



Las opiniones y los contenidos de los trabajos publicados son responsabilidad de los autores, por tanto, no necesariamente coinciden con los de la Red Internacional de Investigadores en Competitividad.



Esta obra por la Red Internacional de Investigadores en Competitividad se encuentra bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 3.0 Unported. Basada en una obra en riico.net.

Gestión ambiental y evaluación del costo total de los sistemas de producción bajo agricultura protegida

LUZ EVELIA PADILLA BERNAL¹

ALFREDO LARA HERRERA²

*ELIVIER REYES RIVAS**

RESUMEN

El 44% de los acuíferos que proveen agua al estado de Zacatecas están sobreexplotados. El 100% de los sistemas de producción de tomate bajo agricultura protegida extraen agua subterránea para el riego. Éstos, además de los problemas de tipo ambiental que genera toda práctica agrícola, también generan residuos sólidos y emisiones. El objetivo de este trabajo es evaluar el impacto ambiental en la rentabilidad de los sistemas de producción bajo agricultura protegida en Zacatecas a partir del análisis de las actividades de gestión ambiental aplicadas en las unidades de producción. La metodología aplicada es la evaluación del costo total. También se determinan indicadores de productividad y rentabilidad del agua. El análisis se realiza en situación actual y dos escenarios: “sustentable y “no sustentable”. Los resultados muestran que con la adopción de prácticas de producción de conservación se podría mantener una rentabilidad positiva en cuatro sistemas de producción.

Palabras clave: Invernaderos, gestión de la calidad ambiental, costos ambientales.

ABSTRACT

44% of the aquifers that provide water to the state of Zacatecas are over-extracted. All (100 %) of the greenhouses pump water from the aquifers to irrigate crops. Greenhouses, besides the environmental problems that all agriculture generates, they generate solid waste and emissions. The objective of this paper is to assess environmental impact on profitability of protected agriculture systems in the state of Zacatecas, the analysis starts from the environmental management activities applied in the production units. The methodology used was Total Cost Assessment. Besides indicators of productivity and profitability of water are determined. The analysis is elaborated in present situation, as well as in two scenarios: one denominated “sustainable” and the other “unsustainable”. The results show that adopting conservation production practices it would maintain positive profitability in four production systems.

Keywords: greenhouses, quality environmental management, environmental costs.

¹ *Unidad Académica de Contaduría y Administración, Universidad Autónoma de Zacatecas. Comercio y Admón.

² Unidad Académica de Agronomía, Universidad Autónoma de Zacatecas.

INTRODUCCIÓN

En México la agricultura es una de las actividades productivas que requieren mayor atención y cuidado en el uso de los recursos naturales, en especial en la zona hidrográfica de las Cuencas Centrales del Norte. Esta zona, que provee agua al estado de Zacatecas, se caracteriza por bajas precipitaciones pluviales (463mm), lo que implica una disponibilidad natural media per cápita de agua menor a la media nacional (CNA, 2008; CNA, 2011), por lo que las fuentes de agua subterránea son básicas en todos los procesos productivos.

El estado de Zacatecas, México, localizado en el Centro Norte de México, tiene un clima árido y semiárido. En Zacatecas la principal fuente de agua para el desarrollo de las diferentes actividades de la población son 34 acuíferos, de los cuales el 44% se encuentran sobreexplotados (CNA, 2011). En la región la agricultura es una de las principales actividades económicas, ésta contribuye con un 11% al PIB estatal (INEGI, 2011). La agricultura de riego ocupa el 20% de la superficie cultivable, registrando altos consumos de agua causados por la sobreirrigación y el uso de sistemas de riego obsoletos (CNA, 2007; Mojarro *et al.*, 2010). Al igual que en otros países del mundo en donde el clima es semiárido, el riego de los cultivos es el uso consuntivo más importante (Booker *et al.*, 2012, 173).

La situación de sobreexplotación de los acuíferos provoca daños ambientales, tales como agotamiento de las reservas subterráneas y manantiales, intrusión de agua salina, merma del gasto base de ríos y hundimientos (Koundouri, 2004, 704; Wada *et al.*, 2010), incrementos en los costos de bombeo y una disminución en la calidad del agua (Echavarría-Cháirez *et al.*, 2009; Padilla-Bernal *et al.*, 2012). Al contar con menos agua y mayor salinización de los suelos se disminuye el rendimiento de los cultivos lo que impacta en la baja sustentabilidad de los sistemas de producción. Bajo este esquema, la agricultura en el estado de Zacatecas, como principal usuario del recurso agua, se encuentra bajo presión para mejorar la eficiencia en su uso. De persistir la sobreexplotación de los acuíferos se pone en riesgo su vida útil y con ello la continuidad de los procesos productivos de la región. La agricultura por su alto consumo de agua y sus altas pérdidas en su manejo sería la primera actividad que se vería posiblemente restringida (Garbrecht *et al.*, 2012; Hernández *et al.*, 2012). Esta situación la obliga a transformarse en una actividad social, económica y ambientalmente sustentable.

La agricultura protegida en el estado de Zacatecas es uno de los subsectores que ha presentado una de las más altas tasas de crecimiento en los últimos años. La tasa media de crecimiento anual (TMCA) de la superficie cultivada, durante el periodo de 2000 a 2010, fue del 25% (Padilla-Bernal *et al.*, 2010). En el 2010 esta superficie se estimaba en 277 hectáreas de las cuales el 90% se cultivó con tomate (SEDAGRO, 2010). En virtud del crecimiento que se ha observado en este sector, es muy probable que a la fecha esta superficie sea mayor. El concepto de agricultura protegida es aplicado a los sistemas de producción que realizan sus actividades bajo una cubierta con el fin de proteger al cultivo de los eventos climáticos. El

rápido crecimiento de los sistemas de producción de agricultura protegida se atribuye por un lado, al elevado rendimiento que ofrecen estos sistemas de producción, superiores a los de campo abierto, y por otro lado a las facilidades otorgadas por las autoridades gubernamentales para su construcción, quienes han visto en estos sistemas productivos una alternativa para coadyuvar al desarrollo rural.

En el 100% de los sistemas de producción bajo agricultura protegida el agua de riego se extrae de los acuíferos. Esta modalidad de producción es intensiva y está orientada a obtener el más alto rendimiento, aislando al cultivo de las condiciones naturales y aplicando técnicas culturales especiales para obtener la máxima rentabilidad de la tierra (Castellanos y Borbón, 2009, p.1), implicando mejorar el uso de los recursos naturales agua y suelo. A diferencia de los sistemas de producción de campo abierto, los de agricultura protegida requieren mayor inversión y costos de producción más elevados, lo que varía en función del nivel tecnológico aplicado, en donde las variables tipo de estructura (macrotúnel, casa sombra, raspa y amagado, multitúnel, ente otros), control de clima (activo o pasivo) y forma de cultivo (suelo e hidroponía) son determinantes. Para que la inversión sea realmente atractiva se requieren mejores precios, por lo que consistencia en la calidad debe ser un atributo permanente en el producto. Lo que implica lograr ventajas competitivas sustentables basadas en los cambios tecnológicos, productivos y organizacionales. Esto puede lograrse a través de la adopción de un sistema gestión de la calidad (Fonseca et al., 2011) adicionado con metas y costos ambientales (Prando, 1996), que combine criterios de eficiencia y de protección al ambiente incorporados al presupuesto de capital.

En el desarrollo de la práctica agrícola los principales problemas de tipo ambiental que se generan son la afectación en la calidad del suelo, su degradación y posible salinización, sobre todo en donde el agua es un bien limitado. En la agricultura protegida, además de los problemas mencionados se presentan problemas que pueden repercutir directamente en el medio ambiente y en la salud pública: residuos vegetales (parte del cultivo no aprovechado), residuos sólidos, plásticos (renovación del material de cubierta, tuberías de riego, contenedores, entre otros), sustratos (Ren, 2003; Stanghellini 2003; Russo y Scarascia, 2005) y el uso y abuso de agroquímicos (plaguicidas, herbicidas, insecticidas, fungicidas) (Hernández-Díaz et al., 2006; Bautista-Calles *et al.*, 2008).

En Zacatecas, en la mayoría de los sistemas de producción bajo agricultura protegida que han cultivado tomate en suelo durante 8 o 10 años consecutivamente como monocultivo, el uso excesivo de agroquímicos y altas láminas de riego, han ocasionado reducción progresiva de la materia orgánica del suelo y pérdida de productividad, implicando el cambio del suelo por sustratos inertes. Bajo este contexto, se observa la importancia de determinar el impacto ambiental de los sistemas de producción bajo agricultura protegida en el estado de Zacatecas. Esto coadyuvará a la definición de políticas orientadas al ordenamiento del crecimiento de estos sistemas de producción en el estado conjuntamente con la generación de normas que ayuden a la protección del ambiente. Los resultados del proyecto serán de

utilidad para investigadores en el área agrícola, evaluadores de proyectos de impacto ambiental, administradores y propietarios de las unidades de producción bajo agricultura protegida, así como diseñadores de políticas públicas y estrategias en el ámbito de los agronegocios.

El objetivo de este trabajo es evaluar el impacto ambiental en la rentabilidad de los sistemas de producción bajo agricultura protegida en el estado de Zacatecas a partir del análisis de las actividades de gestión ambiental aplicadas en las unidades de producción. Dada la importancia que tiene el agua para la agricultura en el estado de Zacatecas, se hace énfasis en la adopción de prácticas que apoyen a su conservación, las que podrían aminorar la degradación del ambiente y la baja en la productividad de los sistemas de producción. Los resultados del trabajo serán de utilidad para investigadores en el área agrícola, evaluadores de proyectos de impacto ambiental, administradores y propietarios de las unidades de producción bajo agricultura protegida, así como diseñadores de políticas públicas y estrategias en el ámbito de los agronegocios.

Las preguntas de investigación planteadas son las siguientes: ¿con la adopción de prácticas de producción sustentables los sistemas de producción bajo agricultura protegida mantienen su rentabilidad? ¿Los productores de tomate de agricultura protegida conocen el costo total de su proceso de producción, esto es, consideran los costos ambientales?

Gestión de Calidad Ambiental Total y Evaluación del costo total

La gestión de la calidad ambiental total (GCAT) se define como un método orientado económicamente, amplio e integrado para la reducción y eliminación de todos los desperdicios asociados con el diseño, manufactura, uso y/o disposición de productos y materiales (Curkovic y Sroufe, 2007, p.560; Curkovic *et al.*, 2008, p.94). El concepto de GCAT combina los principios de la teoría de la gestión de la calidad total (GCT) con las metas de la gestión ambiental (Prando, 1996: 19-20). Los sistemas de gestión ambiental ayudan a las empresas guiar su proceso productivo, combinando criterios de eficiencia y de protección ambiental (Álvarez, 2008, p.63).

La inclusión de aspectos ambientales en la calidad ha sido aplicada por varios autores desde inicios de la década de los noventa (Sarkis y Rasheed, 1995; Chidiak y Murmis, 2003). En el sector agrícola el uso formal de sistemas de gestión ambiental (EMS) ha sido lento y reducido, adoptados fundamentalmente por grandes agronegocios (Williams, 2009, p.59). La aplicación de estrategias de gestión ambiental en las organizaciones es un factor básico de la competitividad, aunque puede generar costos a corto y mediano plazo (Puig y Freire, 2007). El resultado final de la integración de la función ambiental a la gestión de la calidad total es el aumento en la competitividad de las organizaciones.

La gestión ambiental como parte de la GCT mejora la eficiencia de la organización reduce los riesgos potenciales de accidentes y las sanciones correspondientes. Además permite generar una mejor imagen en

la organización, lo que contribuye a mejorar su competitividad (Puig y Freire, 2007; Álvarez, 2008, pp.76-77). De acuerdo con Fernández (2010) la competitividad de la producción agrícola se determina en gran medida por aquellos factores que inciden en la formación de los precios, y por el cumplimiento de los estándares sanitarios, técnicos y ambientales. Curkovic y Landeros (2000, p.63) exponen que minimizando los desperdicios en una empresa se pueden reducir los costos de disposición y requerimiento de licencias, evitar las multas ambientales, incrementar ganancias, descubrir nuevas oportunidades de negocios, mejorar la moral de los empleados y proteger y mejorar el estado del ambiente. Con esto se esperaría que más administradores estuvieran interesados en el desarrollo y uso de los sistemas basados en la GCAT. Sin embargo, de acuerdo Curkovic y Landeros (2000); Curkovic y Sroufe (2007) la GCAT no ha logrado el mismo nivel de aceptación que las estrategias aplicadas a la calidad total.

Curkovic *et al.* (2008, p.94) sostienen que es un gran desafío determinar si la adopción de la GCAT en las organizaciones es solo por cumplir con las normas y legislación ambiental o si éstas desean ser reconocidas como líderes en la aplicación de las estrategias de calidad y protección al ambiente. Cuando una unidad de producción aplica la GCAT solo por cumplir la norma, su comportamiento es reactivo (Prando, 1996, p.40), lo que implica que los problemas son corregidos una vez que éstos han sido creados. Las agroempresas al reducir sus residuos o emisiones contaminantes a través de la minimización del uso de insumos, el reaprovechamiento de subproductos o el reciclado, también reducen sus costos y ganan eficiencia (Chidiak y Murmis, 2003). Sin embargo, hay muchos casos reportados en que las inversiones ambientalmente responsables proveen retornos sobre la inversión negativos (Álvarez, 2008, p.73). No obstante que los factores ambientales son los elementos que afectan en mayor medida las unidades de producción del sector agrícola en México (Cuevas-Reyes et al., 2012, p.955), en la mayoría de éstas se reporta una gran falta de información sobre lo que significa ser ambientalmente responsable y aplicar en sus procesos de producción los principios gestión ambiental y de la calidad total (SEMARNAT, 2006, p.255). Gran parte de la información referente a estos procesos se encuentra en las normas o legislación aplicable (SEMARNAT, 2006, p.367; SENASICA, 2010).

Uno de los problemas más importantes asociados con el desarrollo e implementación de los sistemas de GCAT es que los gerentes tienen dificultad para evaluar el impacto de las inversiones debido a la falta de los indicadores o medidas adecuadas (Curkovic y Sroufe, 2007). En una decisión de inversión tradicional se consideran los costos de capital y los costos de operación y ahorros que una empresa incluye regularmente en los proyectos. Sin embargo, en los sistemas GCAT se deben tomar en cuenta los costos ambientales e incorporarlos a sus procesos de presupuesto de capital. De acuerdo a Curkovic *et al.* (2008, p.102), en un proyecto de GCAT se incluirán conceptos que en un análisis tradicional serían parcial o totalmente omitidos, tales como: ahorros en el uso de agua, costos asociados a la extracción tratamiento del agua; ahorros en energía, entre otros.

Existen varias estructuras conceptuales para identificar los costos asociados con la polución y el desperdicio, tales como Life Cycle Assessment (LCA) (Shapiro, 2001; Bengt, 2005; Stenbæk y Gilberg, 2003; Brandão et al., 2010; Torrellas, 2012), contabilidad de costos ambientales (CCA) (EPA, 1995; Gluch y Baumann, 2004), contabilidad de costos completos (CCC) (Barg y Swanson, 2004); y evaluación del costo total (ECT) (White, Becker y Savage, 1993; Curkovic y Sroufe, 2007; Laurin. 2011).

La adaptación del LCA con el uso de costos requiere del manejo de mucha información y hay algunas dificultades en su implementación y adaptación para su evaluación económica (Stenbæk y Gilberg, 2003). Las estructuras CCA, CCC y ECT se derivan de la misma premisa que los sistemas de contabilidad necesitan para incorporar información ambiental (EPA, 1995; Gluch y Baumann, 2004). En lo que se refiere a la contabilidad de costos, ésta se apoya en la contabilidad de materiales, esto es, contabilizando el flujo de materiales y recursos de un producto, proceso o actividad. En términos generales la contabilidad ambiental incluye tanto la contabilidad del flujo de materiales, así como la contabilidad de costos, incluyendo costos ambientales (Shapiro, 2001, p. 121). El uso de estas técnicas en las organizaciones ha sido limitado, aún hay falta de literatura sobre el tema (Curkovic y Sroufe, 2007), sobre todo en la aplicación en el sector agrícola.

EPA (1995) define contabilidad ambiental como la identificación, compilación, análisis y reporte de la información ambiental dentro de la organización. Además especifica su uso para la toma de decisiones. En efecto, Curkovic y Sroufe (2007) señalan que su aplicación se dirige fundamentalmente hacia la toma de decisiones relativas a inversiones en GCAT y su análisis financiero. La información de la CCA traslada el impacto en la organización de aspectos ambientales en medidas cuantificables que pueden ser usadas en un análisis costo/beneficio.

Una aplicación de la CCA es CCC, la cual incluye costos ambientales que impactan a terceras personas o en la sociedad como un todo, esto es, generan externalidades negativas o positivas (EPA, 1995), es decir costos o beneficios sociales. De acuerdo a Curkovic y Sroufe (2007), las organizaciones no se están moviendo hacia la dirección de la determinación de los CCC. Los autores añaden que la mayor parte de éstas no tienen sus costos ambientales internos en orden, por lo que tomar en cuenta las externalidades resulta una tarea más compleja. También señalan que la ECT es una aplicación de la ECA más realista y evolucionada en su uso. Ésta considera solo costos de la organización, a diferencia de CCC que toma en cuenta tanto costos internos como externos.

La identificación de todos los costos y ahorros asociados con un programa de GCAT es el primer y más importante paso en la determinación de la ECT. De acuerdo a Shapiro (2001, p.122), las organizaciones colocan en los gastos generales los costos que no son directamente asignables o medibles. Al hacer esto, los directivos no pueden reconocer ciertos costos como ambientales. Para identificar los costos

ambientales los proponentes de la ECT los clasifican en cuatro categorías (Curkovic y Sroufe, 2007): costos directos, costos ocultos, costos de pasivos contingentes y costos menos tangibles.

Los costos directos son aquellos que están directamente ligados al producto, proceso o servicio y se identifican y cuantifican fácilmente, pudiendo incluir costos recurrentes y no recurrentes (Constable, 1999; Laurin, Hayashi y Uchida, 2013). Éstos se encuentran en las fuentes de datos usadas tradicionalmente por la mayoría de las organizaciones e incluyen conceptos como: gastos de capital, instalación de equipo, materia prima, mano de obra y administración de residuos.

Los costos ocultos se encuentran regularmente registrados como gastos generales, por lo que son difíciles de identificar y cuantificar como costos ambientales. En este concepto se cuantifican los costos en que incurre la organización para dar cumplimiento a las normas y reglamentos ambientales, tales como monitoreo, capacitación y entrenamiento, apoyo legal, muestreos y pruebas, entre otros (Constable, 1999; Shapiro, 2001).

Los costos de pasivos contingentes son costos usualmente asociados con pasivos, que resultan de la administración de residuos y materiales. En este concepto se encuentran costos asociados con accidentes, costos resultados de daños legales o lesiones personales (Constable, 1999). A diferencia de las otras categorías de costos, los costos de pasivos contingentes no son fáciles de obtener. Esos costos generalmente deben ser estimados y hay varias formas de hacerlo. Muchas organizaciones se basan en experiencias pasadas, mientras que otras lo hacen en estudios de unidades de producción similares dentro del sector o la industria (Curkovic y Sroufe, 2007).

Los costos menos tangibles son los más subjetivos y controversiales de los discutidos anteriormente. Al igual que los costos de pasivos contingentes, éstos son difíciles de obtener y problemáticos para estimar. Algunas organizaciones para medirlos consideran el incremento en los ingresos o decremento en los gastos atribuidos a la mejora de la imagen corporativa. Estos costos pueden incluir el nivel de aceptación del producto por parte de los clientes y por la comunidad, así como la imagen corporativa positiva o negativa (EPA, 1995; Constable, 1999), entre otros aspectos.

En el sector agrícola, al igual que en otros sectores económicos, para la adopción de prácticas ambientalmente responsables como parte de sistemas de gestión ambiental se requiere de la aplicación de medidas que permitan determinar los costos y ahorros ambientales en las opciones de inversión. La aplicación de la TCA en el sector agrícola, en articular en los sistemas de producción bajo agricultura protegida puede proveer a los administradores de las unidades de producción y diseñadores de políticas públicas de elementos que les permitan contar con información para la toma de decisiones sobre el diseño y la adopción de programas ambientales.

METODOLOGÍA

Gestión ambiental y evaluación del costo total en la agricultura protegida

A fin de evaluar el impacto ambiental en la rentabilidad de los sistemas de producción bajo agricultura protegida, se aplicó la metodología de la Evaluación del Costo Total (ECT) (Constable, 1999; Laurin, 2011), adaptada por Curkovic y Sroufe (2007) y la productividad y rentabilidad del agua (Sánchez, 2006). La metodología de la ECT fue desarrollada por el Center for Waste Reduction Technologies (CWRT) del American Institute of Chemical Engineers (AIChE's) con la finalidad de cuantificar los costos del medio ambiente y de la salud atribuidos a la actividad industrial, además de apoyar la administración interna y la toma de decisiones. La ECT es un proceso integral para identificar, compilar y analizar costos ambientales y de la salud incurridos, evitados y ahorrados, así como para mitigar riesgos futuros y costos contingentes de procesos productivos, productos o lugares (Norris, 2000; Huppel *et al.*, 2004).

Para determinar el costo total de los sistemas de producción bajo agricultura protegida se construyeron presupuestos considerando coeficientes técnicos, precios y ganancias por cada sistema seleccionado en situación actual y bajo dos escenarios denominados: “sustentable” y “no sustentable”. Los presupuestos y flujos netos de efectivo se proyectaron a diez años en términos reales. El nivel de rentabilidad se determinó a través de valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y la relación beneficio costo (RBC). En el cálculo del VAN se trajo a valor presente el flujo neto de efectivo (FNE) considerando un horizonte de la vida del proyecto de 10 años. La productividad del agua se determinó como una relación entre el rendimiento en kilogramos por hectárea y los litros de agua aplicados. Por su parte la rentabilidad del agua se obtuvo como la relación de ganancia por hectárea entre los litros de agua aplicados (Sánchez, 2006).

El escenario denominado “no sustentable” se planteó considerando de la degradación ambiental por la sobreexplotación de los acuíferos, lo que impactará en la productividad de los sistemas de producción. Se generaron los presupuestos, flujos netos de efectivo multianuales asumiendo un 2% de disminución en los rendimientos (Castellanos y Ojodeagua, 2009, pp.187-204; Macías-Duarte *et al.*, 2010, pp.11-19). Se hicieron los ajustes al uso de jornales en cosecha y empaque y se consideraron los gastos de operación por bombear agua de un pozo 14 m más profundo (CNA-GODEZAC-UAZ, 2008). Por su parte, en el escenario denominado “sustentable” (proyecto alternativo), se planteó la adopción de prácticas de producción sustentables (proyecto alternativo). En este escenario se asumen rendimientos de los sistemas de producción constantes en el tiempo (10 años). Se considera un menor uso de agua por planta (2 L/pl/diario en hidroponía y 1.5 L/pl/diario en suelo), la cosecha de agua de lluvia en cisternas, el uso de sensores de humedad y equipo de recirculación del agua (Kirida *et al.*, 2004; Macías-Duarte *et al.*, 2010; Alaoui *et al.*, 2014).

La determinación de los costos de la degradación ambiental y tomar en cuenta algún beneficio de la adopción de prácticas de producción sustentables no es tarea fácil. La cantidad de datos requeridos es enorme, aunque el área a estudiar tenga condiciones climáticas, topográficas y físicas de producción bastante uniformes. En el caso de condiciones diversas, como es en la mayoría de los casos, obtener la información adecuada con algún grado de detalle es práctica y financieramente imposible. No obstante lo anterior, se puede llegar a una estimación gruesa que pueda servir para la toma de decisiones o formulación de políticas públicas de algún producto (Kydd Pearce y Stockbridge, 1997, p.337; Pearson, Gotsch y Bahri, 2003, p.69). Así, en el caso del tomate bajo agricultura protegida, la degradación ambiental atribuida al excesivo uso de agua subterránea, se considera a través de la reducción en la productividad.

Selección de los sistemas de producción y fuentes de información

Los sistemas de producción objeto de estudio se seleccionaron con base en un análisis de conglomerados realizado a 53 unidades de producción productoras de tomate. Éstas se identificaron a través de un cuestionario aplicado a los técnicos o propietarios en el año 2010. Las variables usadas en el análisis fueron: estructura (multitúnel, raspa y amagado, casa sombra y macrotúnel), forma de cultivo (suelo e hidroponía), control de clima (activo y pasivo) y extensión del área cultivada (grande mediano y chico). Se obtuvieron cuatro grupos, seleccionándose un sistema representativo de cada grupo. En un grupo se contó con datos de dos sistemas de producción, por lo que se consideró pertinente presentar toda la información disponible. Las principales características de los sistemas de producción analizados se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Principales características de los sistemas de producción

Características	Tipo de estructura				
	Grupo 1		Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
	Macrotúnel	Casa sombra	Multitúnel	Raspa y Amagado	Multitúnel
Variedad de tomate	Saladette	Saladette	Saladette	Saladette	Bola racimo
Técnica de cultivo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Hidroponia
Control de clima	Pasivo	Pasivo	Pasivo	Pasivo	Activo
Extensión del área cultivada	Grande	Grande	Grande	Grande	Grande
Periodo de producción (cosecha)	Mayo-octubre	Agosto-octubre	Junio-noviembre	Mayo-noviembre	Agosto-abril
Mercado destino nacional	Central de abasto de				

	Iztapalapa, D.F.	Iztapalapa, D.F.	Iztapalapa, D.F.	Iztapalapa, D.F.	Aguascalientes
Mercado destino internacional					Laredo, TX, Mc Allen, TX, Nogales, AZ

Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos en el trabajo de campo, 2014.

La información sobre los coeficientes técnicos, maquinaria y equipo auxiliar, prácticas de cultivo y protección al medio ambiente por sistema de producción estudiado, se obtuvo a través de un cuestionario que se aplicó a los técnicos de las unidades de producción seleccionadas durante los meses de febrero a abril de 2014. Algunos de los datos técnicos de los sistemas de producción se presentan en el Cuadro 2. La unidad de análisis fue una hectárea del cultivo en el año agrícola 2013. La información una vez procesada fue revisada por los técnicos o propietarios de las unidades de producción y validada por especialistas en el área diferentes a los que proporcionaron la información (Einsenhardt, 1989). Los precios de los insumos comerciables se obtuvieron a través de los proveedores. La información sobre inversión en la estructura del sistema de producción, maquinaria y equipo auxiliar, sistema de calefacción y equipo de riego se determinó con cotizaciones de empresas constructoras y proveedores de equipo (Cuadro 3). La inversión en las cisternas para la captación de agua de lluvia se determinó de acuerdo a lo indicado por Anaya (2010) y Brown, Gerston y Colley (2005), considerando la precipitación pluvial media registrada en el periodo 2002-2013 en las regiones donde se ubican los sistemas de producción estudiados. Siguiendo lo indicado por Einsenhardt (1989) para estudios de caso, información sobre las prácticas de producción y protección al ambiente se recabó a través de entrevistas estructuradas a los propietarios o técnicos de las unidades de producción.

Cuadro 2. Algunas de las características técnicas de los sistemas de producción

Concepto	Grupo 1		Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
	Macrotúnel (suelo)	Casa sombra (suelo)	Multitúnel (suelo)	Raspa y amagado (suelo)	Multitúnel (hidroponía)
Días ciclo	229	155	249	275	332
Rendimiento (ton/ha)	70	130	230	310	637
Número de plantas (ha)	28,000	20,250	30,000	40,500 ^{1/}	28,644
Litros/agua/planta diario	2.5	2	2.5	2	3

Nota: ^{1/} Se aplica la técnica de interplanting: 1er ciclo febrero-septiembre. 2do ciclo junio-noviembre.

Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos en el trabajo de campo, 2014.

Cuadro 3. Inversión inicial en una hectárea de agricultura protegida en Zacatecas, México
(Miles de pesos)

Concepto	Macrotúnel (suelo)	Casa sombra (suelo)	Multitúnel (suelo)	Raspa y amagado (suelo)	Multitúnel (hidroponía)
Terreno	90.0	80.0	90.0	80.0	90.0
Estructura	351.0	686.8	2,174.4	2,085.0	3,518.2
Sistema de riego ^{1/}	203.6	203.6	203.6	255.0	850.4
Sistema de calefacción					2,764.1
Maquinaria y equipo auxiliar	361.2	288.8	361.2	498.8	1,281.2
Inversión en otros activos ^{2/}	62.4	62.4	224.0	62.4	1,055.5
Total	1,068.2	1,321.6	3,053.2	2,981.2	9,559.4

Notas: ^{1/} En el multitúnel (hidroponía) se incluye controles de riego y automatización.

^{2/} Incluye almacén de materiales y oficinas, mobiliario y equipo de oficina.

Los precios del tomate se determinaron a nivel finca considerando los meses en que se comercializó el producto durante el año 2013 y tomando en cuenta el mercado destino: doméstico y/o internacional. Los precios de referencia para los mercados nacional e internacional se obtuvieron del Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM) y United States International Trade Commission (USITC), respectivamente. La tasa de interés nominal fue del 15% y la tasa real de descuento del 11%, considerando una tasa de inflación del 3.57% para el 2013 (INEGI, 2014) y un horizonte de vida del proyecto de 10 años. La tasa de interés nominal es la que aplicó Financiera Rural a créditos directos preferentes en el año de referencia.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos de las entrevistas a los técnicos o propietarios de las unidades de producción, muestran que éstas tienen establecido un sistema de contabilidad a través del cual identifican los costos directos del producto en donde incluyen el manejo de algunos residuos como plásticos de las cubiertas, envases de insumos y verdes. Sin embargo, otros costos asociados a la implementación de un sistema de GCAT no son registrados. Esto es, la implementación de un sistema de contabilidad que incluya la medición de costos ambientales no se encuentra claramente especificado.

Aunque los entrevistados reconocen que el contar con certificaciones o reconocimientos por participar en programas de gestión ambiental les facilita el acceso a mercados y genera ventaja competitiva, las acciones en éste ámbito en las unidades de producción han sido fundamentalmente impulsadas por las normas y la legislación ambiental nacional e internacional, mostrando una posición reactiva, como lo señalan Curkovic (2003); Curkovic y Sroufe (2007). Esto puede implicar que los problemas ambientales

traten de ser corregidos una vez que han sido creados, lo que resultaría poco efectivo al no atacar los factores, sino solo los orígenes.

En lo que se refiere al impacto ambiental en la rentabilidad de los sistemas de producción, en la situación actual cuatro de los cinco sistemas de producción estudiados presentan un valor actual neto (VAN) positivo, una tasa interna de retorno (TIR) superior a la tasa de descuento y una relación beneficio costo (RBC) superior a la unidad, mostrando suficiente sustentabilidad financiera. En lo que se refiere al macrotúnel-suelo del grupo 1, éste presentó una rentabilidad negativa, su flujo neto de efectivo total y utilidad neta anual son negativos. De acuerdo a los propietarios de este sistema de producción, desde hace varios años el macrotúnel ha operado con pérdida. La contribución marginal de producción positiva (ingresos totales cubren los costos variables de producción) es lo que hizo posible continuar su operación. Las pérdidas registradas son explicadas por las inadecuadas prácticas aplicadas: poca efectividad en el control de plagas y excesiva aplicación de insumos, lo que generó decremento en los rendimientos. El último año de operación del macrotúnel fue el 2013.

El VAN positivo más bajo se obtuvo en el sistema de producción con estructura de casa sombra, lo que se atribuye en gran medida al periodo de cosecha y venta (75 días durante los meses de septiembre- octubre) del producto, éste es menor que en los otros sistemas de producción con rentabilidad positiva. Estos resultados contrastan con el elevado VAN obtenido por el sistema con estructura multitúnel-hidroponía (Cuadro 4), que exporta el 88% de su producción durante 270 días del año, incluyendo los meses de invierno cuando el precio del tomate es más elevado en el mercado internacional.

En el escenario “sustentable” (Cuadro 4), en todos los casos en donde la rentabilidad es positiva, los indicadores financieros VAN, TIR y RBC son superiores en el escenario “sustentable” que en el escenario “no sustentable”. Esto indica, que el flujo neto de efectivo que recibirían los productores en el escenario sustentable cubriría la inversión por adoptar prácticas de producción sustentables, obteniendo mejor rendimiento financiero en el escenario “sustentable” que en el “no sustentable”.

Cuadro 4. Inversión e indicadores de rentabilidad de los sistemas de producción bajo agricultura protegida por hectárea

Concepto	Grupo 1		Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
	Macrotúnel (suelo)	Casa sombra (suelo)	Multitúnel (suelo)	Raspa y amagado (suelo)	Multitúnel (hidroponía)
Situación actual					
Inversión total (000/\$) ^{1/}	2,146.6	2,255.6	4,804.4	5,068.6	14,753.3
Valor presente neto (VPN) (000/\$)	-2,168.4	1,693.9	3,281.2	5,778.5	14,006.0
Tasa Interna de Retorno (%)	-23.99	29.98	29.25	42.42	35.77
Relación Beneficio Costo	0.62	1.30	1.37	1.52	1.39
Escenario sustentable					
Inversión total escenario	2,362.1	2,471.7	5,019.8	5,284.4	16,110.7

sustentable ^{1/,2/} (000/\$)					
Valor presente neto (VPN) (000/\$)	-2,352.9	1,500.3	3,098.7	5,589.2	12,789.3
Tasa interna de retorno (%)	-23.78	26.19	27.38	39.83	31.53
Relación beneficio costo (%)	0.60	1.26	1.35	1.50	1.35
	Escenario no sustentable				
Inversión total escenario no sustentable ^{1/} (000/\$)	2,146.4	2,255.5	4,804.2	5,068.3	14,753.0
Valor presente neto (VPN) (000/\$)	-2,409.9	1,111.4	2,337.1	4,471.7	10,054.8
Tasa interna de retorno (%)		24.75	25.10	37.69	30.79
Relación beneficio costo (%)	0.57	1.20	1.28	1.42	1.29

Notas: ^{1/} Incluye reinversión necesaria por reemplazo cubierta del sistema de producción o equipo.

^{2/} En los sistemas de producción de los grupos 1, 2 y 3 se incluye la inversión cisterna de geomembrana. En el grupo 4 se incluye la inversión de un sistema de recirculación del agua. El monto asignado en la inversión por el sistema de recirculación se determinó prorrateando por número de hectáreas el presupuesto total estimado para la unidad de producción (9.12 hectáreas).

Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos en el trabajo de campo.

En lo que se refiere al indicador de rentabilidad del agua se encontró que en la situación actual, por cada litro de agua aplicada en el riego del tomate en un sistema de producción multitúnel-hidroponía se obtienen 15 centavos de ganancia, 11 en las estructuras casa sombra y raspa y amagado y 6 en mutitúnel-suelo (Cuadro 5). Como era de esperarse en el macrotúnel la rentabilidad del agua es negativa. En el escenario “sustentable”, en todos los casos analizados (donde la rentabilidad es positiva), la ganancia obtenida por cada litro de agua es mayor que en el escenario “no sustentable” y que en la situación actual. Por su parte, en el indicador productividad del agua (Cuadro 6), al igual que en la rentabilidad del agua, en el escenario “sustentable” se presentan indicadores más elevados que bajo la situación actual y el escenario “no sustentable”. Los resultados obtenidos sugieren que con la adopción de prácticas de producción de conservación como parte de una estrategia de gestión ambiental, además de coadyuvar a aminorar la degradación ambiental, los sistemas de producción rentables podrían mantener una rentabilidad financiera positiva, apoyando su competitividad

Cuadro 5. Rentabilidad del agua de los sistemas de producción bajo agricultura protegida

	Actual	Sustentable	No sustentable (año 10) ^{1/}	
Sistema de producción	\$/L	\$/L	\$/L	
Macrotúnel (suelo)	-0.01	-0.02	-0.01	
Casa sombra (suelo)	0.11	0.14	0.07	
Multitúnel (suelo)	0.06	0.10	0.04	
Raspa y amagado (suelo)	0.11	0.15	0.07	
Multitúnel (hidroponía)	0.15	0.22	0.09	

Notas: ^{1/} Se considera la ganancia de producción estimada para el año 10.

Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos en el trabajo de campo.

Cuadro 6. Productividad del agua de los sistemas de producción bajo agricultura protegida

Sistema de producción	Actual kg/L	Sustentable kg/L	No sustentable (año 10) ^{1/} kg/L
Macrotúnel (suelo)	0.004	0.007	0.003
Casa sombra (suelo)	0.021	0.028	0.017
Multitúnel (suelo)	0.012	0.021	0.010
Raspa y amagado (suelo)	0.020	0.027	0.016
Multitúnel (hidroponía)	0.022	0.033	0.018

Notas: ^{1/} Se considera el rendimiento estimado para el año 10.

Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos en el trabajo de campo.

CONCLUSIONES

En todas las unidades de producción se lleva un sistema de contabilidad que les permite determinar sus costos directos en donde se registran gastos como manejo de residuos plásticos de cubiertas, envases de insumos y residuos verdes. Sin embargo, no hay un entendimiento claro por parte de los técnicos o propietarios de las unidades de producción sobre lo que implica la contabilidad ambiental, ni la determinación de la evaluación del costo total en el proceso de producción. Aunque se mostraron abiertos a la adopción de técnicas que les permitan mejorar sus procesos y contar con mayor información para la toma de decisiones.

Los técnicos o propietarios de las unidades de producción también manifestaron que las acciones que están realizando relativas a la adopción de prácticas que ayudan a la protección del ambiente, se realizan fundamentalmente por cumplir con las normas y las leyes ambientales. Sin embargo, reconocen que el contar con certificaciones tales como: buenas prácticas agrícolas y buenas prácticas de manejo de frutas y hortalizas, buen uso de agroquímicos y manejo de agroquímicos, les permite acceder a los mercados, mejora su imagen y cotizar mejores precios.

A través de la aplicación de la TCA en la implementación de una estrategia de ahorro de agua, incluyendo costos normales y los asociados a la pérdida de productividad por degradación ambiental y los ahorros e inversión por cosechar agua de lluvia o recircular agua, las unidades de producción podrán contar con información más precisa para tomar decisiones sobre la administración de proyectos ambientales. Los indicadores de rentabilidad obtenidos en los dos escenarios “sustentable” y “no sustentable” muestran que con la adopción de prácticas de producción sustentables, además de mejorar la imagen de la empresa, permitir mejor acceso a mercados, podrían mantener una rentabilidad positiva (en el caso de obtener ganancia), además de coadyuvar a conservar los recursos naturales -suelo y agua- para sostener su productividad.

En las unidades de producción solo se identifican los costos ambientales internos de las unidades de producción. Para contar con información completa sobre los costos ambientales en la agricultura protegida se requiere trabajar en proyectos que involucren la identificación de los costos externos o costos sociales lo cual permitiría poder hacer una evaluación integral de este sector en expansión, lo que coadyuvaría a evitar riesgos ambientales futuros y fundamentar mejor la toma de decisiones y el diseño de políticas públicas.

REFERENCIAS

- Anaya-Garduño, Ml. (2010). Captación o cosecha de agua de lluvia diseño de sistemas de captación del agua de lluvia. En Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI). *Aumento de la oferta hídrica*. República Dominicana: INDRHI-Centro para la Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos en los Estados Insulares del Caribe (CEHICA).
- Alaoui, S. M., Salghi, R., Abouatallah, A., Jaouhari, N. & Hammouti, B. (2014). Impact of drip irrigation scheduling on vegetative parameters in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under unheated greenhouse. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 4(1), 71-76.
- Álvarez, C. F. (2008). Sistemas de certificación ambiental para la extensión tecnológica, la competitividad y el desarrollo rural. *Produccion + Limpia*. 3:62-87.
- Barg, S. y Swanson, D. (2004). *Full cost accounting for agriculture*. Agriculture and Agri Food Canada. International Institute for Sustainable Development.
- Bautista-Calles, J., Garcia-Espinosa, R., Pérez-Moreno, J., Zavaleta-Mejía, E., Montes-Belmont, R. y Ferrera-Cerrato, R. (2008). Inducción de supresividad a fitopatógenos del suelo. Un enfoque holístico al control biológico. *Interciencia*, 33(2): 96-102.
- Bengt, S. (2005). Environmental costs and benefits in life cycle costing. *Management of Environmental Quality*, 16(2), 107-118.
- Booker, J. F., Howitt, R. E., Michelsen, A. M. & Young, R. A. (2012). Economics and the modeling of water resources and policies. *Natural Resources Modeling*, 25,168- 218, doi:10.1111/j.1939-7445.2011.00105.x
- Brandão, M., Clift, R., Canals, M. L. & Basson, L. (2010). A Life-Cycle approach to characterising environmental and economic impacts of multifunctional land-use systems: an integrated assessment in the UK. *Sustainability*, 2, 3747-3777.
- Brown, C., Gerston, J. & Colley, S. (2005). *The Texas manual on rainwater harvesting*, 3rd ed. Texas Water Development Board. Austin, Texas: TWDB.
- Castellanos, J. Z. y Borbón M., C. (2009). Panorama de la horticultura protegida en México. In Castellanos, Javier Z. ed. *Manual de producción de tomate en invernadero*. México: Intagri.

- Castellanos, J. Z. y Ojodeagua, J. L. (2009). Manejo de la fertirrigación del tomate en suelo. En Castellanos, J. Z. (Ed.). *Manual de producción de tomate en invernadero*. México: Intagri.
- Chidiak, M. y Murmis, M. R. (2003). Gestión ambiental en la agroindustria, competitividad y sustentabilidad. Estudio 1.EG.33.4; Préstamo BID 925/OC-AR. Pre II. CEPAL-ONU.
- CNA. Comisión Nacional del Agua. (2007). *La gestión del agua en México avances y retos 2006*. México: Comisión Nacional del Agua.
- CNA. Comisión Nacional del Agua. (2008). *Programa Nacional Hídrico*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- CNA. Comisión Nacional del Agua. (2011). *Estadísticas del agua en México*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- CNA. Comisión Nacional del Agua. GODEZAC 2004-2010. UAZ. (2008). *Plan hídrico de los acuíferos Aguanaval, Calera y Chupaderos en el estado de Zacatecas*. México: CNA-GODEZAC-UAZ.
- Constable, D. (1999). Total cost assessment methodology. USA: American Institute of Chemical Engineers' Center for Waste Reduction Technologies.
- Cuevas Reyes, V., Baca del Moral, J., Cervantes Escoto, F. y Aguilar Ávila, J. (2012). Asistencia técnica en el sector agropecuario en México: análisis del VIII censo agropecuario y forestal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(5) 943-957. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263123214008>
- Curkovic, S. (2003). Environmentally Responsible Manufacturing: The development and validation of a measurement model. *European Journal of Operational Research*, 146, 130–155.
- Curkovic, S. & Landeros, R. (2000). An environmental Baldrige? *Mid-American Journal of Business*, 15(2), 63-76.
- Curkovic, S. & Sroufe, R. (2007). Total quality environmental management and total cost assessment: An exploratory study. *International Journal of Production Economics*, 105, 560-579.
- Curkovic, S., Sroufe, R. & Landeros, R. (2008). Measuring TQEM returns from the application of quality frameworks. *Business Strategy and the Environment*, 17, 93–106.
- Echavarría-Cháirez, F. G., Medina-García, G., Rumayor-Rodríguez, A., Serna-Pérez, A., Salinas-González, H. y Bustamante-Wilson, J. G. (2009). *Diagnóstico de los recursos naturales para la planeación de la intervención tecnológica y el ordenamiento ecológico*. Libro Técnico no. 10. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Eisenhardt, K. M. (1989). Building theories from case study research, *The Academy of Management Review*, 14 (4), 532-550.
- EPA. Environmental Protection Agency. (1995). *An Introduction to Environmental Accounting As A Business Management Tool As A Business Management Tool: Key Concepts and Terms*. Washington, D.C.: EPA. Office of Pollution Protection Prevention and Toxics.

- Fernández A., A. (2010). Gestión ambiental en el sector agropecuario. Colombia: Ministeria de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Fonseca, J. A., Muñoz, N. A. y Cleves, J. A. (2011). El sistema de gestión de calidad: elemento para la competitividad y la sostenibilidad de la producción agropecuaria colombiana. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 2(1), 9-22.
- Garbrecht, J., Mojarro, F., Echavarría-Cháirez, F., Bautista-Capetillo, C., Brauer, D. y Steiner, J. L. (2013). Sustainable utilization of the Calera aquifer, Zacatecas, Mexico. *Applied Engineering in Agriculture*, 29, 67-75.
- Gluch, P. & Baumann, H. (2004). The life cycle costing (LCC) approach: a conceptual discussion of its usefulness for environmental decision-making. *Building and Environment*, 39, 571-580.
- Hernández Díaz, M. I., Chailloux Laffita, M. y Ojeda Veloz, A. (2006). Cultivo protegido de las hortalizas. *Medio ambiente y sociedad. Temas de ciencia y tecnología*, 10, 25-31.
- Hernández, J. E., Gowda, P. H., Howell, T. A., Steiner, J. L., Mojarro, F., Núñez, E. P. y Avila, J. R. (2012). Modeling groundwater levels on the Calera aquifer region in Central Mexico using Mod Flow. *Journal of Agricultural Science and Technology*, B 2, 52-61.
- Huppés, G., van Rooijen, M, Kleijn, R, Heijungs, R, Koning, A. & van Oers L. (2004). *Life cycle costing and environment*. Report of a Project commissioned by the Ministry of VROM-DGM for the RIVM Expertise Centre LCA. Zaaknummer 200307074.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2014). Calculadora de inflación. México: INEGI. Consultado mayo 2014. <http://www.inegi.org.mx/sistemas/indiceprecios/CalculadoraInflacion.aspx>.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2011). Sistema de cuentas nacionales de México. Producto Interno Bruto por entidad federativa, 2006-2010. Año base 2003. México: INEGI.
- Kirda, C., Cetin, M., Dasgan, Y., Topcu, S., Kaman, H., Ekici, B., Derici, M.R. & Ozguven, A.I. (2004). Yield response of greenhouse grown tomato to partial root drying and conventional deficit irrigation. *Agricultural water management*, 69(3): 191-201.
- Koundouri, P. (2004). Current issues in the economics of groundwater management. *Journal of Economic Surveys*, 18(5), 703-740.
- Kydd, J., Pearce, R. & Stockbridge, M. (1997). The economic analysis of commodity systems: extending the policy analysis matrix to account for environmental effects and transaction costs. *Agricultural Systems*, 55, 323-345.
- Laurin, L. (2011). Total cost assessment of adding a gasification system to a sawmill in Takayama. *Earthshift*. En línea: <http://www.earthshift.com/software/3Pillars>. Consultado mayo 2014.

- Laurin, L., Hayashi, K. y Uchida, S. (2013). The environmental and social impacts of biofuels production: Total Cost Assessment of biomass utilization trials in Japan. *Earthshift*. Por publicar. En línea: <http://www.earthshift.com/software/3Pillars>. Consultado octubre 2013.
- Macías-Duarte, R., Grijalva-Contreras, R.L. y Robles-Contreras, F. (2010). Efecto de tres volúmenes de agua en la productividad y calidad de tomate bola (*Lycopersicon esculentum*, Mill.) bajo condiciones de invernadero. *Biotecnia* XII, 11-19.
- Mojarro, F., Bautista, C.F, Santana, H., Medina, A. y Martínez, J.J. (2010). *Diagnóstico y políticas de manejo para la sostenibilidad de 6 acuíferos en el estado*. Informe de Investigación. Zacatecas: SAGARPA-SEDAGRO-UAZ.
- Norris, G.A. (2000). Integrating Economic Analysis into LCA. Sylvatica, Harvard University. North Berwick, ME, USA.
- Padilla-Bernal, L. E., Agustín F. Rumayor-Rodríguez, Oscar Pérez-Veyna, and Elivier. (2010). Competitiveness of Zacatecas (Mexico) protected agriculture: the fresh tomato industry. *International Food and Agribusiness Management Review*, 13, 55-4.
- Padilla-Bernal, L. E., Lara-Herrera, A., Reyes-Rivas, E. & Perez-Veyna, O. (2012). Competitiveness, efficiency and environmental impact of protected agriculture in Zacatecas, Mexico. *International Food and Agribusiness Management Review*, 15, 49-64.
- Pearson, S., Gotsch, C. & Bahri, S. (2003). Applications of the policy analysis matrix in Indonesian agriculture. Indonesian Food policy Program. Consultado diciembre 2010. <http://www.stanford.edu/group/FRI/indonesia/index.html>
- Prando, R. R. (1996). *Manual Gestión de la Calidad Ambiental*. Guatemala: OEA-Piedra Santa.
- Puig Ventosa, I. y Freire González, J. (2007). Efectos de las políticas ambientales sobre la competitividad. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 6, 52-61.
- Ren, X. (2003). Biodegradable plastics: a solution or a challenge?. *Journal of Cleaner Production*, 11, 27-40.
- Russo, G. & Scarascia Mugnozza, G. (2005). LCA methodology applied to various typology of greenhouses. *Acta Horticulture*, 691, 837-844.
- Sánchez C., I., Catalán, E., González, C., G., Estrada, J. y García, D. (2006). Indicadores comparativos del uso del agua en la agricultura. *Agricultura Técnica en México*, 32, 333-.340.
- Sarkis, J. & Rasheed, A. (1995). Greening the manufacturing function. *Business Horizons*, 38(5), 17-27.
- Stenbæk, M. H. & Gilberg, U.M. (2003). *Cost-Benefit Analysis and Life Cycle Assessment in Environmental Decision-Making - Potentials and Limitations*. Master Thesis. Technical University of Denmark.

SEDAGRO. Secretaría de Desarrollo Agropecuario. (2010). *Apoyo a construcción y equipamiento de invernaderos, con el Programa de Alianza para el Campo del 2000 al 2007*. Subsecretaría de Agricultura. Zacatecas: SEDAGRO.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2006). *La gestión ambiental en México*. México: SEMARNAT.

SENASICA. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (2010). Lineamientos generales para la operación y certificación de sistemas de reducción de riesgos de contaminación en la producción primaria de alimentos de origen agrícola. En línea: www.senasica.gob.mx/includes/asp/download.asp?IdDocumento. Consultado Mayo 2014.

Shapiro, K. G. (2001). Incorporating costs in LCA. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 6(2), 121 – 123.

Stanghellini, C., Kempkes, F. L. K. & Knies, P. (2003). Enhancing environmental quality in agricultural systems. En: *Proceedings of the International Symposium on Managing Greenhouse Crops in Saline Environment*. Pardossi, A. Serra, G. y Tognoni, F. ISHS. *Acta Horticulturae*. Pisa, Italy.

Torrellas, M., Antón, A., López, J. C., Baeza, E. J., Pérez Parra, J., Muñoz, P. & Montero, J. I. (2012). LCA of a tomato crop in a multi-tunnel greenhouse in Almeria. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 17(7), 863-875.

Wada, Y., van Beek, L., van Kempen, C., Reckman, J., Vasak, S. & Bierkens, M. (2010). Global depletion of groundwater resources. *Geophysical Research Letters*, 37, 1-5.

White, L., Becker, M. & Savage, D.E. (1993). Environmentally smart accounting: using total cost assessment to advance pollution prevention. *Pollution Prevention Review*, 3(3), 23-35.

Williams, T. (2009). *Environmental management in agriculture and the rural industries: Voluntary approaches to sustainability and globalisation imperatives*. Rural Industries Research and Development Corporation. Publication (09/023). Australian Government. Canberra: Union Offset Printing.