

Estudios Sociales

Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo regional

Número 51, volumen 28. Enero - Junio 2018

Revista electrónica. ISSN: 2395-9169



La acuicultura frente a los impactos de la actividad agrícola en la calidad de los servicios ambientales de la cuenca del río mayo. Una propuesta para su abordaje desde la economía ecológica.

Aquaculture against the impacts of agriculture in the quality of the environmental services of the mayo river basin. A proposal for its address from the ecological economy

DOI: <http://dx.doi.org/10.24836/es.v28i51.507>

Isaac Shamir Rojas Rodríguez*
Vidal Salazar Solano**

Fecha de recepción: 13 de julio de 2017.

Fecha de envío a evaluación: 11 de agosto de 2017.

Fecha de aceptación: 30 de agosto de 2017.

*Estudiante del Doctorado en Desarrollo Regional.
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo.

**Autor para correspondencia: Vidal Salazar Solano.

Dirección: vidal@ciad.mx

Departamento de Economía Regional e Integración
Internacional.

Coordinación de Desarrollo Regional.

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo.

Carretera a La Victoria km 0.6 s/n C. P. 83304.

Hermosillo, Sonora, México.

Teléfono: + 52 (662) 289-24-00.

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C.
Hermosillo, Sonora, México

Resumen / Abstract

Objetivo: diseñar una estrategia interdisciplinaria para el análisis de los impactos ambientales de la actividad agrícola, sobre la eficiencia del sistema productivo acuícola en la cuenca del Río Mayo. Metodología: exploración de experiencias científicas en el tratamiento de la contaminación para su síntesis, en un modelo de intervención a nivel de cuenca hidrológica, en alineación con los criterios de la economía ecológica. Se ha utilizado como referente el análisis de la cuenca mexicana del Río Mayo, se describen las relaciones entre la contaminación originada en la agricultura intensiva y su impacto en sistemas productivos operantes aguas abajo (acuicultura del camarón). Resultados: se implementó una estrategia interdisciplinaria para analizar, mediante técnicas de modelado hidrológico, la interacción de la actividad agrícola con los principales componentes de los ecosistemas, para estimar los remanentes de contaminación desplazada desde los sistemas productivos de la cuenca hacia las aguas costeras y su afectación a los cuerpos de agua que soportan la actividad acuícola. Limitaciones: la carencia de literatura especializada en el análisis casuístico de la interrelación entre actores económicos con los ecosistemas proveedores de servicios ambientales, demanda del esfuerzo integrado de las ciencias naturales y la economía. Conclusiones: la valoración técnica adecuada del fenómeno analizado está condicionado al abandono del paradigma económico predominante, que soslaya la dimensión biofísica y social de los problemas que los propios procesos económicos generan.

Palabras clave: desarrollo regional; cuenca hidrológica; contaminación; impacto ambiental; economía ecológica; camaronicultura;

Objective: To design an interdisciplinary strategy for the analysis of the environmental impacts of agricultural activity on the efficiency of the aquaculture production system in the Río Mayo basin. Methodology: Exploration of scientific experiences in the treatment of pollution for its synthesis, in a model of intervention at the level of Hydrological Basin, in alignment with the criteria of the ecological economy. We used as reference the analysis of the Mexican Basin of the Rio Mayo; the relationships between the pollution originated in intensive agriculture and its impact on productive systems downstream (aquaculture of the shrimp) are described. Results: An interdisciplinary strategy was constructed to analyze, through hydrological modeling techniques, the interaction of agricultural



activity with the main components of the ecosystems, to estimate the remnants of pollution displaced from the productive systems of the basin to the coastal waters and their affectation to the bodies of water that support the aquaculture activity. Limitations: The lack of specialized literature in the casuistic analysis of the interrelationship between economic actors and ecosystems that provide environmental services, demands the integrated effort of the natural sciences and the economy. Conclusions: The adequate technical evaluation of the analyzed phenomenon is conditioned to the abandonment of the prevailing economic paradigm, that obliterates the biophysical and social dimension of the problems that the own economic processes generate.

Key words: regional development; hydrological basin; pollution; environmental impact; ecological economy; shrimp farming;



Introducción

En el análisis de impactos a los servicios ambientales, cobran relevancia los enfoques de las ciencias económicas y las ciencias naturales sobre fenómenos ambientales como la contaminación y el cambio climático. En la historia de sus relaciones, la economía se concentró en proponer herramientas metodológicas para valorar la eficiencia de la actividad productiva, en tanto que las ciencias naturales se centraron en preservar la integridad de las estructuras de los ecosistemas (Naredo, 2001; Martínez, 2004).

En las últimas décadas, sin embargo, se ha coincidido en advertir que estos campos del conocimiento, deben ser abordados en forma interrelacionada, dado el alto grado de complejidad de los fenómenos que estudian. El uso que los actores económicos han dado a los recursos naturales, ya sea para insumo en sus procesos productivos o como receptores de residuos, deterioran la integridad de los ecosistemas en menoscabo de su utilidad tanto presente como futura. (Haro y Taddei, 2014).

Para estudiar la complejidad que alcanzan las interrelaciones entre los usuarios de los ecosistemas proveedores de bienes y servicios, es necesaria la participación complementaria de las ciencias naturales y la economía. El tratamiento que éstas aportan al estudio de fenómenos resultantes de la interacción del hombre con los ecosistemas, como es la contaminación, reconoce el origen multivariante del mismo, particularmente a nivel de cuenca hidrológica donde se corrobora la concurrencia de agentes cuyos sistemas productivos comprometen la calidad y cantidad de los recursos (Cotler et al., 2013; Babin, Mullendore y Prokopy, 2016).

Como ejemplo de la concurrencia de diversos agentes económicos, se toma como referencia la cuenca baja del Río Mayo en el estado de Sonora, México, donde se genera la mayor producción de camarón (de granja) y trigo en el país



desde hace varios años (Tabla 1). En el año 2016, Sonora destacó en la producción nacional con una aportación de 439 mil 652 toneladas de camarón de granja (Sagarpa, 2017).

Tabla 1 Producción estatal de trigo en México

ESTADO	Superficie Sembrada				
	2016	2015	2014	2013	2012
Sonora	292,494.00	322,935.00	305,835	308,324	254,759
Baja California	102,960.00	97,512.00	84,735	90,180	83,496
Sinaloa	74,366.00	79,384.00	62,292	42,213	47,755
Guanajuato	40,360.00	71,744.00	43,354	34,181	23,173
Michoacán	38,352.00	42,172.00	29,776	28,598	22,662
Total nacional	646,922	747,079	615,069	591,915	504,969

Fuente: elaboración propia con datos de Sagarpa (2017)

La diversidad de recursos de la cuenca baja del Río Mayo, le provee de vocaciones productivas, cuya estrategia de aprovechamiento escapa al control de los actores locales. La toma de decisiones sobre el uso de los bienes y servicios ambientales, queda a cargo de los actores externos, posicionados en los eslabones más rentables de las cadenas agroalimentarias, ellos deciden qué, cómo, cuándo y cuánto se produce. Al margen del acierto de esas decisiones en la rentabilidad de los sistemas que controlan, llegan a entrar en contradicción con otros sistemas productivos y poner en riesgo el funcionamiento sustentable de toda la cuenca.

La interacción de los componentes de los ecosistemas con las diferentes actividades antropogénicas, puede ser estudiada de una manera más amplia desde el enfoque de la economía ecológica; es por ello que el objetivo de este documento es proponer, desde las directrices de la misma, una estrategia interdisciplinaria para el análisis de los impactos ambientales de la actividad agrícola, sobre la eficiencia del sistema productivo acuícola en la cuenca del Río Mayo.

El trabajo está organizado en cinco apartados. El primero sintetiza la evolución del pensamiento económico, en relación con la importancia de los bienes naturales en la creación de riqueza, desde el enfoque fisiocrático hasta las posturas Walrasianas. El segundo, describe el surgimiento de la economía ecológica, así



como sus fundamentos para el abordaje del análisis de los ecosistemas en relación con el desarrollo de la actividad económica. En el tercer apartado se expone la interacción de los actores económicos con los servicios que ofrecen las cuencas hidrológicas y la génesis de la contaminación que en éstas se reporta. Se describen, además, los vínculos de la contaminación originada en la agricultura de exportación y sus posibles impactos en la acuicultura del camarón en la cuenca del Río Mayo. En el cuarto apartado se aborda la estructura analítica propuesta para el estudio de la contaminación agrícola de los cuerpos de agua dentro de la cuenca hidrológica y su impacto en la camaronicultura, explicado desde los fundamentos de la economía ecológica. Finalmente, se presentan las principales conclusiones que de la investigación se desprenden.

El pensamiento económico en torno a los recursos naturales

En la configuración del pensamiento económico fisiocrático liderado por François Quesnay (1758), quien afirmaba que la única actividad capaz de generar riqueza era la producción de la tierra, surge el enfoque de la llamada *economía de la naturaleza*, a partir del cual toma forma el cuestionamiento en torno a los recursos naturales. En esta perspectiva, cobra relevancia el factor “tierra” como el más importante de una función producción (Viñas, 1974).

Los economistas clásicos separaron la idea de los bienes naturales, apoyada por los fisiócratas, en su razonamiento económico del mundo físico. De esta forma, el andamiaje teórico posterior a las argumentaciones sobre la consolidación de un estado liberal, soslayó la importancia del capital natural y se instauró en un plano central basado en la libre operación de las fuerzas del mercado y la división del trabajo en la creación y distribución de la riqueza.

Leon Walras, desde la perspectiva económica del “equilibrio general”, argumentó que los recursos naturales sólo aportaban utilidad potencial a la economía, por lo tanto, su análisis no formaba parte medular de la ciencia económica.

Hay en el mundo cierto número de cosas útiles que, desde el momento en que no faltan totalmente, se encuentran a nuestra disposición en cantidades ilimitadas. Por ejemplo, el aire, la luz y el calor solares cuando el sol ha salido, el agua de los lagos, corrientes y ríos, se encuentra en tal cantidad que a nadie puede faltarle; cada uno puede tomar toda la que quiera. Estas cosas, que son útiles, no son generalmente escasas y por lo tanto no forma parte de

la riqueza social; sólo excepcionalmente pueden escasear y por ello, formar parte la riqueza social (Walras, 1987:156).

Walras no consideraba limitada la disposición de los bienes naturales, sin embargo, contemplaba la eventualidad de que su acceso se volviera restringido, de esa forma juzgó pertinente cuantificarlos con el propósito de otorgarles un valor de cambio. Su modelo económico, conforma una visión de largo plazo: En ella, los precios de los bienes son estables, los consumidores racionales, los mercados completos y la información perfecta, por lo tanto, no se prevé el surgimiento de externalidades.

En este escenario, el ejercicio de cuantificar los bienes naturales y asignarle precios o valores de cambio sería poco probable, para ello, Pigou (2013) representó una situación hipotética en la cual el funcionamiento de una fábrica perturbaba a los vecinos por el humo que despedían las chimeneas; hizo énfasis en que las afectaciones no se veían reflejadas en la estructura de costos de la fábrica y, sin embargo, sus operaciones infringían molestias o pérdidas a los vecinos. La manifestación de esos efectos es lo que Pigou concibe como “externalidades”, las cuales, no se suman a los costos/beneficios del empresario, pero sí implican un costo/beneficio para la sociedad “generalmente en forma de efectos medioambientales y socioeconómicos” (Martínez, 2004:87). Esto ocurre, con frecuencia, con el uso destructivo de recursos naturales, menoscabando las posibilidades de su posterior utilización, particularmente para las generaciones futuras, las sufrirán esta pérdida de riqueza (Roncaglia, 2006).

El surgimiento de la economía ecológica

La evolución del pensamiento económico al soslayar la importancia de los recursos naturales en su análisis, condujo a la analogía de que la ciencia económica convencional fuese considerada una especie de sistema de calderas, sin pérdidas energéticas, cien por ciento eficiente, que no emite desperdicio alguno y hace uso eficiente de los recursos; una maquina perfectamente funcional, incapaz de generar daño, creadora de crecimiento y acumulación.

Uno de los dilemas que detonaron el estudio de la relación entre las actividades humanas y los recursos naturales, fue “la tragedia de los comunes” establecida por Garret Hardin en 1968, donde explicaba la acción racional de maximizar ganancias de cada actor económico, sin tomar en cuenta el uso que se diera al



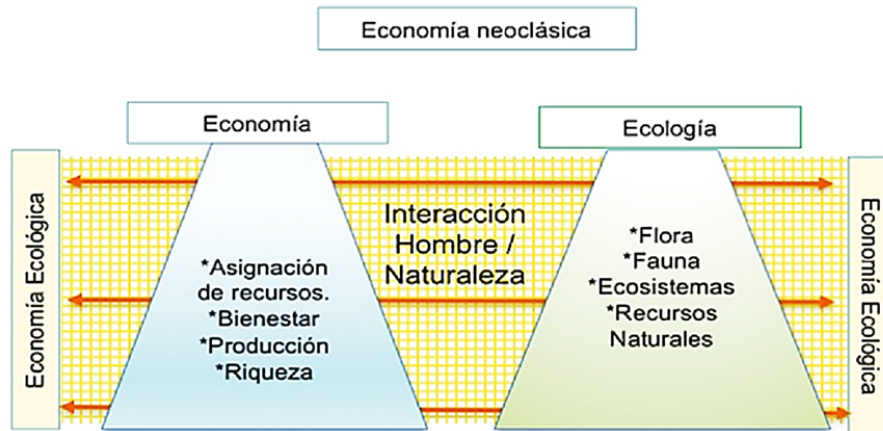
ecosistema donde llevara a cabo su actividad, mucho menos el detrimento que pudiera causar en otros usuarios del mismo, debido a la falta de la definición de los derechos de propiedad. La carencia del estudio de esas relaciones dentro de la economía convencional fue catalizadora en el surgimiento de la economía ecológica.

Daly (1977) planteaba que la tierra había perdido la capacidad de proveer fuentes de materias primas y que era incapaz de seguir funcionando como sumidero de desechos de una economía creciente como la actual. Considera insostenible continuar con el afán productor de las diversas actividades económicas, debido a que la tierra ha llegado a un punto muerto donde el crecimiento económico ya no era una opción.

Entre las críticas más consistentes emanadas de las visiones emergentes de la economía a la ciencia económica convencional, se encuentra la puntualización de que su arsenal metodológico excluye al principal proveedor de bienes y servicios de las entidades generadoras de riqueza; el medio ambiente.

A partir de las aportaciones de Nicholas Georgescu-Roegen (1986), es que se incorpora al análisis económico, el medio ambiente y el accionar de las leyes de la termodinámica. Con ello es posible reinterpretar a la economía como un subsistema abierto y complejo, generador de desechos, cuyas implicaciones deberían ser objeto de su análisis. Dentro de ese subsistema, se concibe a las actividades económicas como entidades, con entradas, procesos y salidas, las cuales generan transumos (desechos) que, al no ser valorados dentro del sistema económico estándar, requieren de un modelo de análisis alternativo apoyado en un nuevo marco metodológico para su estudio (Daly y Farley, 2004), como lo muestra la Figura 1.

Figura 1. Enfoques de la economía.



Fuente: elaboración propia con base en Costanza, 1991; Naredo, 2001; Martínez-Allier y Muradian, 2015.

El enfoque neoclásico de la economía deja de lado el estudio de los elementos de la naturaleza, ignorando las repercusiones de la incorporación de los efectos negativos producidos por la presión que ejercen la actividad económica en los ecosistemas. La economía ecológica, presenta las herramientas metodológicas y conceptuales para dar respuesta a las relaciones de causalidad de los fenómenos que surgen de la interacción del hombre y la naturaleza.

Fundamentos de la economía ecológica para la noción del funcionamiento de los ecosistemas

Con la introducción del uso de las leyes de la termodinámica propuesta por Georgescu-Roegen (1986), que explican el uso de los recursos naturales como un proceso de intercambio de energía, es que la economía ecológica tiene sus bases en tres principios fundamentales:¹

- A. Ley de conservación de la materia y la energía: la materia y la energía ni se crean ni se destruyen, sólo se transforman. Todo material utilizado en las actividades humanas, al ser transformado mediante procesos energéticos, es convertido en material de desecho al no poder ser reutilizado en el proceso que lo generó.
- B. Ley de la entropía. La materia y la energía se degradan de manera



continua e irreversible de una forma utilizable a otra no utilizable. Esta premisa establece que todos los sistemas tienen cierto grado de entropía, la cual tiende a aumentar con el tiempo.

C. El tercer fundamento presenta una dicotomía;

- a. Resulta insostenible generar residuos en una proporción que supere la capacidad de asimilación de los ecosistemas receptores.
- b. Es imposible extraer recursos naturales más allá de la capacidad de recuperación de los ecosistemas, sin que ello conduzca al agotamiento de sus servicios.

La actividad humana, incluida la económica, se encuentra limitada por las capacidades de producción, asimilación y restablecimiento de los ecosistemas, es por ello que se requiere del conocimiento sistemático de los procesos de afectación y regeneración de las estructuras de los ecosistemas utilizadas por las actividades humanas. El despliegue de cualquier accionar económico, más allá de los límites de la naturaleza, implica el deterioro de los sistemas naturales de manera irreversible, impidiendo la permanencia de la actividad que los origina, además, de impactar a los servicios ambientales suministrados a otros usuarios (Martínez y Roca, 2015).

La ley de la conservación de la materia es esencial para la comprensión del uso, transformación y degradación de los elementos de la naturaleza. Estas acciones se llevan a cabo en los procesos de producción de bienes y servicios de consumo. Las actividades económicas se encuentran condicionadas a la interacción del *homo economicus* con los ecosistemas.

Un ecosistema está conformado por estructuras interactuantes, que proveen bienes y servicios ambientales indispensables para la existencia humana y su accionar económico; algunos de ellos son: la regulación del caudal de los ríos, el mantenimiento de los regímenes hidrológicos, el suministro de agua dulce, la respuesta a eventos naturales extremos, entre otros (De Groot, Wilson y Boumans, 2002; Wallace, 2007; Baggethun et al., 2010). Su permanencia está condicionada por la operación de la segunda ley de la termodinámica: *la cantidad de entropía del universo tiende a incrementarse en el tiempo*. La entropía se concibe, como la pérdida de energía de la materia una vez utilizada; por ejemplo, la pérdida de capacidad de producir calor de la leña al consumirse en cenizas (Carpintero, 2006).

El uso de los recursos naturales, incluso en niveles sustentables, causa detrimento de los servicios que pueden prestar los ecosistemas. La interacción entre actividades económicas y servicios ambientales es el objeto de estudio de la

economía ecológica. Esta disciplina identifica tres tipos de servicios ambientales fundamentales (Daly y Farley 2004; Baggethun et al., 2010): recursos renovables, servicios de los ecosistemas y capacidad de absorción.

Los ecosistemas están conformados por componentes bióticos y abióticos los cuales (en su interacción o de manera individual) proveen bienes y servicios ambientales que son utilizados por las actividades económicas, mismas que generan desperdicios que son depositados en los ecosistemas y que son neutralizados a través del servicio de “recepción de desechos”. De tal forma que la capacidad de regeneración de los ecosistemas propicia que las actividades económicas, sean condicionadas por los servicios ambientales (Figura 2). Es por ello que Tetreault (2008) sostiene que los ecosistemas sirven de proveedores de materia prima de baja entropía y son receptores de materia con alta entropía, proveniente de los desechos de las actividades productivas.

Figura 2 Funciones de los ecosistemas



Fuente: elaboración propia con base en Daly y Farley, 2004; Tetreault, 2008.

Las leyes de la termodinámica consignan que, una vez utilizados los recursos naturales como insumos en los procesos económicos, son degradados y reintegrados al ecosistema como desechos. Algunos desperdicios son asimilados por procesos de absorción y regeneración de los ecosistemas. El “acopio de



desechos”, es uno de los servicios más notables de los ecosistemas, pero, a su vez, de los más riesgosos para su integridad. La descarga residual más allá de la capacidad de absorción de los ecosistemas, puede propiciar la reducción de su tasa de absorción y afectar otras funciones, que no siempre pueden ser pronosticadas (Daly y Farley, 2004).

Las cuencas hidrológicas y la contaminación en sus cuerpos de agua

Dado que las cuencas hidrológicas son espacios conformados por diferentes componentes de los ecosistemas, los cuales (de conformidad con los fundamentos de la economía ecológica) de manera individual o combinada proveen de bienes y servicios ambientales para el desarrollo de las actividades antropogénicas; tal es el caso de las líneas de agua que generan su estructura orográfica, las cuales conforman un sistema hidrológico, cuya desembocadura puede ser hacia algún lago o aguas costeras. Al incorporar el estudio del ciclo del agua, donde toda gota que cae dentro del territorio sigue su ciclo natural, ésta pasa a ser conceptualizada como una cuenca hidrológica (World Vision, 2007). Su análisis incluye los componentes de los ecosistemas: tipo de suelo, uso del suelo, relieves, precipitaciones, que, entre otros factores, resultan necesarios para describir la dinámica que se gesta entre los seres humanos y los ecosistemas (Cotler et al., 2013).

Las cuencas integran una compleja diversidad de ecosistemas, donde se reconocen los vínculos entre sus territorios, los cuales crean una conexión entre poblaciones alejadas unas de otras. Otorgan bienes y servicios ambientales indispensables para la existencia humana (Balvanera y Cotler 2009; Gaspari et al., 2015). Sus ecosistemas ofrecen características únicas, como la conformación geológica, morfología, hidrología, clima, vegetación, que, al interactuar con los procesos económicos, contribuyen a la dispersión de los transumos (Vigil, 2003).

El reporte de la evaluación de los “Ecosistemas del milenio” (Reid, 2005), puntualiza la degradación de múltiples ecosistemas en el mundo vinculada a la explotación de servicios ambientales como el suministro de agua, regulación de la calidad del aire, regulación del clima y purificación del agua. A nivel de cuencas hidrológicas las principales actividades económicas promotoras de degradación ambiental son la minería, la agricultura y la ganadería (Aguilar, 2010; Huang et al., 2017).

De acuerdo con la Agencia de Protección del Ambiente de Estados Unidos, en



la ponderación de las principales fuentes de afectación de la calidad del agua en cuerpos superficiales, se destacan en primer término las actividades económicas rurales, seguidas por fuentes puntuales municipales y por último la escorrentía urbana (Tabla 2).

Tabla 2 Principales fuentes de afectación de la calidad del agua en cuerpos superficiales

Clasificación	Ríos	Lagos
1	Agrícolas	Agrícolas
2	Fuentes puntuales municipales	Fuentes puntuales municipales
3	Cambios en el hábitat de los ríos	Escorrentía urbana

Fuente: Novotny, 2003.

Los productores agropecuarios, en el afán de incrementar su competitividad suelen excederse en el uso de agroquímicos; esas sustancias terminan por contaminar los cuerpos de agua de las cuencas a través de la escorrentía (Novotny, 2003). La presencia de lluvias conduce hacia arroyos tributarios los remanentes de pesticidas y otros agroquímicos no asimilados durante la gestación de los cultivos, así como compuestos químicos generados por la actividad pecuaria y elementos residuales liberados en la extracción de minerales, el traslado y manejo de materiales, entre otras fuentes. Así, las cuencas hidrológicas son catalogadas como los vasos captadores de las precipitaciones, además de depósitos de los remanentes de la actividad antropogénica (Carpenter, 1998; Cotler et al., 2013; Smith et al., 2017).

En general, los ecosistemas cuentan con cierta capacidad para absorber desperdicios, pero al ser rebasada, habrán de generarse daños, que eventualmente impedirán el aprovechamiento de sus bienes y servicios por otros usuarios (Barota et al., 2017).

El estudio de la contaminación originada en la agricultura a nivel de cuenca hidrológica, además de ser abordado desde la perspectiva ecológica, requiere una fundamentación interdisciplinaria explicativa de la interacción de la diversidad de actores que dependen de los servicios que prestan las cuencas (Smith y Siciliano, 2015).



El aumento de la intensidad del uso de la tierra agrícola en las regiones altas de las cuencas amenaza la integridad de las aguas superficiales y los humedales de las zonas bajas. Estudios recientes sobre la experiencia de Nueva Zelanda en relación con la degradación de los ecosistemas en las cuencas, sostienen que la agricultura es la actividad que más contribuye a través de la contaminación del agua por escorrentía² (Caruso et al., 2013).

Investigaciones efectuadas en China indican que, al menos, el 61% de las aguas subterráneas, y el 28% de las superficiales, en las principales cuencas hidrológicas, son clasificadas como no aptas para el uso humano. Consideran a la agricultura como la principal causa de esa contaminación al aportar el 57% del nitrógeno y el 69% del fósforo que se introduce en los cuerpos de agua. La contaminación aportada por la agricultura es difícil de mitigar, ya que consiste en la liberación de diversos agentes surgidos de fuentes dispersas a través de la cuenca (Smith et al., 2017).

En la Evaluación de los ecosistemas del milenio,³ se realizó, por lo menos, un millar de investigaciones alrededor del mundo lideradas desde el campo de la ecología, en las cuales se hace énfasis en la carencia de análisis especializados en la sobreexplotación de los ecosistemas y sus efectos en la diversidad de actores económicos usuarios de los bienes y servicios ambientales. Algunos de los vacíos identificados están relacionados con los servicios de los ecosistemas y su interacción con el bienestar humano. Examinar la dispersión de los transumos de las actividades económicas en los ecosistemas, es una tarea fundamental para determinar sus impactos, tanto en la calidad de los recursos naturales como en el bienestar de los actores productivos dependientes de esos recursos (Reid, 2005).

Herramientas de análisis de la contaminación de la agricultura globalizada sobre la acuicultura en la cuenca del Río Mayo

La interdependencia de las actividades económicas con los bienes y servicios ambientales que prestan los ecosistemas debe abordarse por rutas metodológicas alternativas, que hagan factible integrar las variables ambientales y antropogénicas de mayor influencia en el funcionamiento del sistema. El estudio de las actividades económicas en las cuencas, demanda analizar los eslabonamientos productivos para determinar el uso que hacen de los bienes y servicios ambientales disponibles en el territorio.

La mundialización de los mercados agroalimentarios, estimula en las regiones



con menor desarrollo relativo la presencia de empresas cuyos modelos se sustentan en la obtención de beneficios de corto plazo. El eslabón de la comercialización de las cadenas agroalimentarias globales, en su propósito de mantener y acrecentar las cuotas de mercado, condiciona a las unidades de los demás eslabones a intensificar la explotación de los recursos ambientales más allá de la capacidad de regeneración de los ecosistemas.

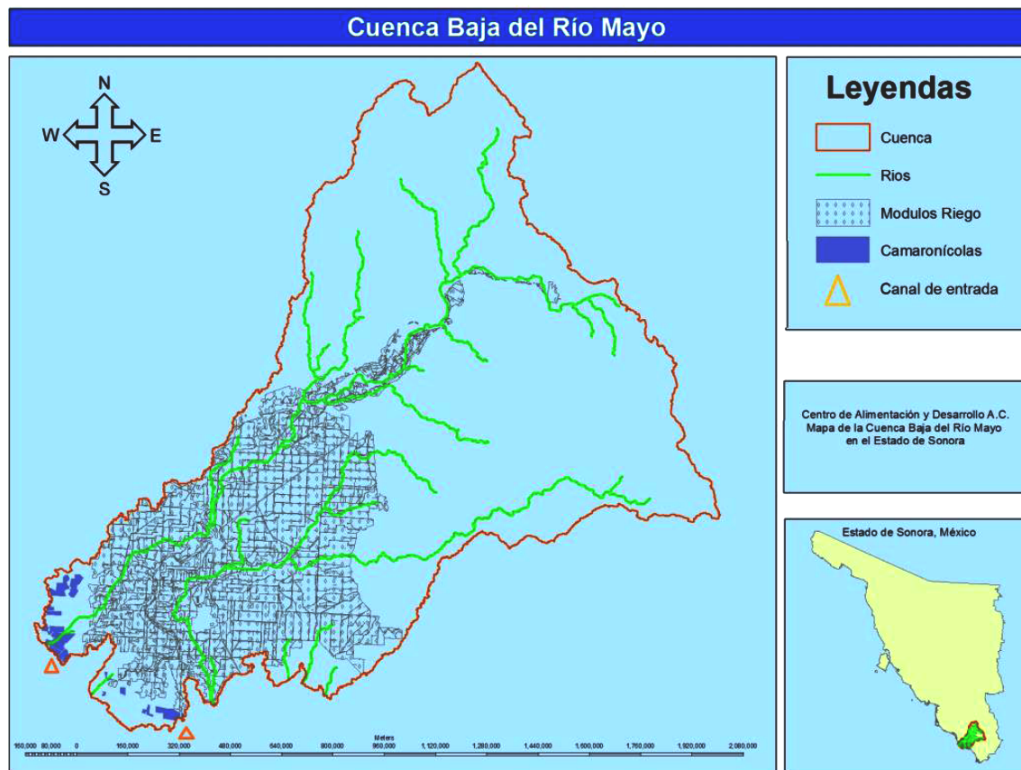
Ciertamente, se ha argumentado la relevancia que ha cobrado la gestión de la calidad e inocuidad de los sistemas agroalimentarios (Hernández y Villaseñor, 2014), sin embargo, ello no lo exime del efecto negativo que a nivel de territorio ha promovido la práctica de sistemas intensivos de producción agrícola.

La cuenca hidrológica del Río Mayo en Sonora, forma parte de los territorios mexicanos alineados a las dinámicas impuestas por los mercados globalizados. Su actividad primaria se despliega en amplias superficies dotadas con moderna infraestructura, maquinaria, equipamiento y sistemas de riego tecnificados. Para sostener su presencia en los mercados agroalimentarios globales, las empresas recurren al uso de paquetes tecnológicos que intensifican su productividad, pero que promueven la contaminación ambiental y la afectación de las operaciones de otros sistemas productivos (Leal et al., 2014), como ocurre en el caso neozelandés documentado por Caruso et al. (2000).

Por lo anterior, el estudio de la alineación de las actividades antropogénicas de la Cuenca del Río Mayo a la operación de la demanda alimentaria global, requiere del abordaje analítico no sólo de los impactos sobre la calidad sus servicios ambientales, sino, además, de los sistemas productivos dependientes de esos bienes y servicios afectados, tal como lo sugiere Barota et al. (2017). Es en ese sentido, se hace necesario integrar al análisis de la cuenca del Río Mayo, tanto los componentes de los ecosistemas como sus vínculos con las actividades económicas, de manera específica la conexión de los componentes de los ecosistemas con la agricultura y acuicultura en la región de la cuenca baja del Río Mayo.

La zona costera de la cuenca, recibe los drenes exorreicos, los cuales aportan a las aguas costeras los remanentes de la actividad agrícola. Las zonas receptoras de estos desechos son también los lugares de asentamiento de Juntas Locales de Sanidad Acuícolas (parques acuícolas), los cuales tienen sus canales de entrada de agua en las zonas afectadas por los drenes, estas relaciones pueden ocasionar impactos en la acuicultura, como lo corrobora la literatura revisada.

Figura 3 Zona costera de la Cuenca Baja del Río Mayo



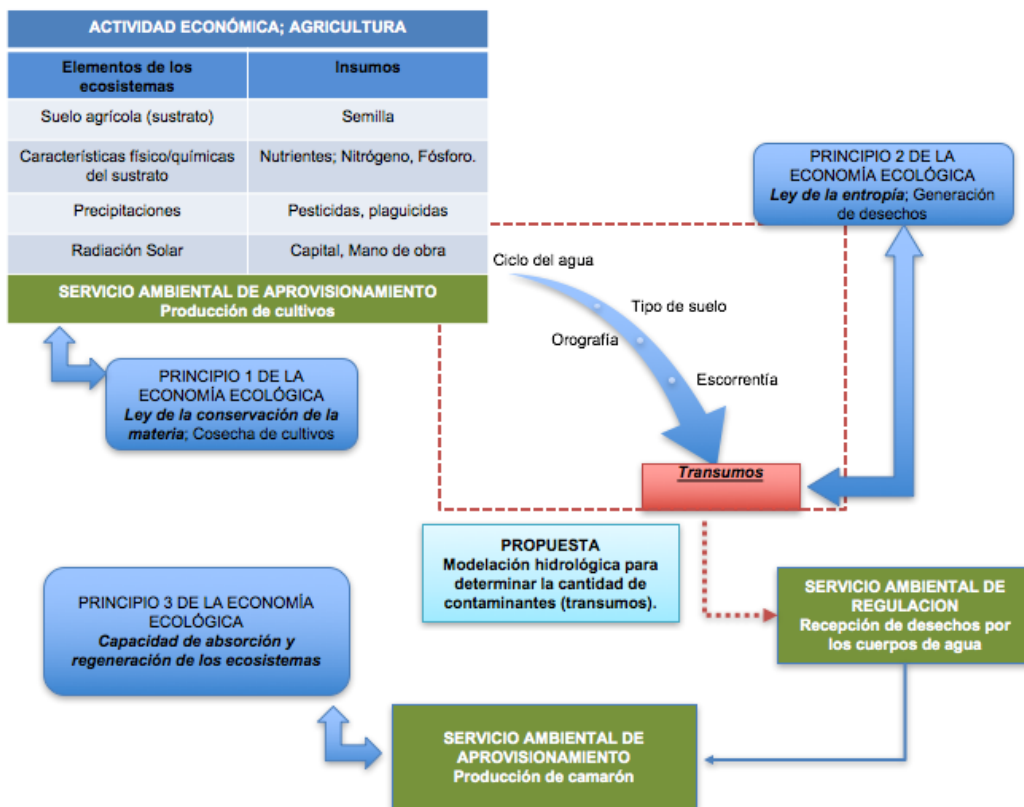
Fuente: elaboración propia (2017).

Para llevar a cabo un análisis sistémico se requiere la integración de diversos factores biofísicos que intervienen en los procesos naturales como el tipo de vegetación, suelo, rangos de pendientes, precipitación y temperatura, ya que cuando estos se relacionan en procedimientos que involucran territorialidad pueden proporcionar información acerca del comportamiento de los procesos naturales (Haro, 2011:93).

El estudio de estos componentes a través de una modelación hidrológica de la cuenca, permitirá estimar la cantidad de escorrentía y la ubicación de sus desfuegos hacia las costas durante las distintas estaciones climáticas, obteniendo así la cantidad de diversas sustancias que son depositadas en los cuerpos de agua. Dentro de la estructura de análisis propuesta, se toma en cuenta la interacción que

tiene la actividad agrícola con los servicios ambientales y diversos componentes de los ecosistemas, como el ciclo del agua, que es el encargado de transportar los remanentes de esta actividad a lo largo de la cuenca. El propósito específico es cuantificar el volumen de contaminación que se desplaza, desde los sistemas productivos agrícolas de la cuenca hasta las aguas costeras, en detrimento de la calidad del recurso hídrico utilizado como insumo en las granjas acuícolas (Figura 3).

Figura 3 Estructura de Análisis propuesta



Fuente: elaboración propia.



El modelo de análisis del problema expuesto

La ruta de análisis consiste en tres etapas:

Etapla 1. Integración de información estadística y biofísica en el Sistema de Información Geográfica de la Cuenca Hidrológica:

- a. El modelo de elevación digital: su construcción aporta datos sobre el relieve del terreno que comprende la cuenca hidrológica y que es determinante para la definición de los cauces de agua en el territorio.
- b. Uso del suelo: es la superficie aprovechada por los actores productivos en las distintas actividades económicas, especialmente la relacionada a los sistemas agrícolas.
- c. Tipos de suelo: se refiere a la clasificación de suelos por sus características físicas, químicas y sus propiedades: grado de filtración, arrastre de sedimentación, etc.
- d. Precipitación: intensidad y ubicación de la precipitación pluvial es fundamental en la caracterización y el análisis del ciclo hidrológico del territorio
- e. Temperatura: hace posible precisar las pérdidas hídricas por evaporación, conforme a la concentración de temperatura por zonas de la cuenca.

Etapla 2. Estimación de la contaminación generada por fuentes agrícolas, a partir de una simulación hidrológica. El procedimiento se fundamenta en información disponible en distintos periodos. Para tales efectos es posible aprovechar la simplificación que aporta el uso de herramientas de simulación como el Groundwater Loading Effects on Agricultural Management Systems (GLEAMS)⁴ y el Erosion-Productivity Impact Calculator (EPIC), sintetizados por el Modelo Soil and Water Assessment Tool (SWAT) aprovechado con éxito en la realización de estudios hidrológicos. En este Modelo, el ciclo hidrológico sintetiza la simulación del balance hídrico en la ecuación 1 (Neitsch et al., 2009):

Ecuación 1. Modelo hidrológico.

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - Q_{gw})$$

Dónde:

SW_t: Contenido final de agua en el suelo (mm H₂O),



SW0: Contenido inicial de agua en el día i (mmH_2O),

T: Tiempo (en días),

Rday: Precipitación el día i ($\text{mm H}_2\text{O}$),

Qsurf: Escurrimiento superficial en el día i ($\text{mm H}_2\text{O}$),

Ea: Evapotranspiración el día i ($\text{mm H}_2\text{O}$),

Wseep: Ingreso de agua a la zona vadosa dado el perfil de suelo el día ($\text{mm H}_2\text{O}$), y,

Qgw: Flujo de retorno en el día i ($\text{mm H}_2\text{O}$).

La información genera indicadores de contaminación originada en las zonas agrícolas y desplazada hacia los cuerpos de agua: cantidad de sedimentos, nitrógeno orgánico, fósforo orgánico, nitratos, amonios, nitritos y fósforo mineral, entre otros. Estas sustancias, de acuerdo con la revisión bibliográfica (Xiao y Ji, 2007; Tran et al., 2010; Riva-Murray et al., 2010; Zhou, Wu y Peng, 2012), generan daños en la calidad del agua, que es el insumo principal de la actividad camaronícola, en este caso de la Cuenca Hidrológica del Río Mayo.

Etapa 3. Con los datos resultantes de los procedimientos efectuados en la primera y segunda etapa, se procede a establecer las correlaciones de la incidencia de contaminantes en productividad, estructura de costos e inocuidad de las granjas camaronícolas, lo que permite la estimación de valores a escala del sistema acuícola en la Cuenca.

De acuerdo con Boyd (2001) la pérdida de rentabilidad en el cultivo de camarón se debe a la presencia de enfermedades que pueden ser causadas por factores físicos o ambientales externos, como la sobresaturación de nitrógeno, incremento en la temperatura, condiciones hipóxicas, variaciones de pH, eutrofización, químicos tóxicos como pesticidas y agroquímicos.

La práctica de verter aguas residuales, sin procesar, al océano se realiza por una gran cantidad de actores productivos. Los contaminantes provenientes de los sistemas productivos agropecuarios fluyen a través de los ríos hacia los océanos. La liberación de nutrientes químicos a los mares provoca la reducción de los niveles de oxígeno, la decadencia de la vida vegetal y una severa disminución en la calidad del agua de mar (Vikas y Dwarakish, 2015).

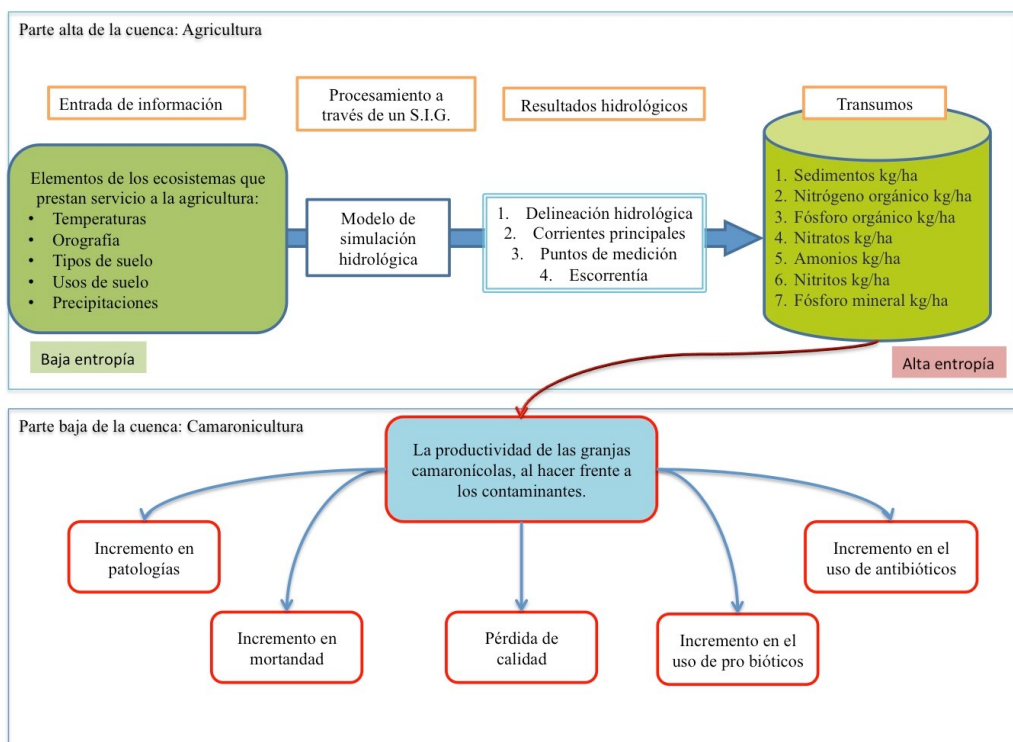
La cantidad de oxígeno⁵ disuelto en el agua costera utilizada en la camaronicultura debe apegarse a determinados parámetros, que resultan afectados por la presencia de contaminantes (Senasica, 2003). El oxígeno disuelto es un elemento esencial para regular las funciones metabólicas del camarón (Fonseca et al., 2013). Se ha observado que la prevalencia de diferentes enfermedades como el



Síndrome de la Mancha Blanca o hepatopancreatitis necrotizante presentan cierta incidencia debido a los factores bióticos y abióticos propios de las regiones de estudio, además de su localización geográfica (Morales et al., 2011).

La acumulación de sustancias contaminantes degradantes de la calidad de las aguas costeras tiene afectación económica en las unidades de producción acuícolas establecidas en las zonas con vocación agrícola. Ello pone de manifiesto la necesidad de contar con una caracterización adecuada de los desplazamientos de los transumos, aportados por la agricultura, así como de sus efectos en la sustentabilidad de estas unidades de productivas. En ese sentido, se propone como estrategia para solventar estos vacíos de información, el análisis de las interconexiones entre los sistemas productivos agrícolas, los ecosistemas y los efectos en la actividad acuícola del camarón en la Cuenca Hidrológica del Río Mayo (Figura 4).

Figura 4 Ruta de análisis de datos





Fuente: elaboración propia.

La simulación hidrológica de la cuenca del Río Mayo posibilitará la identificación, procedencia y clasificación de residuos que alteran la calidad del agua que sirve de insumo en la acuicultura. Los parámetros de calidad del agua necesaria para desarrollar la acuicultura, se sujetan a ciertas normas que se pueden ver comprometidos por la saturación de contaminantes agrícolas en las aguas costeras.

Por lo anterior, el tratamiento de este fenómeno agroambiental demanda acciones destinadas a revertir la insostenibilidad vinculada a la creciente producción de alimentos, impulsada por los sistemas productivos globalizados que operan en ese territorio, no obstante, ello estará condicionado, en gran medida, a que los actores socioeconómicos logren sobreponerse al paradigma económico predominante, que soslaya la dimensión biofísica y social de los problemas que los propios procesos económicos generan.

Conclusiones

Desde hace algún tiempo, la literatura ha venido documentado el hecho de que los sistemas productivos han rebasado los límites biofísicos de la naturaleza; asimismo, corrobora la necesidad de disminuir la presión de la actividad antropogénica sobre los ecosistemas, en especial en los agropecuarios. Los límites geofísicos de la naturaleza existen al margen de que los actores socioeconómicos tengan, o no, conciencia de su existencia y juegan un rol preponderante tanto a escala global como local, incidiendo en las acciones cotidianas de los actores socioeconómicos.

En efecto, los problemas socioambientales, asociados al modelo de desarrollo predominante, se presentan como inadvertidos bajo la óptica de la ciencia económica convencional; no es un problema menor para la sociedad el identificar y abandonar el paradigma propuesto por esta perspectiva donde la rentabilidad se erige como el principal criterio de evaluación del quehacer de las firmas o sus sistemas productivos y se promueve la apreciación adecuada de los efectos negativos que esto provoca en la naturaleza.

La economía ecológica surge como un enfoque alternativo al convencional, al



reconocer la complejidad de las interrelaciones ser humano-naturaleza e incorporar al análisis la dimensión biofísica. Debido a que la agricultura moderna resulta con objetivos no afines a los propósitos del desarrollo sustentable, la economía ecológica proporciona un marco flexible para abordar con una perspectiva interdisciplinaria, los desafíos de investigación surgidos de la incesante interacción de los seres humanos con la naturaleza. Es el caso de los retos que los actores socioeconómicos de un territorio enfrentan ante el fenómeno de la contaminación de las cuencas hidrológicas, propiciada por la acción de los sistemas agroalimentarios globalizados.

La variedad y abundancia de recursos naturales de la cuenca hidrológica del Río Mayo, le provee de vocaciones productivas, cuya estrategia de aprovechamiento escapa al control de los actores locales. Las decisiones sobre las formas de aprovechamiento de los bienes y servicios ambientales disponible, suelen ser ejercidas por actores posicionados en los eslabones más redituables de las cadenas agroalimentarias, inducidos por las señales del mercado. Sin embargo, al margen del acierto económico de tales decisiones en alguna actividad específica, llegan a entrar en contradicción con otros sistemas productivos y poner en riesgo el funcionamiento sustentable de toda la cuenca.

La comprensión cabal de esas interacciones demanda el uso de tecnologías modernas de análisis, como los Sistemas de Información Geográfica, su uso debe ser incorporado en los análisis interdisciplinarios que conduzcan a la construcción de puentes metodológicos y conceptuales en el estudio de las relaciones, sociedad-ecología-economía. Los alcances de este enfoque son manifiestos en la valoración de los efectos de la contaminación agrícola sobre la acuicultura del camarón blanco (*Litopenaeus Vannamei*) en la Cuenca del Río Mayo

El ejercicio de simulación hidrológica de la cuenca del Río Mayo permitirá crear, con mayor precisión, información sobre los residuos de la actividad antropogénica que alteran los indicadores de calidad del recurso hídrico que sirve de insumo a la acuicultura, los cuales en la actualidad sobrepasan los parámetros de calidad establecidos por el mercado y sus instituciones. Es importante señalar que, la génesis de estos fenómenos se encuentra en la insostenibilidad vinculada a la creciente producción de alimentos, impulsada desde los sistemas productivos globalizados, por lo que su atención adecuada, requiere de la incorporación de la dimensión biofísica y social a los análisis de las repercusiones de esos procesos socio económicos.



Notas al pie:

¹ Explicados a detalle en Rifkin (1980). *Entropy: A new worldview*.

² Los efectos se atribuyen, principalmente, a los aportes de nutrientes de la agricultura como nitrógeno (N) y fósforo (P), que afectan las aguas superficiales.

³ La Evaluación de los ecosistemas del milenio (EM) fue convocada por el Secretario General de las Naciones Unidas, Kofi Annan, en el año 2000. Iniciada en 2001, la EM tuvo como objetivo evaluar las consecuencias de los cambios en los ecosistemas para el bienestar humano y las bases científicas para las acciones necesarias para mejorar la conservación y el uso sostenible de los mismos, así como su contribución al bienestar humano.

⁴ GLEAMS es un modelo de fuentes no puntuales que se centra en las cargas de plaguicidas y nutrientes en el agua subterránea. EPIC fue desarrollado originalmente para simular el impacto de la erosión en la productividad de los cultivos y ahora ha evolucionado hasta convertirse en un modelo integral de gestión agrícola, escala de campo y fuente de carga no puntual.

⁵ Los parámetros establecidos en cuanto a la calidad del agua para el uso en granjas camaronícolas, se puede consultar en el Manual de Buenas Prácticas de Producción Acuícola de Camarón para la Inocuidad Alimentaria de Senasica

Bibliografía

- Aguilar, A. (2010) Calidad del agua: un enfoque multidisciplinario. Primera edición, México, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México.
- Babin, N., Mullendore, N. D., L. S., Prokopy (2016) "Using social criteria to select watersheds for non-point source agricultural pollution abatement projects" en Land Use Policy. Vol. 55, septiembre 2016, pp. 327-333.
- Baggethun, E. et al. (2010) "The history of ecosystem services in economic theory and practice: From early notions to markets and payment schemes" en Ecological Economics. Vol. 69, núm. 6, abril 2010, pp. 1209-1218.
- Balvanera, P. y H. Cotler (2009) "Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos" en H. C. P. Balvanera, Capital Natural de México. Vol. 2, México, Conabio, pp. 185-245.
- Barota, S. et al. (2017) "Ecosystem services must tackle anthropized ecosystems and ecological engineering" en Ecological Engineering. Vol. 99, febrero 2017, pp. 486-495.
- Boyd, C. E. (2001) Prácticas de manejo para reducir el impacto ambiental del cultivo de camarón. Al, USA, Department of Fisheries and Allied Aquacultures Auburn University.
- Carpenter, S. (1998) "Nonpoint pollution of surface waters with Phosphorus and Nitrogen" en Issues Inecology. Vol. 8, núm. 3, agosto 1998, pp. 559-568.



- Carpintero, O. (2006) La bioeconomía de Georgescu-Roegen. Madrid, Ediciones de Intervención Cultural.
- Caruso, B. (2000) "Comparative analysis of New Zealand and US approaches for agricultural nonpoint source pollution management" en *Environmental Management*. Vol. 25, núm. 1, enero 2000, pp. 9-22.
- Caruso, B. et al. (2013) "Agricultural diffuse nutrient pollution transport in a mountain wetland complex" en *Water Air Soil Pollution*. Vol. 224, núm. 10, octubre 2013, 1695 p.
- Cole, J. (1995) "Adam Smith: economista y filósofo" en *Laissez-Faire*. Vol. 2, marzo 1995, pp. 32-51.
- Costanza, R. (1991) *Ecological economics: The science and management of sustainability*. New York. Columbia University Press.
- Cotler, H. et al. (2013) *Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión*. México, D. F., Semarnat.
- Daly, H. E. (1977) *Steady-state Economics*. San Francisco, CA. Freeman
- Daly, H. E. y J. Farley (2004) *Ecological Economics. Principles and Applications*. Washington, DC. Island Press.
- De Groot, R. S., Wilson, M. A. y R. M. Boumans (2002) "A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services" en *Ecological Economics*. Vol. 41, núm. 3, mayo 2002, pp. 393-408.
- Fonseca, E., González, R. y R. Rico (2013) "Sistema inmune de los camarones" en *Revista Aquatic*. Vol. 38, 2013, pp. 68-84.
- Gaspari, F. J. et al. (2015) "Evaluación del Servicio Ambiental de provisión hídrica en cuencas hidrográficas del sudeste bonaerense, Argentina" en *Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales*. Vol. 114, octubre 2015, pp. 214-221.
- Georgescu-Roegen, N. (1986) "The entropy law and the economic process in retrospect" en *Eastern Economic Journal*. Vol. 12, núm. 1, enero-marzo 1986.
- Hardin, G. (1968) "The tragedy of the commons" en *Science*. Vol. 12, pp. 1243-124
- Haro, A. (2011) *La valoración sustentable de los servicios ambientales a nivel de cuenca*. Tesis de Doctorado en Ciencias. México. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C.
- Haro, A. y C. Taddei (2014) "Sustentabilidad y economía: la controversia de la valoración ambiental" en *Economía Sociedad y Territorio*. Vol. 14, núm. 46, septiembre-diciembre 2014, pp. 743-767.
- Hernández, M. y A. Medina (2014) "La calidad en el sistema agroalimentario globalizado" en *Revista mexicana de sociología*. Vol. 76, núm. 4, 2014, pp. 557-582.
- Huang, H. et al. (2017) "Long-term diffuse phosphorus pollution dynamics under the combined influence of land use and soil property variations" en *Science of The Total Environment*. Volumen 579, febrero 2017, pp. 1894-1903.
- Leal, S. D. et al. (2014) "Residuos de plaguicidas organoclorados en suelos agrícolas" en



- Terra latinoamericana. Vol. 32, núm. 1, enero-marzo 2014, pp. 1-11.
- Martínez, P. (2004) "Economía ambiental y ordenación del territorio" en Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente. Vol. 13, núm. 1, enero de 2004, pp. 87-93.
- Martínez-Allier, J. y J. Roca (2015) Economía ecológica y política ambiental. Primera edición electrónica, C. D de México, México, Fondo de Cultura Económica.
- Martínez-Allier, J. y R. Muradian (2015) Handbook of ecological economics. Cheltenham, UK, Edward Elgar Publishing Limited.
- Morales, M. et al. (2011) "Prevalencia de enfermedades de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) cultivado en ocho regiones de Latinoamérica" en Revista Científica. Vol. 21, núm. 5, septiembre-octubre 2011, pp. 434-446.
- Naredo, J. (2001) "Economía y sostenibilidad. La economía ecológica en perspectiva" en POLIS, Revista Latinoamericana. Vol. 1, núm. 2, 2001, pp. 0.
- Neitsch, S. L. et al. (2009) Soil and water assessment tool, theoretical documentation. Version 2009, Temple, Texas, Blackland Research Center.
- Novotny, V. (2003) Water quality. Diffuse pollution and watershed management. Segunda edición, Boston, MA, John Wiley & Sons, Inc.
- Pigou, A. (2013) The economics of welfare. New York, NY, Palgrave Macmillan.
- Reid, W. V. (2005) Evaluación de los ecosistemas del milenio. Millennium Assessment. Washington, Island Press.
- Riva-Murray, K. et al. (2010) "Landscape characteristics affecting streams in urbanizing regions of the Delaware River Basin" en Landscape Ecology. Vol. 25, núm. 10, diciembre 2010, pp. 1489-1503.
- Rifkin, J. (1980) Entropy: A new world view. New York, The Viking Press.
- Roncaglia, A. (2006) La riqueza de las ideas : una historia del pensamiento económico. Zaragoza, Prensas Universitarias de Zaragoza.
- Sagarpa (2017) En: <Sagarpa (2017) En: <https://www.gob.mx/siap/> > [Accesado el día 3 de septiembre de 2017]
- Senasica (2003) Manual de buenas prácticas de producción acuícola de camarón para la inocuidad alimentaria. México.
- Smith, L. y G. Siciliano (2015) "A comprehensive review of constraints to improved management of fertilizers in China and mitigation of diffuse water pollution from agriculture" en Agriculture, Ecosystems and Environment. Vol. 209, noviembre 2015, pp. 15-25.
- Smith, L. et al. (2017) "Mitigation of diffuse water pollution from agriculture in England and China, and the scope for policy transfer" en Land Use Policy. Volumen. 61, febrero 2017, pp. 208-219.
- Tran, C. P. et al. (2010) "Land-use proximity as a basis for assessing stream water quality in New York State" en Ecological Indicators. Vol. 10, núm. 3, mayo de 2010, pp.727-733



- Tetreault, D. (2015) "Escuelas de pensamiento ecológico en las Ciencias Sociales" en Estudios Sociales. Vol. 16, núm. 32, julio-diciembre, 2008, pp. 228-263.
- Vigil, K. (2003) Clean Water: An introduction to water quality and water pollution control. Corvallis, OR, Oregon State University Press.
- Vikas, M. y G. S. Dwarakish (2015) "Coastal pollution: A review" en Aquatic Procedia. Vol. 4, 2015, pp. 381-388.
- Viñas, Á. (1974). "El Tableau de Quesnay como instrumento de análisis económico" en Revista de Economía Política. Vol. 66, consultado el 15 de Marzo de 2017, pp. 137-172.
- Walras, L. (1987) Elementos de economía política pura. Madrid, Alianza.
- Wallace, K. J. (2007) "Classification of ecosystem services: Problems and solutions" en Biological Conservation. Vol. 139, núm. 3, octubre 2007, pp. 235-246.
- World Vision. (2007) "Manual de Manejo de Cuencas". Oficina de World Vision Canada.
- Xiao, H. G. y W, Ji (2007) "Relating landscape characteristics to non-point source pollution in mine waste-located watersheds using geospatial techniques" en Journal of Environmental Management. Vol. 82, núm. 1, enero 2007, pp. 111-119.
- Zhou, T., Wu, J. G. y S. L. Peng (2012) "Assessing the effects of landscape pattern on river water quality at multiple scales: a case study of the Dongjiang River watershed, China" en Ecological Indicators . Vol. 23, abril 2012, pp. 166-175.