

Desafíos y propuestas para lograr la seguridad alimentaria hacia el año 2050

Arturo Pérez Vázquez¹
Doris Arianna Leyva Trinidad^{1§}
Fernando Carlos Gómez Merino²

¹Colegio de Postgraduados Campus Veracruz. Carretera Xalapa-Veracruz km 88.5. Predio Tepetates, Municipio de Manlio F. Altamirano, Veracruz, México. CP. 91700. (parturo@colpos.mx). ²Colegio de Postgraduados-Campus Córdoba. Carretera Córdoba-Veracruz. Congregación Manuel León, Municipio de Amatlán de los Reyes km 348, Veracruz, México. CP. 94946. (fernandg@colpos.mx).

Autora para correspondencia: leyva.doris@colpos.mx.

Resumen

El presente ensayo analiza el desafío mundial de la inseguridad alimentaria de aquí al año 2050, particularmente ante una población mundialmente urbanizada que se estima rebasa los 9.1 mil millones de habitantes, en un contexto de cambio climático y alta competencia por recursos como agua y suelo. Se discuten algunas propuestas que podrían permitir afrontar la situación futura de inseguridad alimentaria y generar una cultura de consumo y nutrición saludable y sustentable. Se propone que la agricultura eointensiva de alta tecnología puede ser una opción para superar las necesidades alimentarias basada en un manejo sustentable de alta tecnología (computadoras, sensores remotos, drones y manejo cibernético), donde prácticas agrícolas convencionales, agroecológicas y biotecnológicas podrían convivir en una relación armoniosa con fines de producir más y mejores alimentos con menor impacto ambiental. Se concluye que lograr la seguridad alimentaria al año 2050 debe ser un asunto de seguridad nacional, y para ello se requiere tener claro este reto y fomentar procesos de investigación, desarrollo tecnológico e innovación sobre seguridad alimentaria con un verdadero compromiso y visión de gran alcance.

Palabras clave: agricultura intensiva, alta tecnología, cambio climático, población mundial.

Recibido: enero de 2018

Aceptado: febrero de 2018

Introducción

La seguridad alimentaria es un asunto de suma importancia y de alerta internacional ante el incremento en la población mundial y los riesgos de no poder producir los alimentos suficientes debido a eventos extremos inducidos por el cambio climático, cambio en el uso del suelo y la inminente reducción de agua disponible en volumen y calidad aceptable para la agricultura. En 1991, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) pronosticó que para el año 2050, la población será de alrededor de 9.1 mil millones de habitantes. Además, un segmento importante de dicha población tendrá mayores ingresos que impactará directamente en una mayor demanda de alimentos, en una sociedad mayormente educada e informada sobre asuntos relacionados con la nutrición y buena alimentación, lo que permitirá mejores índices de desarrollo humano, incluyendo la salud.

La causa principal de la actual crisis alimentaria en el mundo, no es un problema de producción sino de inequidad en el acceso y la distribución de los alimentos. Donde la seguridad alimentaria está relacionada también con la nutrición y salud. Es decir, que, a pesar de la sobreproducción mundial de alimentos, la situación de hambre ha empeorado, con cerca de mil millones de personas en esta condición a nivel mundial (FAO, 2009; CINU, 2011). Esto obliga a diseñar estrategias que permitan enfrentar el reto de la seguridad alimentaria, no sólo en cómo producir los alimentos sino cómo lograr mayor disponibilidad de alimentos en un escenario de recursos limitados (suelo, agua) y cambio climático.

Conjuntamente, se debe pensar en la calidad nutricional e inocuidad de los alimentos y desarrollar políticas agrícolas que permitan asegurar el abasto suficiente de los mismos para una población creciente y un incremento en la demanda. La clave no está en el aumento de la producción, sino en el acceso a los recursos y en adecuar nuevas políticas agrarias en las que se fomente una agricultura sensible al clima y la nutrición como un elemento básico e indispensable (Lara, 2008). Además, será necesaria una estrategia comunicativa de seguridad alimentaria que permita fortalecer las prácticas de la alimentación y de nutrición saludable en la población.

Por otro lado, a nivel mundial existen 870 millones de personas que padecen hambre, mientras se desperdician cada año 1 300 millones de toneladas de alimentos (FAO-FIDA-PMA, 2014). Esto significa que entre 30% y 40% de la producción de alimentos a nivel mundial se pierden después de la cosecha o se desperdicia en tiendas, hogares y servicios de comidas (Gustavsson *et al.*, 2011; FAO, 2014). El mayor desperdicio de alimentos (54%) ocurre en las etapas iniciales de la producción, manipulación y almacenamiento postcosecha. El resto (46%) acontece en las etapas de procesamiento, distribución y consumo de los alimentos (Parfitt *et al.*, 2010).

América Latina y el Caribe contribuyen con 6% de las pérdidas de alimentos en el mundo (FAO, 2013a; FAO, 2014) lo cual podría satisfacer la necesidad alimentaria de miles de personas. Según la FAO (2013a), el desperdicio de alimentos, sin contar el pescado y marisco, tiene un costo de 750 000 millones de dólares. Esto afecta igualmente a los recursos naturales como agua, suelo y biodiversidad; e impacta en la sostenibilidad de los sistemas agroalimentarios que incide de manera negativa en la nutrición y la salud humana (FAO, 2012).

Por ello, es necesario hacer cambios a lo largo de los diferentes eslabones de las cadenas agroalimentarias para reducir la pérdida de alimentos. Dichos cambios incluyen desde el productor (la finca) hasta los consumidores (mesa) en las dimensiones social, económica y ambiental. Es necesario que los consumidores planifiquen sus compras, eviten adquirir alimentos en demasía y los transporten y conserven en temperaturas adecuadas. Además, cuando los intermediarios compran la producción en el campo no deben adquirir sólo los productos de primera clase, sino los de segunda y tercera, siempre y cuando conserven su calidad nutritiva y sanidad. Es decir, es necesario inducir estrategias inteligentes en la toma de decisiones al consumidor que compra productos sólo por apariencia y no por necesidad, ocasionando una lujuria en el sobreconsumo de alimentos que traen consigo obesidad, sobrepeso y desperdicio.

El desafío es lograr una seguridad agropecuaria, reduciendo al máximo las externalidades negativas al ambiente, que permita lograr la seguridad alimentaria (Figura 1). En las proyecciones actuales, la creciente población mundial va a tener una fuerte presión sobre los alimentos, su disponibilidad y su acceso, como resultado de un mayor ingreso y mayor capacidad de compra. Esta situación es especialmente importante para países como China y la India, que en las últimas dos décadas han pasado de ser países con una población mayoritariamente de pobres a países con una población eminentemente urbana con una mejor economía y mayor capacidad de compra de alimentos. Lograr una mayor seguridad alimentaria pasa inexorablemente por la seguridad agropecuaria y un entorno socioeconómico de desarrollo sustentable.

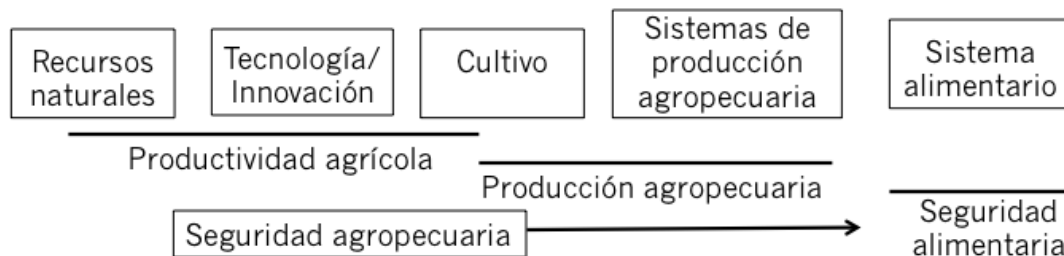


Figura 1. Elementos que determinan el logro de la seguridad alimentaria global.

Otro desafío para lograr la seguridad alimentaria es el cambio climático global. Este fenómeno no sólo afectará el nivel de producción sino la calidad de las cosechas por las altas temperaturas, sequía, inundación y mayor incidencia de plagas y enfermedades (Vermeulen *et al.*, 2012). Una opción será retomar los recursos genéticos nativos o criollos para rescatar la diversidad genética que confiera mecanismos de tolerancia o resiliencia a climas extremos.

La población mundial

Actualmente, la población estimada a nivel mundial es de 7 324 782 000 personas (<http://populationpyramid.net/es/mundo/2015>). Para el año 2050, la población mundial alcanzará los 9 100 (FAO, 2009). Esto significa que la población mundial se incrementará en 1 775 218 000 personas. El total de ese incremento ocurrirá en los países en desarrollo y aproximadamente 70% de la población será urbana, en comparación con la población actual (49%) y eventualmente

mayor capacidad de compra. Con estas proyecciones, se estima que la producción de alimentos deberá incrementarse 50% a nivel mundial y 70% en países en desarrollo, si se desea asegurar la alimentación de su población (Godfray *et al.*, 2010).

Esto es un reto, particularmente cuando menos población mundial vive en el campo y más de 70% vive en las ciudades. Sin embargo, aumentar la producción de alimentos 70% no necesariamente permitirá responder a la demanda alimentaria de una población creciente y urbana (WSFS, 2009; FAO, 2011). Esto debido al incremento en los precios internacionales de los alimentos, debido al uso de alimentos para la producción de biocombustibles, incremento en el consumo en países asiáticos, volatilidad en el precio mundial del petróleo que repercute en el precio de insumos y el cambio climático que provoca condiciones de sequía e inundaciones (WSFS, 2009).

Es decir, la demanda de alimentos está superando a la oferta. Por tanto, se espera que la población en países subdesarrollados, 30% padezca más hambre y una mayor desnutrición. Por tanto, para reducir la brecha entre la demanda y la oferta será necesario apelar a la investigación científica, innovación y desarrollo tecnológico que permita producir alimentos de manera más sustentable.

En México, la población actual es alrededor de 125 millones de personas (<http://populationpyramid.net/es/mexico/2015/>), que equivale a 1.71% de la población mundial. Esto ubica a México en el undécimo lugar entre los países con mayor población a nivel mundial (INEGI, 2015). Es decir, que para el año 2050 habrá 31 millones de habitantes más que representa 24.8% adicional de la población actual. Si consideramos que la producción agropecuaria en el país está contraída y que crece a una tasa anual de 1.1% (periodo 2000-2011), implica que difícilmente se podrá lograr satisfacer las necesidades alimentarias de la población y que año con año se dependerá de mayor importación de alimentos (FAO, 2013b).

El desafío no es solo la producción de alimentos para una población en crecimiento constante, sino como asegurar suficiente agua limpia, suelo agrícola, energía y mano de obra, de manera que se reduzcan los efectos adversos sobre el ambiente y no se ponga en riesgo satisfacer las necesidades básicas de las generaciones presentes y futuras. Se estima que, si los alimentos tuvieran que incrementarse 70% para el año 2050, la disponibilidad de agua tendría que incrementarse 55% y la energía en 50% (FAO, 2011; Guijarro y Sánchez, 2015), situación que se antoja difícil. Aunque la producción de alimentos en el mundo puede ser suficiente para satisfacer las necesidades de la población actual, cerca de mil millones de personas están en condición de hambre y de éstos cerca 400 millones están en situación de desnutrición crónica (FAO, 1991).

Entonces, alimentar a una población mayormente urbana y con mayores ingresos implicará incrementar la producción de alimentos en alrededor de 70% en países en desarrollo (Godfray *et al.*, 2010), algo que se antoja mayúsculo para países como México, donde el deterioro de los recursos naturales se agrava y se intensifica por efectos del cambio climático.

Varios autores enfatizan que el sistema actual de producción de alimentos necesita cambiar radicalmente para producir más alimentos de manera sustentable. Los informes de International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development (IAASTD) (2009) y de Schutter (2010) afirman que, para poder alimentar a nueve mil millones de personas

en el año 2050, será necesario adoptar sistemas agrícolas más eficientes y recomiendan un cambio fundamental hacia la agroecología como una forma de impulsar la producción de alimentos y paralelamente reducir la condición de pobreza de la población.

La IAASTD sugiere que los métodos alternativos tienen gran potencial para mantener la productividad agropecuaria. Esto lo respalda Badgley *et al.* (2007) y Godfray y Garnett (2014) quienes señalan que los métodos alternativos innovadores podrían producir suficientes alimentos a nivel mundial para sostener la actual población humana, y potencialmente una población mayor, sin aumentar la superficie cultivada. Sin embargo, Emsley (2001) y Avery (2007) manifiestan serias dudas de que métodos alternativos puedan satisfacer las necesidades de producción de alimentos para una población mundial creciente y sostienen que sólo la agricultura industrial (Revolución verde) será capaz de producir en cantidad suficiente los alimentos para la población global futura.

Conway (1997) propone que se requiere una doble revolución verde (Doubly green revolution), en el sentido de una agricultura más productiva de bajo impacto ambiental. Un ejemplo reciente de métodos alternativos agroecológicos es el programa de “Hambre cero” en Brasil, en donde más de 70% de los alimentos provino de la agricultura familiar y aunado a otras acciones lograron mitigar de manera extraordinaria el problema de hambre, pasando de 35% en el año 1992 a 18.1% en el año 2007 y una reducción de 10% de 2002 a 2007 (Neves do Amaral y Peduto, 2010).

Independientemente de cómo se produzcan los alimentos, convencional o de manera agroecológica, los agricultores tendrán que producir más por unidad de tierra, agua, energía, agroquímicos y reduciendo el impacto ambiental (emisiones de CO₂, biodiversidad y el suelo). Es decir, que la seguridad alimentaria y nutricional no debe focalizarse en incrementar sólo la producción de alimentos sino en poner atención en formas más sustentable de producir éstos. Es decir, que los sistemas de producción no deben estar enfocados en objetivos productivistas y de rentabilidad, sino en poner atención en servicios ambientales y una mayor eficiencia a lo largo de las cadenas alimentarias, promoviendo prácticas de producción, consumo sostenible y dietas saludables (FAO, 2015). Ello implica un cambio en el modelo actual de gobernanza en la producción de alimentos, y el desarrollo de políticas públicas eficientes que aseguren el bienestar y salud de la gente y la sostenibilidad del ambiente. Algunas propuestas son las siguientes:

Sistemas de producción agroecológica

Son usualmente sistemas de producción agrodiversos, resilientes, eficientes en el uso de la energía, socialmente justos, productivos y basados en estrategias de soberanía alimentaria (Altieri 1995; Gliessman 1998). Estos sistemas fomentan la producción local mediante la agricultura familiar e integran procesos de innovación, un moderado rechazo o uso racional en el uso de insumos sintéticos (fertilizantes, plaguicidas), transgénicos, hormonas y antibióticos en la producción pecuaria. Ejemplos de ellos son:

Agricultura orgánica

La International Federation for Organic Agriculture Movement (IFOAM) ha propuesto los principios salud, ecología, cuidado y equidad de la agricultura orgánica (IFOAM, 2012). Es una de las agriculturas de mayor importancia, reconocimiento social y valor agregado a nivel

mundial. Países como Australia y Argentina detentan la mayor superficie de producción orgánica mundial. México ocupa el tercer lugar mundial por número de productores orgánicos (170 mil), con una superficie cultivada cercana a las 400 mil hectáreas, generando 400 millones de dólares en divisas y 170 mil empleos (Gómez *et al.*, 2005). Este tipo de agricultura se basa en la inserción de técnicas innovadoras de producción agrícola omitiendo el uso de insumos sintéticos y replicar parcialmente los ciclos naturales, mediante el empleo de técnicas agrícolas amigables.

Agricultura siempre-verde

Este tipo de agricultura desarrollada en la India, consiste en el uso de técnicas agrícolas orgánicas, un uso limitado de fertilizantes y de productos fitosanitarios. Incorpora especies de árboles multipropósito en sistemas de cultivos anuales y agricultura de conservación (World Agroforestry Centre, 2009). Este tipo de agricultura se concibe como parte de un complejo “ecosistema de producción” que incluye al menos de 20 a 30 actividades productivas interconectadas. Tiene un enfoque basado en la ciencia económica y en el cuidado del ambiente, los recursos naturales y aumento de la producción alimentaria de pequeños agricultores. Entre los múltiples beneficios están la conservación de la biodiversidad, producción de alimentos diversos, forrajes, combustibles, fibras e ingreso de los productos forestales, almacenamiento de carbono y conservación de la cobertura del suelo (World Agroforestry Centre, 2009).

Agricultura de labranza mínima

Este término genérico incluye técnicas agrícolas de protección del suelo, evitar erosión y otras formas de degradación. Los principios en que se basa son: rotación de cultivos, coberturas vegetales, siembra directa sin remoción del suelo y reintegrar los residuos al suelo. Hace un uso eficiente y efectivo de los recursos naturales a través del manejo integrado del suelo, el agua y los recursos biológicos, a los que se suman insumos externos (FAO, 2015).

Agricultura intensiva sustentable

Esta se basa en principios agroecológicos, amplificados hasta el punto de convertirse en dominantes en términos de prácticas agrícolas (Godfray y Garnett, 2014). Se refiere al empleo intensivo de las propiedades ecológicas aplicados en los agroecosistemas. Por ejemplo, en términos pecuarios, la producción de leche en México tiene que incrementarse en 17% en los próximos 20 años para satisfacer la demanda (SAGARPA, 2010). Dado que la actividad ganadera genera gases efecto invernadero, esta actividad está enfrentando severas críticas (Oyhantçabal *et al.*, 2010) y por ello se propone cambiar el sistema de producción convencional por sistemas sustentables, tomando en cuenta las externalidades negativas como acumulación de excretas, malos olores, lixiviados, deforestación, erosión y contaminación de mantos freáticos (SAGARPA, 2010). Otras propuestas son las siguientes:

Mejoramiento genético

Mucha de la innovación para asegurar mayor producción futura de alimentos va a estar supeditado al mejoramiento genético. Diversos países están produciendo materiales genéticos mejorados a partir del empleo de la agrobiodiversidad nativa. Es decir, se va a requerir producir material genético con mayor vigor, mayor valor nutricional, tolerante a enfermedades, a

condiciones extremas del clima (alta temperatura, mayor concentración de CO₂, sequía o alta humedad) y mayor vida de anaquel. Pero, además, mucho del mejoramiento genético estará orientado a satisfacer muchas de las nuevas preferencias alimenticias. Por ejemplo, producción de materiales genéticos especializados y en función de la demanda del mercado. Se tenderá a crear materiales genéticos de ciclo corto, tolerantes a sequía y a altas temperaturas, particularmente en México donde vastas áreas serán afectadas por el cambio climático (Altieri y Nicholls, 2009).

Agricultura Hi-Tech

En las últimas décadas se han experimentado cambios radicales en el empleo de innovaciones tecnológicas en la producción agropecuaria. La agricultura de alta tecnología (Hi-Tech) implicará cultivar a control remoto usando computadoras, robots, cámaras de video, drones y otros. Esta tecnología será cada vez más importante, particularmente en un contexto de modernización del campo, que inducirá a cultivar plantas y criar animales de manera automatizada y a distancia, usando teléfono móvil o tablet. Además, la detección de enfermedades se hará a través de kits de PCR para obtener rápidos y eficientes diagnósticos en tiempo real.

Así, la agricultura de precisión que incluye el uso de computadoras, sensores, sistemas de posicionamiento global (SPG), de información geográfica (SIG), percepción remota, monitores de rendimiento, y sensores para estimar y controlar variaciones en la producción agropecuaria. Por ejemplo, la fertirrigación a pesar de ser una técnica costosa, ha sido una técnica rentable, principalmente en el cultivo de hortalizas, ya que aumenta la eficiencia de uso del agua y los fertilizantes (Biswas, 2010). Sin embargo, México tendrá limitaciones para que pueda ser extensivo este modelo a todo el país, por los costos de esta tecnología, situación orográfica y socioeconómica, pero si en regiones que por años han mostrado una mayor cercanía a la agricultura de altos insumos como son los estados del norte. La agricultura de precisión ha demostrado no solo ser mas rentable sino amigable con el ambiente, incluyendo una reducción en el uso de insumos sintéticos (Norton y Swinton, 2000; Bongiovanni y Lowenberg-Deboer, 2004).

Biotecnología

De acuerdo con la FAO (2011), la biotecnología puede contribuir a la seguridad alimentaria a través de diferentes estrategias para mejorar cultivos, ganadería, silvicultura, agroindustria, pesca y acuicultura. Dentro de las estrategias que se han empleado se incluyen mejoramiento vegetal y animal para incrementar rendimientos, caracterización y conservación de recursos genéticos, diagnóstico de enfermedades de plantas y animales, desarrollo de vacunas e inocuidad de los alimentos. En términos de producción agrícola, el cultivo de tejidos vegetales, la mutagénesis y la producción de biofertilizantes son las tecnologías más usadas y aceptadas. El Centro Internacional del Maíz y Mejoramiento del Trigo (CIMMYT) desarrollaron semillas de maíz con calidad proteica mejorada (QPM) a partir de la introducción de genes que modifican el endospermo. Estas semillas poseen 50% más de triptófano y lisina, que semillas de maíz convencional (Scrimshaw, 2006; Dos Santos Silva *et al.*, 2012).

Otro ejemplo, ha sido la modificación de plantas que expresen antígenos (vacunas comestibles), en donde se ha utilizado arroz, trigo, alfalfa, papa, guisante y lechuga, a partir de la utilización de *Agrobacterium tumefaciens*, como vector; el cual libera en las células vegetales el gen que

codifica el antígeno del virus o de la bacteria patogénica y en consecuencia se genera una respuesta inmune en el individuo al ingerir el vegetal (Curtis *et al.*, 1994). De hecho, el arroz dorado (Golden Rice) fue desarrollado con el objetivo de expresar un alto contenido de β -caroteno, que es convertido por el organismo en vitamina (Dos Santos Silva *et al.*, 2012).

Un desafío que requiere un abordaje de coexistencia es entre los sistemas de agricultura orgánica, convencional y biotecnológica debido al debate que este último tema genera en la opinión pública.

Estos tres modelos de agricultura difieren en términos de impacto ambiental, dependencia de insumos sintéticos particularmente para el control de plagas, enfermedades, malezas e incrementar la fertilidad del suelo y productividad (Morgan y Murdoch, 2000). Sin embargo, estos modelos deben de coincidir en reducir las externalidades al ambiente, la salud humana y en la calidad de los alimentos. Es decir, el paradigma de la agricultura debe confluir a una agricultura comprometida a solucionar el problema de desnutrición y la falta de alimentos mundial futura en un entorno de sustentabilidad.

Fisiología y ciencia de las plantas

Hoy día se plantea como opción el modelar y determinar relaciones fisiológicas entre la luz fotosintéticamente activa y la producción de materia seca; el área foliar y la interceptación de radiación; la temperatura y la velocidad de crecimiento y rendimiento. De ahí, la necesidad de identificar requerimientos específicos del desarrollo y crecimiento de las plantas en sus diferentes etapas fenológicas y escenarios climáticos para lograr su máximo potencial bajo condiciones de campo o invernadero. Un aspecto clave es el mapeo floral para incrementar el valor económico de material vegetal, lo cual contribuirá a optimizar la producción y la calidad de las cosechas.

Protección y riego de cultivos

El manejo integrado de plagas (MIP) es una robusta y resiliente estrategia de protección de cultivos que contribuye a fomentar el uso de plaguicidas orgánicos y su automatización. Misma que está basada en una combinación de diferentes tácticas, tratando de reducir el uso de plaguicidas sintéticos. Además, el agua de buena calidad es importante para el sector agrícola (Cavoski *et al.*, 2011). Es decir, la agricultura requiere agua de calidad para una aceptable e inocua producción. El uso de agua reciclada no siempre es posible, debido a la presencia de varias sustancias tóxicas y de bacterias (Mateo-Sagasta y Burke, 2013). Por ello, se requiere tecnología para tratar aguas negras y reutilizarla, sistemas innovativos de cero uso o uso eficiente de agua, ante un escenario de restricción de este recurso y por tanto más caro.

Por ejemplo, en Egipto, más de 50% de sus tierras de cultivo son desérticas, y se ha demostrado que el uso de aguas residuales tratadas puede ser usada en el riego de árboles y otros cultivos (FAO, 2010). Por tanto, el tratamiento de aguas residuales es una opción de valor agregado que permitiría a los agricultores ahorrar costos por el pago del agua, al mismo tiempo que se aprovecharían los nutrientes presentes en las aguas negras, ofreciendo un potencial de “triple dividendo” tanto a los usuarios urbanos, productores y al ambiente.

Insectos comestibles

El consumo de insectos es una tradición con raíces prehispánicas en México, y cuyo consumo se da en otros 130 países (Ramos-Elourdy, 1989, 2009). Sin embargo, existen pocos esfuerzos e iniciativas para establecer centros de reproducción de insectos con fines comestibles comerciales a nivel mundial. Miranda-Román *et al.* (2011) proponen establecer rutas alimentarias en torno a la recolección, comercialización y degustación de insectos comestibles como una delicia culinaria. Se estima que anual y globalmente se producen y cosechan unas 418 t de insectos comestibles (Ramos-Elourdy, 2009). Cada vez más restaurantes en México incluyen en su menú platillos de insectos, como son larvas, chapulines, hormigas y otros. Recientemente la ONU reconoció que el consumo de insectos es una alternativa como fuente de proteína y una forma de mitigar el cambio climático.

La cría de insectos comestibles tiene una alta conversión de carne (proteína) comparado con la producción bovina, además recomendable para el ambiente y para una dieta balanceada y nutritiva. Una de las ventajas de los insectos es que éstos se reproducen rápidamente, tienen un alto contenido de proteína, de aminoácidos esenciales y minerales en un balance adecuado (van Huis *et al.*, 2013). Ramos-Elorduy (1998) y (2006) afirma que la deficiencia más preocupante en la dieta del mexicano son las proteínas, y son éstas la principal aportación de los insectos a la alimentación: mientras que 100 g de carne de res contienen de 54 a 57% de proteínas, 100 g de chapulines, por ejemplo, contienen de 62 a 75% de proteínas.

Por tanto, las biofábricas de cría de insectos comestibles ligados a la gastronomía y entomofagia pueden ser una opción de ingreso y de mayor disponibilidad de este alimento en anaqueles de supermercados, menú de restaurantes y menú diario de las familias. Una estrategia para lograr un mayor consumo de insectos puede ser la divulgación científica, y rescatando a la vez la raíz cultural de su uso gastronómico (Miranda-Román *et al.*, 2011). Es así, que la entomofagia puede ser una alternativa viable para paliar los problemas de malnutrición en el mundo y una fuente de empleo y de ingresos.

Uso de tierras marginales

Millones de personas en todo el mundo dependen de la agricultura para su subsistencia, y muchas veces se desarrolla en suelos con poca vocación agrícola natural (Shahid y Al-Shankiti, 2013). Por ejemplo, agricultura en suelos salinos usando plantas adaptadas o tolerantes (halófitas). Debido al cambio climático, se debe continuar generando materiales tolerantes a los extremos de escasez, exceso de agua y temperatura. Hoy en día, más de 1 500 millones de personas dependen de tierras marginales, en parte, porque muchos sistemas agrícolas han agotado la fertilidad natural del suelo (UNCCD, 2014). Esto implica introducir cultivares nuevos a partir de genotipos nativos resistentes o adaptados a condiciones de estrés ambiental y biótico que puedan prosperar adecuadamente en este tipo de tierras.

Es decir, aprovechar la diversidad genética nativa para generar cultivares o variedades con mayor tolerancia al estrés por altas temperaturas, sequía, resistencia a plagas y enfermedades, pero fundamentalmente a suelos marginales (Ebert, 2014). A la vez, desarrollar estrategias para

minimizar el efecto en la productividad agrícola, y revertir el deterioro. Por lo contrario, producir en tierras marginales demandará de mayor energía, selección de ecotipos adaptados y uso de insumos sintéticos.

Por tanto, es necesario un cambio de enfoque que permita buscar otras alternativas a la producción alimentaria en tierras marginales y no insistir en cultivos convencionales. Por ejemplo, en Chile, se estudia diversas especies vegetales, como la jojoba, la higuera y la alcaparra, para su producción en tierras desérticas y en Israel, los agricultores han implementado el cultivo en invernaderos.

Pérdida y reducción en el desperdicio de alimentos

Estimaciones recientes indican que una tercera parte (30 a 40%) de los alimentos producidos a nivel mundial se pierden y se desperdician en el sistema alimentario global (Gustavsson *et al.*, 2011). La inseguridad alimentaria es un asunto que motiva mayor producción y calidad de alimentos mediante formas sustentables, pero a la vez permite reducir la pérdida y desperdicio de alimentos. La Unión Europea (UE), propuso recientemente reducir 30% la pérdida de alimentos para el año 2030 (Lipinski *et al.*, 2013). Junto a la reducción de pérdidas y desperdicio de los alimentos están las nuevas formas de conservar por más tiempo los alimentos.

Por ejemplo, el deshidratado de frutas y verduras con CO₂ que excluye aspectos negativos del deshidratado convencional, resultando un producto con mejor calidad, bajo costo de refrigeración, se mantiene la calidad nutricional y cuando el producto es rehidratado adquiere la apariencia de un producto fresco. La reducción de pérdida de alimentos debe procurarse desde la producción inicial (finca) hasta el consumo final en el hogar, mediante cadenas cortas de comercialización. Una opción es la venta más próxima al consumidor a partir de mercados locales y con ello, reactivar economías locales.

Por otra parte, se deben establecer políticas públicas que motiven tanto al gobierno como al sector privado a desarrollar infraestructura de caminos, transporte, instalaciones de almacenamiento y de refrigeración, que permita reducir las pérdidas alimentarias. Además, sensibilizar a la población para evitar la compra compulsiva de alimentos y proporcionar información y conocimiento que permita a los actores de las cadenas agroalimentarias estándares de inocuidad e higiene garantizando alimentos de calidad. No obstante, es necesario reactivar el intercambio de alimento, a nivel local, con la finalidad de reducir la pérdida de alimentos. Asimismo, realizar investigación para desarrollar innovaciones que permitan elaborar productos alimenticios a partir de los remanentes.

Agricultura urbana

Con una población mundial que mayormente habita en las ciudades (UN, 2010), la agricultura urbana será uno de los paliativos para asegurar alimentos y reducir la huella ecológica de las ciudades (Rees y Wackernagel, 1996). La agricultura urbana y periurbana es reconocida por instituciones internacionales, ciudadanos y autoridades locales de muchas ciudades en el mundo como una estrategia sustentable, que combina espacios verdes, en y alrededor de las ciudades que contribuye a la seguridad alimentaria, bienestar de la gente, y alimentos frescos para mercados

locales, además de un mejor ambiente (UNDP, 1996; Mougeot, 2005, 2006; Viljoen, 2005; UN, 2012). Zezza y Tasciotti (2010) señalan que la agricultura urbana tiene un efecto positivo en la seguridad alimentaria a nivel de hogar, en generar ingreso y mejorar el acceso a alimentos frescos.

Probablemente, la agricultura urbana no contribuya grandemente a la producción de alimentos para el mercado nacional, pero si puede resolver parcialmente problemas locales de seguridad alimentaria y proveer mejores condiciones de vida para la gente y espacios para la vida silvestre (Pérez-Vázquez, 2001). La agricultura urbana debe considerarse como la producción de alimentos en los confines de las ciudades para sus habitantes, reduciendo la huella ecológica de las mismas.

Agricultura eointensiva Hi-Tech

Este tipo de agricultura puede conjuntar las condiciones expresadas para la agricultura intensiva sustentable, incorporando además avances tecnológicos amigables con el ambiente. Este enfoque de agricultura puede ser incluyente de los avances tecnológicos como el uso de sensores de riego, de luz y ventilación en invernaderos, de requerimientos de nutrimentos, de sistemas dosificadores de soluciones nutritivas, lo cual puede ser controlado a distancia mediante computadora o equipos de telefonía móvil, el uso de drones y robots.

El uso de alta tecnología en países como ha demostrado en Australia y Brasil que puede reducir los costos de producción en más de 50%, en comparación con los costos que se alcanzan en México (Aguilar-Rivera *et al.*, 2011). Además, esta agricultura aplica los principios de conservación y mejora de la calidad del suelo, disminución de la emisión de gases efecto invernadero, reducción de lixiviados y contaminación, uso racional y eficiente del agua, y conservación de la biodiversidad. Por ello, este tipo de agricultura podría tener mayor beneficio social.

Conclusiones

La planeación de la agricultura con criterios y principios de soberanía alimentaria debe ser esencial para lograr la seguridad alimentaria y mejorar la nutrición de la población. La experiencia ha demostrado que, mediante acciones específicas de acceso, y utilización adecuada de los recursos se puede remediar los problemas de inseguridad alimentaria. La seguridad alimentaria se puede lograr si se establecen sistemas de producción amigables con el ambiente, políticas adecuadas y creación de capacidades a diferente nivel. El concretar la seguridad alimentaria es cada vez más un asunto de seguridad nacional, particularmente en un mundo sujeto a riesgos climáticos, vaivenes de precios internacionales de alimentos y petróleo, bajos salarios, falta de oportunidades de empleo y de apoyo al campo, lo que obliga a las familias a migrar y abandonar sus tierras.

Por ello, se requiere fomentar la investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación en el tema de seguridad alimentaria con un verdadero compromiso y convicción, sin perder de vista los retos de aquí al año 2050. La agricultura convencional, biotecnología y diferentes formas de producción agroecológica de alimentos tendrán que convivir en una relación constructiva,

complementaria y sinérgica con fines de producir más y mejores alimentos con el menor impacto ambiental. El uso del conocimiento científico será determinante en la toma de decisiones estratégicas, con la finalidad de eficientizar lo existente y lograr la seguridad alimentaria y para ello se requerirá impulsar una agricultura intensivamente sustentable, donde los actores se integren de manera armoniosa bajo enfoques de cadenas agroalimentarias y un enfoque de desarrollo sustentable con responsabilidad social.

Agradecimientos

Se agradece al CONACYT, para el apoyo en estancia sabática del primer autor y la beca de doctorado de la autora de correspondencia.

Literatura citada

- Altieri, M. A. 1995. *Agroecology: the science of sustainable agriculture*. Second Edition. Westview Press, Boulder, CO. 433 p.
- Altieri, M. A. y Nicholls, C. I. 2009. Cambio climático y agricultura campesina: impactos y respuestas adaptativas. *In: respuestas al cambio climático*. LEISA Rev. Agroecol. 24(4):5-8.
- Avery, A. 2007. Organic abundance report: fatally flawed. *Renewable Agric. Food Systems*. 22(4):321-323.
- Badgley, C. J. K.; Moghtader, E.; Quintero, E.; Zakem, M. J.; Chappell, K. R.; Avilés-Vázquez, K.; Samulon, A. and Perfecto, I. 2007. Organic agriculture and the global food supply. *Renewable Agric. Food Systems*. 22(2):86-108.
- Biswas, B. C. 2010. Fertigation in high tech agriculture: a success story of a lady farmer. *Fertilizer Marketing News*. 41(10):4-8.
- Bongiovanni, R. and Lowenberg-Deboer, J. 2004. Precision agriculture and sustainability. *Precision Agriculture*. 5(4):359-387
- Cavoski, I.; Caboni, P. and Miano, T. 2011. Natural pesticides and future perspectives. *In: Pesticides in the modern world - pesticides use and management*. Stoytcheva, M. (Ed.). InTech. Rijeka, Croacia. 169-190 pp.
- CINU (Centro de Información de las Naciones Unidas). 2011. Alimentación. CINU. <http://www.cinu.org.mx/temas.htm>.
- Conway, G. 1997. *The doubly green revolution. Food for All in the Twenty-First Century*. Cornell University Press. 360 p.
- Curtis, I. S.; Power, J. B.; Blackhall, N. W.; Laats, A. M. M. and Davey, M. R. 1994. Genotype-independent transformation of lettuce using *Agrobacterium tumefaciens*. *J. Exp. Bot.* 45(10):1441-1449.
- Schutter, O. 2010. Report submitted by the special rapporteur on the right to food. UN General Assembly. Human Rights Council Sixteenth Session, Agenda item 3 A/HRC/16/49. United Nations. Geneva, Switzerland. 21 p.
- Dos Santos Silva, D. B.; da Silva Lara, E.; Do Amaral Crispim, B.; Oliveira, V. J.; Barufatti, G. A. e Pires de Oliveira, K. M. 2012. Biotecnología aplicada a la alimentación y salud humana. *Rev. Chilena Nutr.* 39(3):94-98.

- Ebert, W. A. 2014. Potential of underutilized traditional vegetables and legume crops to contribute to food and nutritional security, income and more sustainable production systems. *Sustainability*. 6(1):319-335.
- Emsley, J. 2001. Enriching the earth: Fritz, H. and Bosch, C. and the transformation of world food. *Nature*. 410(6829):633-634.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1991. Food, Nutrition and Agriculture - 1 - Food for the Future. <http://www.fao.org/docrep/u3550t/u3550t00.htm>.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2009. How to feed the world in 2050. FAO. Roma. 35 p. http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/how_to_feed_the_world_in_2050.pdf.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2010. The safe use of wastewater in agriculture offers multiple benefits. News Article. FAO. <http://www.fao.org/news/story/en/item/44899/icode/>.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2011. Biotechnologies for Agricultural Development. Rome, Italy. 569 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2012. Sustainable systems programme programa FAO-PNUMA sobre sistemas alimentarios sostenibles. FAO. Roma. 2 p. http://www.fao.org/fileadmin/templates/ags/docs/sfcp/flyer_sp_01.pdf.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2013a. El desperdicio de alimentos daña al clima, el agua, la tierra y la biodiversidad. Noticias FAO. <http://www.fao.org/news/story/es/item/196368/icode/>.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2013b. Panorama de la Seguridad Alimentaria y Nutricional en México 2012. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). Instituto Nacional de Salud Pública (INSP). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). México, D. F. 288 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2014. The water-energy-food nexus: a new approach in support of food security and sustainable agriculture. Roma, FAO. 28 p. http://www.fao.org/nr/water/docs/fao_nexus_concept_web.pdf.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA) y Programa Mundial de Alimentos (PMA). 2014. El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo 2014: fortalecimiento de un entorno favorable para la seguridad alimentaria y la nutrición. Roma, FAO. 62 p. <http://www.fao.org/3/a-i4030s.pdf>.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2015. Agricultura de Conservación. Preguntas más frecuentes. Departamento de Agricultura y Protección del consumidor. FAO. <http://www.fao.org/ag/ca/es/11.html>.
- Gliessman, S. R. 1998. Agroecology: ecological process in sustainable agriculture. Lewis Publishers, Washington, D.C. 347 p.
- Godfray, H. C. J. and Garnett, T. 2014. Food security and sustainable intensification. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 369 (20120273):1-10.
- Godfray, H. C. J.; Beddington, J. R.; Crute, I. R.; Haddad, L.; Lawrence, L.; Muir, J. F.; Pretty, J.; Robinson, S.; Thomas, S. M. and Toulmin, C. 2010. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*. 327(5967):812-818.
- Gómez, C. M. A.; Schwentesius, R. R. y Gómez, T. L. 2005. Agricultura orgánica en México, 10 años de experiencias y políticas para el futuro. CIESTAAM- Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Chapingo, Estado de México. 32 p.

- Guijarro, A. y Sánchez, E. 2015. El nexo agua-alimentación-energía en el marco de la agenda post 2015. Ingeniería para el desarrollo humano-ONGAWA. 17 p. http://www.manosunidas.org/sites/default/files/nexo-agua-alimentacion-energia_ongawa_ok.pdf.
- Gustavsson, J.; Cederberg, C. and Sonesson, U. 2011. Global food losses and food waste. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations. http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/ags/publications/GFL_web.pdf.
- IAASTD (International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development). 2009. Agriculture at a crossroads. *In*: International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development (AASTD). Global report. Island Press, Washington, D.C. 608p. ISBN: 9781597265386.
- IFOAM (International Federation of Organic Agriculture Movements). 2012. The IFOAM norms for organic production and processing. Germany. 132 p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2015. Encuesta intercensal 2015. INEGI. <http://www.inegi.org.mx/>.
- Lipinski, B.; Hanson, C.; Lomax, J.; Kitinoja, L.; Waite, R. and Searchinger, T. 2013. Reducing food loss and waste. World Resources Institute (WRI). Working paper. 40 p.
- Mateo, S. J. and Burke, J. 2013. Agriculture and water quality interactions: a global overview. SOLAW Background Thematic Report - TR08. FAO. 46 p.
- Miranda, R. G. M.; Quintero, S. B.; Ramos, R. B. y Olguín, A. H. A. 2011. La recolección de insectos con fines alimenticios en la zona turística de Otumba y Teotihuacán, Estado de México. PASOS. Rev. Turismo y Patrimonio Cultural. 9(1):81-98.
- Morgan, K. J. and Murdoch, J. 2000. Organic vs. conventional agriculture: Knowledge, power and innovation in the food chain. *Geoforum*. 31(2):159-173.
- Mougeot, J. A L. 2006: Growing better cities: urban agriculture for sustainable development. International Development Research Centre (IDRC). Ottawa, ON, Canadá. 128 p.
- Mougeot, J. A. L. 2005. Agropolis: the social, political and environmental dimensions of urban agriculture. International Development Research Centre (IDRC). Earthscan, London, UK. 308 p.
- Neves do Amaral, W. A. and Peduto, A. 2010. Food security: the Brazilian case. Trade knowledge network (TKN). International Institute for Sustainable Development (IISD). Series on Trade and Food Security - Policy Report. 23 p.
- Norton, G. and Swinton, S. 2000. Precision agriculture: global prospects and environmental implications. Inter. Association Agric. Econ. Conference, August 13-18. Berlin, Germany. 269-286 pp.
- Oyhantçabal, W.; Vitale, E. y Lagarmilla, P. 2010. El cambio climático y su relación con las enfermedades animales y la producción animal. Conf. Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE). 169-177 pp.
- Pérez-Vázquez, A. 2001. The future role of allotments as component of urban agriculture in southeast of England. PhD Thesis. Imperial College Wye: University of London. Wye, Ashford, Kent. 259 p.
- Pervez, B. Z. 2013. Sustainable food production: facts and figures. SciDev.Net. <http://www.scidev.net/global/food-security/feature/sustainable-food-production-facts-and-figures.html>.
- Population Pyramid. 2015. Pirámides de población del mundo desde 1950 a 2100. Departamento de Economía y Asuntos Sociales. Naciones Unidas. <http://populationpyramid.net/es/mundo/2015>.

- Ramos, E. J. 2009. Anthro-entomophagy: cultures, evolution and sustainability. *Entomol. Res.* 39(5): 271-288. DOI:10.1111/j.1748-5967.2009.00238x.
- Ramos, E. J.; Costa, N. E. M.; Ferreira dos Santos, J. Pino, M. J. M.; Landero, T. I.; Ángeles, C. S. C. and García, P. A. 2006. Estudio comparativo del valor nutritivo de varios coleópteros comestibles de México y *Pachymerus nucleorum* (Fabricius, 1792) (bruchidae) de Brasil. *Interciencia.* 31(7):512-516.
- Ramos, E. J. y Pino, M. J. M. 1998. Los insectos comestibles del Estado de México y determinación de su valor nutritivo. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). *Anales del Instituto de Biología.* 69(1):65-104.
- Ramos, E. J. y Pino, M. J. M. 1989. Los insectos comestibles en el México antiguo (estudio etnoentomológico). *AGT. México, D. F.* 108 p.
- Rees, W. E. and Wackernagei, M. 1996. Urban ecological footprints: why cities cannot be sustainable -and why they are a key to sustainability. *Environ. Impact Assess Review.* 16(4-6):223-248.
- Shahid, S. A. and Al-Shankiti, A. 2013. Sustainable food production in marginal lands -case of GDLA member countries. *Inter. Soil Water Conser. Res.* 1(1):24-38.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2010. Retos y oportunidades del sistema agroalimentario de México en los próximos 20 años. México, D. F. 282 p. <http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/pablo/retosyopportunidades.pdf>.
- Scrimshaw, N. S. 2006. Quality protein maize. *Food Nutr. Bulletin.* 27(3):265-266.
- Smit, J.; Ratta, A. and Nasr, J. 1996. Urban agriculture. Food, jobs, and sustainable cities. United Nations development program (UNDP). Publication Series for Habitat II. Vol. 1. UNDP. New York. 302 p.
- UN (United Nations). 2010. Urbanization prospects. The 2009 revision. Urban and rural areas. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. ST/ESA/SER.A/322. United Nations. New York, NY. 318 p.
- UN (United Nations). 2012. Urban agriculture: improving food security and environmental health of cities. UNAPCAEM Policy Brief. Issue No. 1. 8 p. www.unapcaem.org.
- UNCCD (United Nations Convention to Combat Desertification). 2014. Desertification: the invisible frontline. United Nations Convention to Combat Desertification. Bonn, Germany. 20 p.
- Van, H. A.; Van Itterbeeck, J.; Klunder, H.; Mertens, E.; Halloran, A.; Muir, G. and Vantomme, P. 2013. Edible insects: future prospects for food and feed security. *FAO Forestry Paper* 171. Rome. 187 p.
- Viljoen, A.; Bohn, K. and Howe, J. 2005. Continuous productive urban landscapes: designing urban agriculture for sustainable cities. Architectural Press. Oxford, UK. 319 p.
- Vermeulen, S. J.; Campbell, B. M. and Ingram, J. S. I. 2012. Climate change and food systems. *Ann. Review Env. Res.* 37:195-222. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-020411-130608>.
- Zeza, A. and Tasciotti, L. 2010. Urban agriculture, poverty, and food security: empirical evidence from a sample of developing countries. *Food Policy.* 35(4):265-273.
- World Agroforestry Centre. 2009. Creating an evergreen agriculture in Africa for food security and environmental resilience. World Agroforestry Centre, Nairobi, Kenya. 24 p.
- WSFS (World Summit on Food Security). 2009. Alimentar al mundo, erradicar el hambre. Cumbre sobre la Seguridad alimentaria. FAO. 21 p.