se encuentran todavía de manera silvestre, entre elementos de selvas medianas, bajas caducifolias, subcaducifolias y, mínimamente, hasta en bosques semicálidos y templados. En términos generales, los tres grupos ecológicos: Mexicano, Guatemalteco y Antillano, tienen distribución nacional, Carvalho (1976) y Reyna (1983). En Michoacán, especialmente los dos primeros o los híbridos de éstos, ocupan gran-

des plantaciones semicomerciales o comerciales y forman parte de los “huertos familiares” de toda la entidad, junto con varios frutales nativos o introducidos de otras regiones del mundo; pero también, con diversas hortalizas y hierbas de olor, cuya producción se destina al consumo familiar y al mercado local, (Cuadro 2).

En los años del 75 al 80, Reyna (1983), ya mencionaba que Michoacán era un importante productor de aguacate y que, mientras con las variedades seleccionadas y manejadas con riego se obtenían rendimientos promedio de 80 a 90 kilogramos por árbol, en los huertos familiares y pequeños no comerciales cultivados con tipos criollos Mexicanos bajo temporal, aportaban cuando mucho de 35 a 40 kilogramos por árbol. En los huertos semicomerciales (de 1 hasta 5 ha) y comerciales (con

Cuadro 2. Algunos frutales, hortalizas y hierbas de olor o para condimento acompañantes del aguacate en huertos familiares.

FRUTALES	HORTALIZAS Y HIERBAS DE OLOR
Manzana <i>Pyrus malus</i> Pera <i>Pyrus communis</i> Durazno <i>Prunus persica</i>	Chiles (varios) <i>Capsicum spp</i> Cebolla <i>Allium cepa</i>
Papaya <i>Carica papaya</i> Guayaba <i>Psidium guajava</i>	Haba <i>Vicia faba</i> Ejote <i>Phaseolus vulgaris</i>
Anona <i>Annona squamosa</i> Chirimoya <i>Annona cherimola</i> Guanábana <i>Annona muricata</i>	“Jitomate” <i>Lycopersicum esculentum</i> Tomate verde <i>Physalis ixocarpa</i>
Tejocote <i>Crataegus pubescens</i> Capulín <i>Prunus capulli</i>	Calabaza (varias) <i>Cucurbita spp</i> Zanahoria <i>Daucus carota</i>
Mamey <i>Pouteria sapota</i> (varios)	Lechuga <i>Lactuca sativa</i> Pepino <i>Cucumis sativus</i>
Mango <i>Mangifera indica</i>	Jícama <i>Pachyrhizus erosus</i> Nabo <i>Brassica napus</i>
Limón y otros cítricos <i>Citrus spp</i>	Betabel <i>Beta vulgaris</i> Camote <i>Ipomoea batatas</i>
Tunas (varias) <i>Opuntia spp</i>	Cilantro <i>Coriandrum sativum</i> Epazote <i>Dysphania ambrosioides</i>
Plátano (varios) <i>Musa spp</i>	Orégano <i>Origanum vulgare</i> Yerbabuena <i>Mentha sativa</i>

Elaboración: Reyna T.T. Trabajo de campo (2006-2010); Reyna y Becerra (2012).

más de 5 ha) es donde básicamente se da el monocultivo del aguacate. En estos, las variedades altamente comerciales son: Hass, Bacon, Both 7, Both 8, Lula y selecciones locales de tipos criollos, sólo por mencionar algunas; en las décadas de los 60 y 80, fue muy comercializada la variedad Fuerte, pero ésta fue substituida, en gran parte, por la Hass, que tiene excelente aceptación mundial, calidad, sabor, alto contenido nutricional, mayor resistencia al transporte y mayor tiempo en anaquel.

La producción de los huertos semicomerciales abastece los mercados locales, en tanto que la de los huertos comerciales se destina a los regionales, nacional e internacionales.

Valor cultural, alimentario y usos del aguacate

Es probablemente en la antigua cultura Purépecha (de la que todavía hay hablantes de esta lengua), que tuvo su asiento en el actual Michoacán, que corresponde a una zona donde, desde la época prehispánica, se conoció, consumió y cultivó este frutal, en la que todavía en varias localidades, actualmente del estado, siguen llamándole “cupanda”.

La Asociación Agrícola Local de Productores de Aguacates de Uruapan, Michoacán (APROAM, 2011), menciona que en este municipio el Grupo Interdisciplinario de Investigación en Aguacate localizó, en un huerto de traspatio (sinónimo de familiar), un antiquísimo árbol con una edad aproximada de 500 años.

250

Existe una pequeña población ubicada en la franja de los climas calientes y muy calientes (García y Reyna, 1969), denominada Ahuacatlán (lugar donde abundan los aguacates) sobre todo (del grupo Antillano), donde ocasionalmente suelen también encontrarse algunos aguacates silvestres, que son recolectados y consumidos entre los mismos pobladores (observación personal de la autora).

Lo anterior muestra el peso ancestral que este frutal sigue guardando en la población, cuyos ancestros le daban un alto valor cultural no perdiendo así la tradición de tenerlo presente en el consumir cotidiano.

En cuanto al aspecto nutrimental (Cuadro 3), los frutos difieren entre los tres grupos: los tipos y variedades Mexicanos, son más pequeños que los de los otros dos, en promedio pesan entre 250 y 300 gramos, la cáscara generalmente es delgada y lisa, excepto en variedades mejoradas como el Zutano y Bacon, Carvalho (1976); la semilla es considerablemente grande, de cubierta delgada y casi siempre muy adherida a la pulpa. El contenido de aceite en promedio, es de 20 a 24% y el de proteína aproximadamente de 2%.

Las variedades Guatemaltecas son de cáscara con consistencia leñosa, quebradiza y normalmente de superficie rugosa y áspera y con to-

Cuadro 3. Análisis nutrimental de 100 gramos de pulpa de aguacate Hass.

VALOR ENERGÉTICO	CANTIDAD POR PORCIÓN
Fibra	0.4 g
Carbohidratos	5.9 g
Proteínas	1.8 g
Grasa total	18.4 g
Ácidos grasos: Saturados	3.0 g
Monoinsaturados	8.9 g
Poliinsaturados	2.0 g
Retinol (A)	17.00 mg
Tiamina	0.10 mg
Riboflamina	0.10 mg
Niacina	1.80 mg
Vitamina C	15.00 mg
Vitamina E	1.53 mg
Vitamina B6	0.25 mg
Calcio	24.00 mg
Hierro	0.50 mg
Magnesio	45.00 mg
Sodio	4.00 mg
Potasio	604.00 mg
Zinc	0.42 mg
Kilocalorías	181.00 Kc

Fuente: APROAM (2003, 2011).

nalidad oscura, la semilla pequeña y menos adherida a la pulpa, de superficie lisa o ligeramente rugosa. El aceite entre 10 y 15% y el de proteína fluctúa entre 1.7 y 2%.

Los Antillanos son más grandes que los de los grupos anteriores, con cáscara lisa, dura pero flexible con varias tonalidades verde claro, de semilla grande y suelta en la cavidad del fruto, contienen menos aceite y proteínas pero más agua en la pulpa.

Se confirma el aporte nada despreciable del contenido de proteínas y carbohidratos, así como de grasas, vitaminas y sales minerales que contiene el fruto, características que le infieren un elevado valor nutritivo y dietético. Tiene multiplicidad de usos, el más común es el consumo como fruto fresco en ensaladas, en pasta mezclado con jitomate, cebolla, chile y cilantro en la preparación del típico y ya internacional "guacamole".

La disponibilidad de grasas, minerales y vitaminas, lo hacen digestible y apropiado para una dieta bien balanceada y, en general, se considera que sus aceites actúan en el organismo como anticolesteróicos.

Estas grasas o aceites son ampliamente aprovechados en las industrias cosmetológicas que han abierto líneas complejas de belleza para la elaboración de cremas para la piel, lápices labiales, shampoos y otros productos más.

Resultados

De los 113 municipios que forman el estado, prácticamente en todos existen huertos familiares con aguacates, pero sólo en 34 de ellos se produce el aguacate de manera semicomercial y comercial y éstos se concentran principalmente en las que INEGI, (2007) llamó Regiones Geoestadísticas (Figura 1).

A diferencia de la regionalización hecha por INEGI, la SAGARPA (2002) maneja la estadística agrícola con base en los denominados Distritos de Desarrollo Rural y estos abarcan superficies mayores a las del propio

municipio; así por ejemplo, mediante el trabajo de campo se detectó que, en el de Apatzingán, la superficie cultivada considerada se extiende y abarca pequeñas áreas de municipios colindantes, entre ellos: Buenavista, Tepalcatepec, Gabriel Zamora y otros, donde la presencia de aguacates criollos fundamentalmente se da más en huertos familiares para el autoconsumo, que en huertos semicomerciales y comerciales.

En la región VIII (Meseta Purépecha), se ubican los municipios de Uruapan (el primer productor y exportador a nivel nacional e internacional), Peribán y Los Reyes, entre otros; en tanto que, Zamora y Tingüindín (también exportadores) forman parte de la región (X) Ciénega de Chapala; todos ellos, caracterizados por tener climas semicálidos, subhúmedos (con temperaturas medias anuales entre 18° y 22° C) y, en áreas pequeñas, climas templados benignos y libres de heladas, donde el

Cuadro 4. Municipios productores de aguacate.

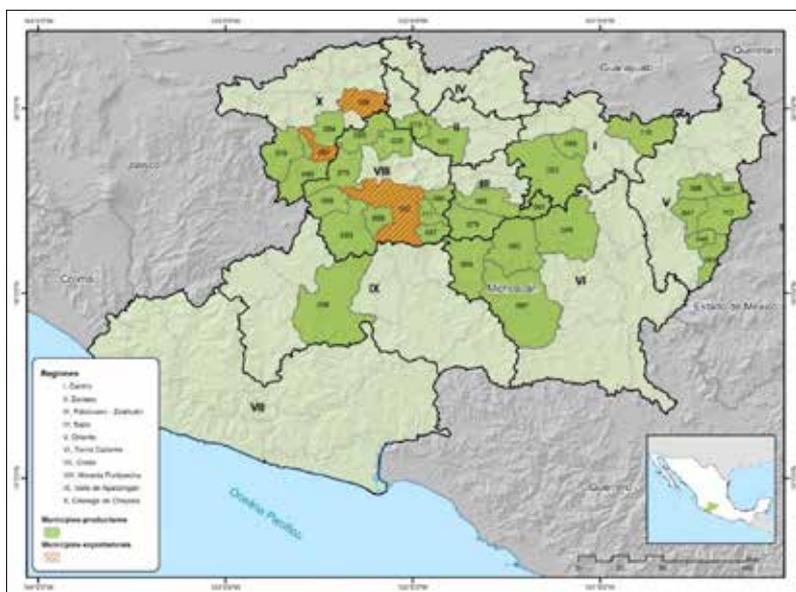
Número y Municipio		
1 Acuitzio	68 Peribán	91 Tingüindín
8 Apatzingán	70 Purépero	95 Tocombo
9 Ario de Rosales	75 Los Reyes	97 Turicato
19 Cotija	79 Salvador Escalante	98 Tuxpan
25 Chilchota	81 Susupuato	102 Uruapan
46 Juárez	82 Tacámbaro	107 Zacapú
47 Jungapeo	83 Tancitaro	108 Zamora
49 Madero	84 Tangamandapio	110 Zinapécuaro
53 Morelia	85 Tangancícuaro	111 Ziracuaretiro
58 Nuevo Paranguricutiro	87 Taretán	112 Zitácuaro
61 Ocampo	88 Tarímbaro	
66 Pátzcuaro	90 Tingambato	

Elaboración: T. Reyna T. y S. Becerra L.

aguacate encuentra sus mejores condiciones ecológicas para alcanzar un buen desarrollo y altos rendimientos.

SAGARPA (2011), emitió estadísticas reales y desglosadas a nivel distrital, especialmente en años altamente productores durante el periodo 1999-2002 (Cuadro 5).

En las superficies cultivables del estado, se practica agricultura de temporal, de riego y de riego + temporal; en esta última, se aplican las mejores agrotécnicas disponibles, entre ellas: obtención y tratamiento de la semilla, selección de varetas, injertación, fertilización, control de problemas fitosanitarios y trastornos nutricionales; lo que les permite obtener frutos seleccionados, casi en su totalidad de la variedad Hass,



Fuentes: INEGI, Marco geostatístico municipal (2007). Elaboración: Reyna, T. T., S. Becerra y M. A. Ramos.

Asociación agrícola de productores de aguacate en Uruapan, Michoacán (APROAN, 2003). Información directa de campo

Figura 1: División geostatística municipal. Productores y exportadores de aguacate (*Persea americana Mill*)

Cuadro 5. Producción de aguacate Hass en Distritos de Desarrollo Rural.

Distritos de Desarrollo Rural	Producción por años				Total (Ton)
	(Ton)	(Ton)	(Ton)	(Ton)	
	2002	2001	2000	1999	
Apatzingán					
Riego + Temporal	1 146	1 000	1 003	1 309	4 459
Morelia					
Riego	2 241	2 462	2 004	1 334	8 041
Temporal	4	10	2	8	24
Riego + Temporal	2 245	2 472	2 010	1 342	8 069
Pátzcuaro					
Riego	165 837	196 993	186 163	178 481	727 474
Temporal	3 712	19 949	19 949	18 743	61 891
Riego + Temporal	202 949	216 942	205 650	197 224	822 765
Uruapan					
Riego	232 012	238 238	235 425	226 046	931 721
Temporal	133 313	143 609	129 869	125 086	531 877
Riego + Temporal	365 325	381 847	365 294	351 132	1 463 598
Zamora					
Riego	49 580	49 009	48 652	47 720	194 962
Temporal	161 954	159 865	159 315	157 953.97	639 088
Riego + Temporal	211 534	208 874	207 968	205 673.97	834 051
Zitácuaro					
Riego	3 854	3 462	5 546	5 673	18 536
Temporal	5 605	5 625	7 208	11 406	29 845
Riego + Temporal	9 459	9 088	12 755	17 079	48 381

Fuente parcial: Secretaría de Agricultura, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) 1999-2002, 2011. Servicios de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) 2011. Información directa de campo.

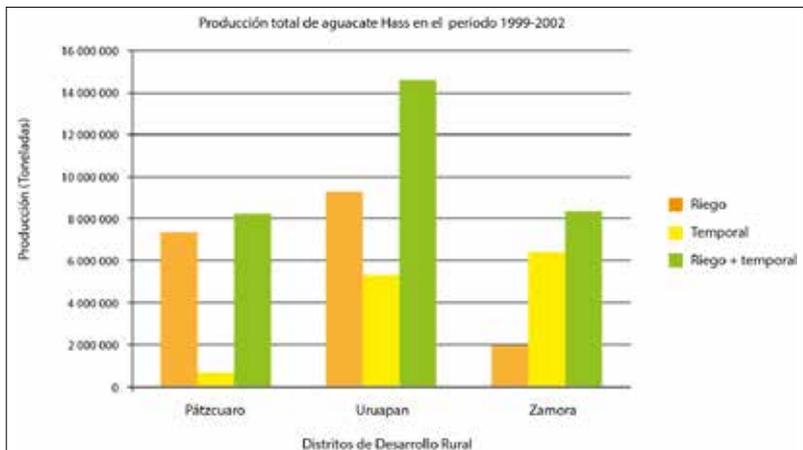
que le dan mejor calidad y pueden competir para ser exportados a mercados internacionales.

En el (Cuadro 5 y la Figura 2) se puede observar la producción total de aguacate Hass obtenida, durante el mencionado período, en los

más importantes Distritos de Desarrollo Rural, notándose la altísima aportación de Uruapan (1 463 598 toneladas sobretodo de riego + temporal), seguida por Zamora 834 051 toneladas y por Pátzcuaro 822 765 toneladas también de riego + temporal.

Comercialización del aguacate

La APROAM y su filial la Unión Agrícola Estatal (Morelia, Mich.), proporcionaron en (2003) a nivel nacional, la siguiente información respecto a la comercialización de este fruto: “México es el primer productor mundial de aguacate, con aproximadamente 2.2 millones de toneladas anuales, con cifras promedio anuales de 64 mil toneladas vendidas a mercados exteriores”. La misma APROAM hace historia (sin dar cifras), al mencionar que el volumen exportado de 1991 a 1999, prácticamente se cuadruplicó, respecto al producido en épocas anteriores y aún así siguió siendo relativamente pequeño al comparársele con el de otros grandes países exportadores como Israel, Sudáfrica y Chile.



Fuente parcial: Secretaría de Agricultura, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) 1999-2002, 2011. Servicios de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) 2011. Información directa de campo.

Figura 2. Producción total de aguacate Hass en el período 1999-2002.

Adicionalmente, México exporta además del fruto fresco de aguacate, derivados procesados en un volumen cercano a 10 mil toneladas dirigidas, principalmente, al mercado americano que, a partir de 1997, se convirtió en el más grande de los mercados; aunque “sigue compitiendo con el de Chile que está fuertemente posicionado. Por otra parte, y la propia competencia doméstica de los productores de California obligan a los exportadores de México a imaginar y poner en práctica estrategias comerciales creativas e innovadoras”.

El aguacate ha tenido ciertas oportunidades en los mercados de la Unión Europea, en la década de los 80 guardaba una buena posición como abastecedor en el mercado francés pero en los últimos años ha perdido presencia por lo que se tendrán que buscar estrategias comerciales para revitalizar éste y otros mercados, así como fortalecer los de Canadá, Japón, entre otros que aún figuran como “potenciales”.

La producción nacional anual, SAGARPA (2010), fue de 1 107 135 toneladas; durante este periodo, Michoacán se mantuvo como el mayor productor (950 942 t) y el país como principal exportador internacional. Limón (2011) considera “al aguacate como el “oro verde”, ya que es el producto agrícola que mayor ingreso le genera al país, alrededor de 15 mil millones de pesos”; este nivel de ingresos lo coloca como el de mayor nivel de exportación. Este mismo autor agrega, con base en cifras de la misma SAGARPA, que la producción anual fue de 1 000 075 toneladas, se exportaron 284 000, casi el 100% aportadas por Michoacán y fueron enviadas a EUA y otras 100 000 se destinaron a regiones de Centroamérica, Europa, Japón, Canadá, China y Corea.

También menciona que la tercera parte de los aguacates que se consumen en el mundo, son de origen mexicano y que 9 de cada 10 que se consumen en México son michoacanos.

Para realizar eficientemente la exportación, es necesario que se hayan seguido las “Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y de Manufactura (BPM)”, Cañet (2005); es decir, que éstas se hayan aplicado desde el campo (cosecha y postcosecha) hasta la mesa y su consumo; de este

modo, los vegetales y los productos derivados, mantendrán la calidad e inocuidad requerida por los mercados internacionales; por ejemplo: los frutos frescos no deben haber sufrido daños mecánicos (magulladuras, rozaduras, heridas), así como tampoco que sean susceptibles a infecciones y a desarrollo de enfermedades producidas por bacterias, hongos, virus; esto es, que estén fisiológicamente sanos e inoos.

La exportación de cualquier producto hortofrutícola de México, destinada a cualquier parte del mundo debe, en síntesis, como lo mencionan Zaldivar (*et al.*, 2010) basado en una bien lograda investigación sobre la tuna, otro vegetal de gran importancia para el país, cumplir con los siguientes requisitos:

- Contar con el Certificado Fitosanitario Internacional emitido por la SAGARPA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), Jefaturas del Programa de Sanidad Vegetal y Distritos de Desarrollo Rural).
- Factura Comercial o Factura Preforma.
- Pedimento de Exportación.
- Certificado de Origen, que otorga la Secretaría de Economía, donde se garantiza que el producto es mexicano.
- Documento de Embarque.
- Lista de Empaque.
- Determinación de la Fracción Arancelaria de Exportación.

El Certificado Fitosanitario Internacional incluye, a su vez, las siguientes secciones: (1) Identificación o encabezamiento, (2) Descripción del envío, (3) Declaración adicional, (4) y (5) Tratamientos de desinfección y (o) desinfección y (6) Certificación.

Para mayor información sobre los requisitos a cumplir, el exportador puede consultar ampliamente las siguientes páginas: Codex Alimentarius Commission; Food and Drug Administration (FDA); Estados Unidos, Unión Europea, Organización Mundial de Comercio y Mercado Mundial.

De no cumplirse con los Reglamentos Vigentes y con los aspectos técnicos que garanticen la calidad e inocuidad de los frutos y legumbres por exportar, Cañet y Reyna (2003), y a manera de ejemplo, la FDA (2003), durante el periodo abril 2002-marzo 2003, aplicó específicamente para productos derivados del aguacate a nivel nacional 20 rechazos (Cuadro 6 y Figura 3), datos similares que siguió reportando en 2006 y 2007.

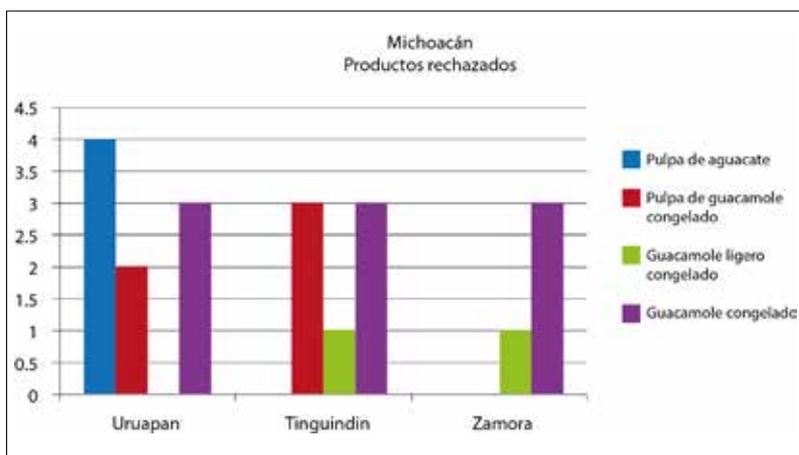
Nótese que el principal problema fue la presencia de *Listeria* (contaminación de tipo bacteriano provocado por *Listeria monocytogenes*), que ocasiona infecciones severas, abortos espontáneos y, en algunos casos, la pérdida de la vida de la persona.

En síntesis, las condiciones que presentaron los tres municipios michoacanos mayormente exportadores; en este caso, de productos elaborados de aguacate; durante el periodo indicado en la Figura 3, se vieron expuestos a rechazos (20 casos) y fue la bacteria *Listeria*, el mayor motivo de ellos.

Cuadro 6. Michoacán: motivos del rechazo (Abril 2002-Marzo 2003).

PRODUCTO	URUAPAN	TINGUINDIN	ZAMORA	TOTAL DE RECHAZOS
Pulpa de aguacate	4 <i>Listeria</i>			4
Pulpa de guacamole	2 <i>Listeria</i>	2 <i>Listeria</i> 1 información falsa		5
Guacamole ligero congelado		1 <i>Listeria</i>	1 <i>Listeria</i>	2
Guacamole congelado	3 <i>Listeria</i>	3 <i>Listeria</i>	3 <i>Listeria</i>	9
				20 casos

Fuente: (FDA) 2003, elaboración propia.



Fuente: (FDA) 2003-2007, elaboración propia.

Figura 3. Michoacán: Productos rechazados. Abril 2002-Marzo 2003

Conclusiones

Michoacán es poseedor de una alta fitobiodiversidad y, dentro de ésta, queda demostrada la frutícola, que ha encontrado las condiciones ecológicamente adecuadas para conservar, desde los recursos autóctonos hasta la domesticación y el cultivo eficaz de muchos otros vegetales.

Particularmente en el caso del aguacate, con la presencia de los criollos y la gran riqueza de variedades cultivadas. Al respecto, desde hace mucho tiempo, y si bien, algunas variedades como el Fuerte, Bacon, Zutano, entre otras, han alcanzado un alto impacto comercial en mercados locales, regionales, nacional e incluso de exportación. En el caso de la exportación, primero la variedad Fuerte fue importante pero, hasta el momento actual, fue superada por la Hass, debido a sus propiedades, así como por los productos derivados del mismo; por lo que es esta la variedad de exportación mejor colocada en mercados internacionales.

La riqueza del acervo de variedades cultivadas actualmente exitosas, lejos de ser un obstáculo para que se intensifique el mejoramiento genético, lo estimula; es decir, se debe promover la obtención de nue-



Fotografía propia (T. Reyna T.). Fotografía propia (T. Reyna T.).

Figuras 4 y 5. Aguacate Hass de Uruapan, Michoacán. Aguacates seleccionados para envío a mercados.

vas variedades igual o aun más productivas, con las que se de mayor apertura a la comercialización en nuevos mercados.

La potencialidad alimentaria, socioeconómica y cultural de este importante frutal se verá incrementada, siempre y cuando se mantengan rigurosamente cuidados los procesos de producción y posproducción, así como todos los principios para minimizar o eliminar los riesgos al consumidor y al ambiente. En síntesis, México cuenta con la Norma Oficial NOM-EM-034 FITO 2000, que contempla todos los requisitos y especificaciones para la certificación de las buenas prácticas agrícolas (BPA) y de mercado (BPM). Con esta Norma se garantiza que, durante todo el proceso de la producción de frutas y hortalizas frescas, no se pierdan y se garantice que mantendrán la calidad e inocuidad y que sean un aporte nutrimental importante, coadyuvando en la seguridad alimentaria y garantizando la apertura en los mercados nacionales e internacionales.

Referencias bibliográficas

- Archivo Franciscano, (1673-1680). Convento de Huejotzingo Puebla. Libro más antiguo de Patentes. Papeles de Conventos. Folio 72. Archivo General de la Nación, AGN. México.
- Archivo General de la Nación, AGN, (1895). Carpología Mexicana. Directorio General sobre la Producción de los Frutos en las Municipalidades del País. Observatorio Meteorológico Central, Secretaría de Fomento. México D.F. 1050 p.
- Asociación de Exportadores y Empacadores de Aguacate Mexicano A.C. (ASEEAM), (1998). El aguacate mexicano: Producción y Destino. Vol. Único. México.
- Carvalho, C.F., (1976). El aguacate. Ed. Ra. México, D. F. 370 p.
- Comisión Nacional de Fruticultura. Secretaría de Agricultura, (1972). 32 Frutales, aspectos generales de su producción en México. Folleto No. 7. México. 77 p.
- Comisión Nacional de Fruticultura. Secretaría de Agricultura, (1976). El aguacate. Folleto No. 25. México. 6 p.
- Casas, Fray Bartolomé de las., (1967). Apologética Historia Sumaria. Inst. de Inv. Hist. Serie de Historiadores y Cronistas de Indias: 1. UNAM. México.
- Códice de la Cruz Badiano, (1552). Libellus de medicina libus Indorum Herbis (Traducido al Latín por Juan Badiano). Archivo General de la Nación. México. XII. 361 p.
- Códice Florentino, (1905). Publicado por Fco. Del Paso y Troncoso. Papeles de la Nueva España. Establecimiento Tipográfico. Sucesores De Rivadeneyra. Segunda Serie: Geografía y Estadística. Siete vols. Madrid España. 6000 p.
- FDA. Center for Food Safety & Applied Nutrition, (1996). Foodborne Pathogenic Microorganisms and Natural Toxins Handbook. USA.
- García E. y T. Reyna. (1969). Relaciones entre el clima y la vegetación en el suroeste de Michoacán. Boletín del Instituto de Geografía. UNAM. Vol. II. pp. 59-88.
- INEGI, (1985). Síntesis Geográfica del Estado de Michoacán. Secretaría de Programación y Presupuesto. México. 305 p.

- Kirchhoff, P. (1943). Mesoamérica. Sus límites geográficos, composición étnica y caracteres culturales, 1943. Acta americana. Rev. Sociedad Interamericana de Antropología, México/Los Ángeles. Vol. I, no. 1. pp 92-107.
- Kirchhoff, P., (2002). Escritos selectos. Estudios mesoamericanistas. Vol. I., C. García M., L. Manzanilla y J. Monjarás R. (eds). Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Investigaciones Antropológicas. México. 445 p.
- Limón, A., (2011). Michoacán líder en logística, agroindustria y competitividad. Aguacate: El oro verde. Altitud. Aeromar. México, D.F. pp. 63-65.
- Mac Neish, R.S., (1964). Ancient Mesoamerican Civilization. Science 143, 7, USA.
- Mettemeier, R.A., (1988). Primate diversity and Tropical Forest. Case studies from Brazil and Madagascar and the importance of Megadiversity Countries. In: Biodiversity. National Academy Press. E Wilson O and F.M. Peters (eds). Washington, D.C
- Pérez, T. M., (2004). Biodiversidad de la Ciudad de México. El Faro. Boletín Informativo de la Coordinación de la Investigación Científica. UNAM. Año III. Número 34. México. pp. 13-14.
- Reyna T.T ., (1971). El clima de la Sierra Tarasca (según el sistema original de Köpen y el modificado por García). Boletín No. 13. del Instituto de Geografía. UNAM. Vol. IV. México. pp. 37-48.
- Reyna, T. T., (1983). Consideraciones sobre el cultivo del aguacate *Persea americana* Mill. En Atlixco, Puebla. Boletín del Instituto de Geografía. UNAM. México. pp. 53-104.
- Reyna, T. T., (2003). Biogeografía de Sinaloa En: Atlas de los ecosistemas de Sinaloa. El Colegio de Sinaloa. J.L. Cifuentes Lemus y J. Gaxiola López (eds).
- Sarukhán, J., (1992). La coordinación de acciones en torno a la biodiversidad en México: una propuesta de prioridad nacional. En: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. J. Sarukhán y R. Dirzo (comp). México. 341 p.
- Secretaría de Agricultura, (1997). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. Tomo II. pp. 9-13; 151-173;197-363.

- Teliz, O. D, G. Mora. A. y I. Morales. G., (2000). Importancia histórica y socioeconómica del aguacate. (Teliz. O. D. coord.). El aguacate y su manejo integrado. Mundi-Prensa. Ed. México. pp. 2-16.
- Vavilov, N. I., (1951). The origen, variation immunity and breeding of cultivated plant. Chronica Botanica. Waltham. USA. 185 p.
- Zaldívar, P. C, D. Castillo. A, S. Chatelain M. y G. Siade B., (2010). Manejo Poscosecha de la Nochtli o Tuna (*Opuntia* spp). Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa. CONACYT. CIATEJ. México. pp. 273-298.

Referencias electrónicas

- Asociación Agrícola Local de Productores de Aguacates de Uruapan y Estatal Morelia, Michoacán. [<http://www.aproam.com/>] Consulta: 2003, 2011.
- Codex Alimentarius Commision. [<http://www.codexalimentarius.net/>] Consulta: 2011, 2012.
- Financiera Rural. [<http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Hortalizas.pdf>] Consulta: 2011.
- Food and Drug Administration [<http://www.fda.gov>] Consulta: 2004, 2006, 2007, 2008.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. [<http://www.inegi.gob.mx>] Consulta: 2000.
- Organización Mundial de Comercio. [<http://www.omc.org/>] Consulta: 2005, 2011.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [<http://www.fao.org>] Consulta: 2002.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. [<http://www.sagarpa.gob.mx>] Consulta: 2002, 2003, 2008, 2010 y 2011.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. [<http://200.77231.100/work/normas/norms/kartedmod/mod008fito2009pdf>] Consulta: 2011.
- Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta SIACON. [http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=ar

ticle&id=181&Itemid=426] Consulta: 2011.
Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [<http://www.siap.gob.mx>] Consulta: 2011.
Secretaría de Economía. [<http://www.economia.gob.mx>] Consulta: 2002, 2011.
Secretaría de Economía. [<http://www.economia-norms.gob.mx/norms/detalleXNormaAction.do>] Consulta: 2011.
Unión Europea. [www.europa.eu] Consulta: 2006, 2011, 2012.

Disco compacto

Cañet, P. F. M. y T. Reyna T., (2003). III Curso-Taller: Producción y postproducción de productos agrícolas tradicionales de América Latina y El Caribe ante la Globalización. Instituto de Geografía, UNAM, México. INIFAT, La Habana, Cuba, [cd-rom].
Cañet, P. F. M., (2005). Aseguramiento de la Calidad y la Inocuidad de Frutas y Vegetales de la Finca a la Mesa. IV Curso-Taller Producción y Postproducción de Frutas y hortalizas Frescas en Mesoamérica Tropical y el Caribe ante la globalización. Instituto de Geografía, UNAM, México, INIFAT. Cuba, [cd-rom].