

LA CONCEPTUALIZACIÓN DEL AGROECOSISTEMA EN EL ESTUDIO FERTIRRIEGO DE CAÑA DE AZÚCAR

Jasiel Valdivia-Sánchez, Juan Pablo Martínez-Dávila, Arturo Pérez-Vázquez, María del Refugio Castañeda-Chávez, Eugenio Carrillo-Ávila, Emmanuel de Jesús Ramírez-Rivera, Jorge Armida-Lozano, Adán Cabal-Prieto y Víctor Daniel Cuervo Osorio

RESUMEN

Con el propósito de contribuir al incremento de la resiliencia y la sustentabilidad del agroecosistema de caña de azúcar, se plantea la implementación del fertirriego. Para abordar este tema desde una perspectiva de sistemas complejos y sustentabilidad, resulta necesario definir inicialmente el objeto de estudio, los objetivos, el agroecosistema y sus límites, así como el sujeto, entendido como el sistema consciente encargado de la toma de decisiones. En este documento se analizan diversas definicio-

nes de agroecosistema y se propone un concepto que abarque específicamente el estudio de la caña de azúcar. Se identifican tres categorías principales en las que pueden agruparse dichas definiciones, y se plantea una nueva como base para el análisis del fertirriego en el agroecosistema con caña de azúcar. La definición propuesta se concibe como una herramienta epistemológica que orientará los objetivos y la metodología de la investigación sobre el fertirriego en dicho agroecosistema.

Introducción

Según el informe del Comité Nacional para el Desarrollo

Sustentable de la Caña de Azúcar (2018), la producción de caña de azúcar en México enfrenta diversos desafíos

significativos que abarcan aspectos sociales, económicos, ambientales y tecnológicos. A pesar de ser uno de los

cultivos más relevantes en el país, se encuentra afectado por múltiples problemáticas que requieren atención prioritaria.

PALABRAS CLAVE / Complejidad / Resiliencia / Riego Multicompuerta / Sustentabilidad /

Recibido: 08/07/2024. Modificado: 24/04/2025. Aceptado: 07/05/2025.

Jasiel Valdivia Sánchez (Autor de correspondencia). Ingeniero Agrónomo especialista en Suelos, Universidad Autónoma Chapingo (UACH), México. Maestro en Ciencias en Edafología, Colegio de Postgraduados (COLPOS) Campus Montecillo. Doctor en Agroecosistemas Tropicales, COLPOS Campus Veracruz, México. Profesor en TecNM/ Instituto Tecnológico Superior de Zongolica, Dirección: Km. 4 Carretera a la Compañía S/N, colonia Tepetliltlanapa, Zongolica, Veracruz, México. CP 95005. e-mail: jasiel_ias@zongolica.tecnm.mx.

Juan Pablo Martínez-Dávila. Ingeniero en Diseño de Obras Hidráulicas, Universidad Veracruzana (UV), México. Doctor

en Ciencias en Agroecosistemas Tropicales, Profesor investigador (retirado) COLPOS Campus Veracruz, México. e-mail: jpmartin@colpos.mx.

Arturo Pérez-Vázquez. Licenciado en Biología, UV, México. Maestría en Ciencias en Botánica. COLPOS Campus Montecillo, Doctor en Ambiente, Imperial College, Reino Unido, Profesor Investigador Titular COLPOS, Campus Veracruz. México. e-mail: parturo@colpos.mx.

María de Refugio Castañeda-Chávez. Maestra en Ingeniería Ambiental, UV, México. Doctora en Ciencia y Tecnología Ambiental del Centro CIMAV/Secihti, México, Profesor Investigador del TecNM/Boca del Río, México.

e-mail: mariacastaneda@bdelrio.tecnm.mx.

Eugenio Carrillo-Ávila. Ingeniero Agrónomo especialista en Irrigación, UACH, México. Doctor en Hidrología, Universidad Joseph Fourier, Francia. Profesor Investigador Titular, COLPOS, Campus Campeche, México. e-mail: ceugenio@colpos.mx.

Emmanuel de Jesús Ramírez-Rivera. Ingeniero bioquímico en biotecnología, TecNM Campus Mérida. Doctor en Agroecosistemas Tropicales, COLPOS, Campus Veracruz, México. Profesor Investigador en el TecNM/Zongolica, México. e-mail: ejramirezrivera@zongolica.tecnm.mx.

Jorge Armida Lozano. Ingeniero Industrial, TecNM Campus

Orizaba; Maestro en Ciencias en Ingeniería Industrial por el TecNM Campus Querétaro. Jefe de Carrera de Innovación Agrícola Sustentable, TecNM/Zongolica. e-mail: jorge_armida@zongolica.tecnm.mx.

Adán Cabal-Prieto. Ingeniero Agrónomo en Fitotecnia, UACH. Doctor en Ciencias Agroecosistemas Tropicales, COLPOS, México. Profesor Titular A en el TecNM/Huatusco, México. e-mail: acabalp@huatusco.tecnm.mx.

Víctor Daniel Cuervo-Osorio. Ingeniero Agrónomo, UV. Doctor en Agroecosistemas Tropicales, COLPOS, México. Profesor Investigador en TecNM/Chiná, México. e-mail: victor.co@chinatecnm.mx.

THE CONCEPTUALIZATION OF THE AGROECOSYSTEM IN THE STUDY OF SUGARCANE FERTIGATION

Jasiel Valdivia-Sánchez, Juan Pablo Martínez-Dávila, Arturo Pérez-Vázquez, María del Refugio Castañeda-Chávez, Eugenio Carrillo-Ávila, Emmanuel de Jesús Ramírez-Rivera, Jorge Armida-Lozano, Adán Cabal-Prieto and Víctor Daniel Cuervo Osorio

SUMMARY

With the aim of contributing to the increase in resilience and sustainability of the sugarcane agroecosystem, the implementation of fertigation is proposed. To address this issue from a complex systems and sustainability perspective, it is necessary to first define the object of study, the objectives, the agroecosystem and its boundaries, as well as the subject, understood as the conscious system responsible for decision-making. This document analyzes various definitions

of agroecosystem and proposes a concept that specifically encompasses the study of sugarcane. Three main categories are identified in which these definitions can be grouped, and a new one is proposed as the basis for analyzing fertigation in the sugarcane agroecosystem. The proposed definition is conceived as an epistemological tool that will guide the objectives and methodology of the research on fertigation in this agroecosystem.

A CONCEITUALIZAÇÃO DO AGROECOSSISTEMA NO ESTUDO DA FERTIRRIGAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR

Jasiel Valdivia-Sánchez, Juan Pablo Martínez-Dávila, Arturo Pérez-Vázquez, María del Refugio Castañeda-Chávez, Eugenio Carrillo-Ávila, Emmanuel de Jesús Ramírez-Rivera, Jorge Armida-Lozano, Adán Cabal-Prieto e Víctor Daniel Cuervo Osorio

RESUMO

Com o objetivo de contribuir para o aumento da resiliência e da sustentabilidade do agroecossistema de cana-de-açúcar, propõe-se a implementação da fertirrigação. Para abordar essa temática a partir de uma perspectiva de sistemas complexos e sustentabilidade, é necessário, inicialmente, definir o objeto de estudo, os objetivos, o agroecossistema e seus limites, bem como o sujeito, entendido como o sistema consciente responsável pela tomada de decisões. Este documento analisa diversas

definições de agroecossistema e propõe um conceito que abranje especificamente o estudo da cana-de-açúcar. São identificadas três categorias principais nas quais essas definições podem ser agrupadas, e uma nova é proposta como base para a análise da fertirrigação no agroecossistema com cana-de-açúcar. A definição proposta é concebida como uma ferramenta epistemológica que orientará os objetivos e a metodologia da pesquisa sobre fertirrigação nesse agroecossistema.

Entre los principales problemas identificados en el informe se encuentran: el uso excesivo de agroquímicos, la degradación de cepas, una fertilización inadecuada, bajos rendimientos, heterogeneidad en la materia prima, manejo deficiente del agua y limitada mecanización. En términos tecnológicos, los sistemas de producción de caña de azúcar presentan dificultades como la ineficiencia en el uso de agroquímicos, la degradación genética de las cepas, prácticas inadecuadas de fertilización, bajos niveles de productividad y escasa mecanización.

Desde una perspectiva ambiental, los agroecosistemas (AES) de caña de azúcar enfrentan graves problemas, entre ellos la contaminación del agua. La fertilización con nitrógeno resulta particularmente ineficiente, lo que genera una pérdida considerable de nutrientes, incrementa los costos

de producción y contribuye a la contaminación ambiental (Salgado-García *et al.*, 2001; Moreno, 2010).

Para abordar estas problemáticas, resulta fundamental implementar soluciones innovadoras y sostenibles que garanticen la viabilidad futura del sector cañero en Veracruz.

Las problemáticas y oportunidades previamente descritas tienen un alcance tanto nacional como internacional, especialmente si se considera el cambio climático como un fenómeno global. La fertilización, una de las actividades más costosas en la producción de caña de azúcar, es también una de las más deficientes, tanto en términos económicos como ambientales. El fertirriego se presenta como una técnica actualmente empleada para mejorar la eficiencia en la aplicación de insumos y reducir el impacto ambiental derivado del exceso de nitrógeno (Kabirigi

et al., 2017). Para su estudio como un agroecosistema, es indispensable definir previamente un marco teórico que permita comprender el concepto de agroecosistema y su aplicación en el análisis del fertirriego de baja presión y multicompuesta en caña de azúcar.

En este contexto, el presente texto expone las distintas formas en que el agroecosistema ha sido definido en la literatura científica. Posteriormente, se describe el sistema de fertirriego de baja presión y multicompuesta, para finalmente integrarlo dentro del marco conceptual de los AES.

Categorías de AES

A partir de un análisis de la conceptualización del agroecosistema en la literatura científica, se identifican al menos tres corrientes de pensamiento en su definición, las cuales lo conciben como: a) un ecosistema

modificado, b) un espacio físico destinado a la producción agrícola y c) un modelo conceptual. Estas corrientes se discuten a continuación.

Ecosistemas modificados

El término “agroecosistema” fue publicado por primera vez por Hart en 1979, en la revista *Agro-Ecosystems*. En dicha publicación se delimita el objetivo y el área temática de la revista, orientada a estudios sobre subsistemas agrícolas y sus interacciones, aunque no se proporciona una definición explícita del término.

La primera definición formal del concepto fue propuesta por Odum (1965), citado por Altieri (2019) y Wezel y Soldat (2009). Estos autores definen al agroecosistema como un sistema intermedio entre los ecosistemas naturales y los modificados. Para Altieri (2019), esta definición no refleja

adecuadamente la diversidad de sistemas, como los AES tropicales. En una propuesta más elaborada, Altieri (2002) define los agroecosistemas como: “[...] comunidades de plantas y animales interactuando con su ambiente físico y químico, modificado por el ser humano para producir alimentos, fibras, combustibles y otros productos destinados al consumo y procesamiento humano.”

Esta definición sigue la línea de Odum, al concebir al agroecosistema como una comunidad natural intervenida por el ser humano. Si se asume que la “comunidad de plantas y animales” constituye un ecosistema, entonces la definición puede interpretarse como la de un ecosistema modificado. Esta interpretación ha sido retomada por diversos autores, como Casanova *et al.* (2017), Conway (1985) y Cutz *et al.* (2007).

Si bien las definiciones propuestas por estos autores incorporan enfoques de sustentabilidad, sistemas sociales y teorías de la complejidad, todas ellas parten de la premisa de que el agroecosistema es un ecosistema modificado. Conway (1985), por su parte, analiza la agricultura como un proceso que transforma los ecosistemas en AES. Con estos ejemplos se ilustran distintas posturas que adoptan la noción de agroecosistema como ecosistemas transformados por acción humana.

Espacios para la producción

En el desarrollo del estudio de los agroecosistemas (AES), estos también han sido comprendidos como espacios destinados a la producción. Gliessman *et al.* (1998) definen literalmente al agroecosistema como “un sitio para la producción agrícola entendido como un ecosistema”. El autor señala que “el agroecosistema es utilizado con fines agrícolas”. Esta perspectiva implica que se desvincula de su origen como ecosistema modificado, y se concibe más bien como un espacio que presenta propiedades similares, sin ser

necesariamente el resultado de modificaciones antrópicas.

Esta visión del agroecosistema como espacio de producción ha sido retomada por autores como Xu y Mage (2001), quienes lo definen como “una unidad funcional para la producción de bienes (productos) agrícolas y como proveedor de servicios rurales, que incluye un conjunto de elementos relacionados con la agricultura y las interacciones entre dichos elementos”. Esta definición es semejante a la de Gliessman *et al.* (1998), en cuanto a que conceptualiza el agroecosistema como un espacio productivo.

A partir de esta concepción, el agroecosistema ha sido abordado desde múltiples enfoques. Peterson *et al.* (2017) proponen una perspectiva de sustentabilidad para evaluar la salud de los AES. Por su parte, Belcher *et al.* (2004) definen el agroecosistema desde la teoría de sistemas complejos y en términos de capitales como el capital financiero, el trabajo y la tierra. Aunque esta definición posee un carácter más económico, mantiene la noción del agroecosistema como un espacio destinado a la producción.

Finalmente, otros ejemplos pueden encontrarse en Liu y Song (2020), Mohammadi *et al.* (2020), Schmidt *et al.* (2018), Xiao *et al.* (2019) y Zabala *et al.* (2019), quienes, en el contexto del análisis de AES bajo riego, utilizan el término agroecosistema como sinónimo de granja o espacio productivo, sin desarrollar una definición explícita.

Modelo conceptual

El agroecosistema, en su complejidad conceptual, ha sido abordado desde diversas perspectivas teóricas que coinciden en considerarlo fundamentalmente como un modelo o una abstracción científica de la realidad. Conway (1985) incorpora conceptos de la teoría general de sistemas, la cibernética y la sistémica. Según este autor, el agroecosistema es un “conjunto de elementos con relaciones funcionales fuertes

dentro de límites específicos”, lo cual introduce la noción de jerarquías que permiten abordar la complejidad en diferentes niveles.

Esta perspectiva sistémica se ve reforzada por las contribuciones recientes de Martínez y Casanova (2018), quienes definen el agroecosistema como un modelo, es decir, “una abstracción de la realidad”, particularmente útil en el análisis de sistemas sociales autopoieticos (Casanova *et al.*, 2017). La conceptualización del agroecosistema como modelo constituye una herramienta clave para el análisis, ya que permite la aplicación de marcos abstractos que facilitan el enfoque metodológico.

Conway (1985) ya sugería la utilización de modelos para el estudio de los AES al introducir conceptos cibernéticos que destacaban la interconexión entre los elementos, lo cual lo llevó a definirlos como sistemas de segunda generación. La evolución del pensamiento sistémico ha derivado en la conceptualización del agroecosistema como un modelo de cuarta generación, incorporando la idea de sistemas autopoieticos, capaces de producir y reproducir sus propios elementos (Casanova *et al.*, 2017). Esta transición —desde modelos mecánicos hacia sistemas vivos y socioculturales— refleja la creciente complejidad de los objetos de estudio.

Para construir modelos de agroecosistemas se han utilizado diferentes enfoques analíticos, como el modelo funcionalista de Conway (1985), el modelo estructural-funcionalista de Trebil (1988) y Galaviz (2010), el modelo fusionado de Martínez (2010), y los aportes desde la teoría de sistemas sociales de Luhmann (Calderón, 2018; Cruz y Martínez, 2023). En conjunto, estos enfoques ofrecen una comprensión más integral del agroecosistema como modelo científico, constituyendo una herramienta esencial para abordar su complejidad y facilitar su estudio.

Desde la agroecología, el estudio de los AES se fundamenta en el paradigma de los

sistemas (Caporali, 2007), el cual se inscribe en la tradición científica galileana, caracterizada por los principios de manejo y control de la naturaleza con fines económicos (Cruz *et al.*, 2017). Desde sus inicios, la teoría general de sistemas, atribuida a Von Bertalanffy, ha mantenido una estrecha relación con el positivismo y el empirismo lógico, ambos pilares del enfoque galileano de las ciencias.

Una característica fundamental de esta tradición científica es su base cartesiana, centrada en el dualismo sujeto-objeto, lo que conlleva la necesidad de definir el estatus ontológico de los objetos de estudio y de desarrollar instrumentos analíticos adecuados (Arnold y Osorio, 1998). Desde la teoría general de sistemas (TGS), los fenómenos analizados se entienden como modelos o abstracciones de la realidad, los cuales pueden clasificarse en sistemas reales y sistemas ideales (Arnold, 1998).

Una abstracción científica se concibe como un experimento teórico que, a su vez, está sujeto a verificación instrumental, y por tanto, a validación científica (Rojas, 2007). Goode y Hatt (citados por Martínez y Casanova, 2018) señalan que los fenómenos estudiados son abstracciones de la realidad, las cuales pueden confundirse con los propios fenómenos, en un proceso denominado objetivación. De este modo, los conceptos pueden llegar a asumirse como existentes en la realidad.

Rojas (2007) indica que la tarea científica, desde la perspectiva de Thomas Kuhn, consiste en proponer enunciados o sistemas de enunciados que son posteriormente contrastados con un conjunto de hipótesis y conocimientos aceptados por la comunidad científica mediante procesos de verificación. El agroecosistema, en tanto modelo, constituye una abstracción científica sujeta a verificación y, por ende, a validación. El paradigma de sistemas establece que el objeto de estudio son modelos o abstracciones de la realidad, los cuales no existen

fuera del marco referencial en que se construyen. "El modelo es una herramienta que guía la investigación tanto epistemológica como metodológicamente" (García, 2006).

El Modelo de Agroecosistema para el Estudio del Fertirriego en Caña de Azúcar

En el ejercicio ontológico de clasificar las entidades de manera fundamental, se identificaron al menos tres definiciones de agroecosistema. Una de ellas se deriva del paradigma ecológico, impulsado inicialmente por ecólogos dedicados al estudio de procesos agrícolas, quienes generaron analogías con los ecosistemas naturales y diseñaron modelos de producción inspirados en su funcionamiento (Doré *et al.*, 2011). Esta perspectiva ha sido criticada por adoptar métodos de análisis ecológicos que desestiman la presencia del ser humano (Hernández X., citado por Martínez y Casanova, 2018).

Por otra parte, la consideración del agroecosistema como un espacio destinado exclusivamente a la producción agrícola ha sido cuestionada, ya que se basa en una visión de la agronomía ecologizada que resulta insuficiente para los propósitos de la agroecología como ciencia (Lugo y Rodríguez, 2018).

Ambas visiones presuponen la existencia del agroecosistema como una entidad en el mundo real. En contraposición, se encuentra la categoría de modelos conceptuales. Al ser estos marcos de referencia, representan únicamente una porción de la realidad. Estas perspectivas no son excluyentes; por el contrario, pueden ser complementarias. El agroecosistema puede entenderse como un sistema modificado con fines productivos, mientras que el modelo conceptual proporciona una herramienta para comprender y gestionar las complejas interacciones dentro de dicho sistema.

Sin embargo, ambas posturas se diferencian en torno a la cuestión de si los AES existen

realmente. En el ámbito científico, el agroecosistema, en tanto objeto de estudio, debe concebirse como un modelo o una abstracción sujeta a verificación. De lo contrario, se corre el riesgo de incurrir en la objetivación, es decir, confundir un concepto simbólico con una entidad real. En algunos casos, el modelo puede coincidir con ciertas características de ecosistemas modificados o puede concebirse como un espacio asociado a prácticas agrícolas y observaciones de interacciones biológicas a nivel de parcela.

En esta línea, Rivadulla (2004) menciona que, según el realismo crítico de Mario Bunge, la abstracción "representa aspectos considerados relevantes de objetos físicos

realmente existentes". El mismo autor indica que, desde el pragmatismo, "el conocimiento no es un espejo de la Naturaleza", por lo que dicha representación no es precisa, sino más bien "aquello que nos conviene creer". Estas representaciones son consideradas "hipotéticas, incompletas, indirectas y simbólicas". Los modelos de agroecosistema se enmarcan justamente en este tipo de representaciones. Concebir al agroecosistema como modelo es un paso necesario para su análisis científico.

En este contexto, Martínez (2010) propone un modelo fusionado que combina los procesos y relaciones generales de producción planteados por Parra *et al.* (1984) con el modelo agrario simplificado de

Treuil (1988). Este esquema se basa en un modelo funcional de entradas y salidas que integra elementos socioeconómicos y biofísicos, y considera distintos niveles de organización, desde el nivel atómico hasta el sistema global. A partir de este modelo fusionado, se presenta una nueva propuesta centrada en el agroecosistema con caña de azúcar (Figura 1).

En dicho modelo, por encima del nivel atómico se encuentra el nivel molecular, donde se identifican tres tipos de moléculas. Las primeras forman estructuras largas, repetitivas y rígidas; las segundas generan estructuras menos repetitivas y no rígidas; y las terceras no forman estructuras.

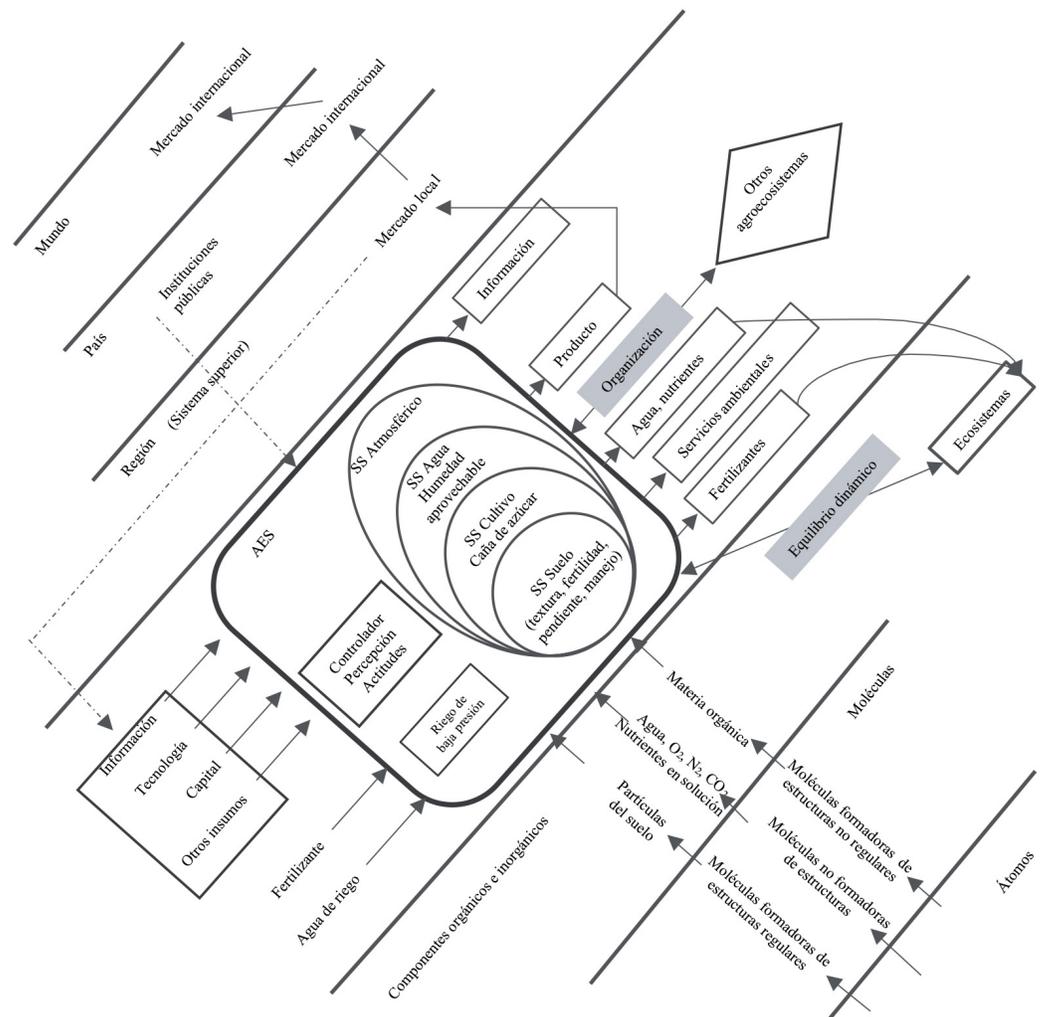


Figura 1. Esquema del agroecosistema caña de azúcar bajo investigación.

El siguiente nivel de organización incluye los componentes orgánicos e inorgánicos del agroecosistema. Las estructuras rígidas forman los minerales que componen las partículas del suelo; las estructuras no repetitivas corresponden a moléculas orgánicas presentes en organismos vivos o en descomposición; y las moléculas que no forman estructuras están relacionadas con elementos fluidos como el agua, el aire y sus componentes disueltos.

En el nivel superior se encuentran los subsistemas del agroecosistema: suelo, agua, cultivo y atmósfera. Los elementos climáticos se integran dentro del subsistema atmosférico. Por encima de estos se sitúa el agroecosistema como unidad de estudio, el cual incluye al controlador o productor. A su vez, el agroecosistema se ubica dentro de niveles más amplios: regional, nacional y global.

El modelo incluye componentes del Modelo Fusionado (MF) de los procesos del agroecosistema (Figura 1). Dichos componentes abarcan entradas y salidas, subsistemas adyacentes (suelo, agua, cultivo y atmósfera) y el controlador. En el caso del agroecosistema con riego de baja presión, se incorpora el componente tecnológico del sistema de riego de baja presión y multicompuerta. Las salidas comprenden tanto el producto principal —la caña de azúcar— como las pérdidas de agua y fertilizantes derivadas de prácticas deficientes.

El MF clasifica los procesos según su relación con el ser humano: procesos ecológicos, de trabajo, de producción inmediata, de producción global y de reproducción social. Este modelo abarca una realidad compleja con múltiples elementos e interacciones que pueden alcanzar una escala global (por ejemplo, el mercado internacional).

Dada la complejidad inherente al estudio del agroecosistema en su totalidad, se requiere establecer límites — físicos, químicos o socioeconómicos— que permitan definir un objeto de estudio viable,

acorde con las capacidades operativas del equipo investigador (García, 2006; Parra *et al.*, 1984). Al delimitar la investigación dentro del MF, se observa que esta se sitúa principalmente en los procesos de trabajo y de producción inmediata. A partir de estos, se genera un modelo de agroecosistema que integra los flujos de agua y nitrógeno y su equilibrio con el ecosistema. Por tanto, el modelo de agroecosistema para el estudio del fertirriego en caña de azúcar debe ser claramente delimitado desde los planos teórico y metodológico (Viniestra, 2014).

La unidad de estudio, esta puede establecerse en función del espacio, del tiempo, de los flujos o del alcance de las acciones y decisiones del productor (García, 2006). El agroecosistema ha sido comprendido de las tres formas expuestas en el presente trabajo: como un ecosistema modificado, un espacio destinado a la producción y un modelo conceptual.

Al considerarse un modelo conceptual que representa un recorte de la realidad, se incluyen las entradas y salidas de agua y nutrientes, así como las decisiones orientadas a obtener una combinación de factores que resulten en mayor rendimiento, eficiencia y distribución de agua y fertilizantes, con el objetivo de reducir la contaminación ambiental.

El agroecosistema, concebido como modelo, se delimita por las propiedades emergentes que se desea estudiar. En este caso, la eficiencia, la uniformidad y la contaminación por fertilizantes constituyen dichas propiedades, las cuales emergen de la interacción entre las características del agua y del suelo, las decisiones del productor y factores externos.

Dado que estudiar todas las interacciones posibles que originan estas propiedades representa una tarea extensa y compleja, se seleccionan únicamente aquellos elementos que se encuentran dentro del alcance del control del investigador. El objetivo es lograr que las propiedades emergentes sean

acordes a las necesidades del controlador. Lo que se observa y mide en el agroecosistema no son más que las propiedades emergentes de todos los elementos que lo conforman. Estas propiedades, susceptibles de cuantificación, incluyen los rendimientos, las entradas y salidas de agua y fertilizantes, la distribución y uniformidad de dichos insumos, así como la cantidad que se reincorpora al ecosistema y que podría constituir una fuente de contaminación.

Al delimitar la investigación dentro del Modelo Fusionado (MF) del agroecosistema, se identifica que esta se sitúa en el ámbito de los procesos de trabajo y de producción inmediata (Figura 1). A partir de estos componentes, se genera un modelo de agroecosistema que integra los flujos de agua y nitrógeno y su equilibrio con el ecosistema.

Conclusiones

El agroecosistema ha sido definido de múltiples maneras. En este análisis, se proponen tres categorías que agrupan las distintas definiciones: ecosistema modificado, espacio de producción y modelo conceptual. Según los objetivos de la investigación, la noción de agroecosistema adoptará una u otra de estas concepciones.

El modelo conceptual se presenta como una representación parcial de la realidad que actúa como herramienta para el análisis científico y el abordaje metodológico en el estudio del agroecosistema. Con base en este enfoque, se propone un modelo de agroecosistema para el análisis del fertirriego por multicompuerta en sistemas con caña de azúcar. Este se define como:

Un modelo que representa un recorte de la realidad, que considera las entradas y salidas de agua y nutrientes, así como las decisiones orientadas a obtener la combinación de factores que maximicen el rendimiento, la eficiencia y la distribución de agua y fertilizantes,

contribuyendo a la disminución del impacto ambiental.

REFERENCIAS

- Altieri MA (2019) *Agroecology: The Science of Sustainable Agriculture*. Second Edition (2.a ed.). CRC Press. Florida, EE.UU. pp 448.
- Altieri MA (2002) Agroecology: The science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems y Environment* 93: 1-24.
- Arnold M Osorio F (1998) Introducción a los Conceptos Básicos de la Teoría General de Sistemas. *Cinta de Moebio* 3: 40-49.
- Belcher KW Boehm MM, Fulton ME (2004) Agroecosystem sustainability: A system simulation model approach. *Agricultural Systems* 79: 225-241.
- Calderón V (2018) *Espacio territorial de sentido en agroecosistemas con cacao en Tabasco, México*. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. México. <http://hdl.handle.net/10521/3363>.
- Caporali F (2007) Agroecology as a Science of Integration for Sustainability in Agriculture. *Italian Journal of Agronomy* 2: 73.
- Casanova L, Martínez JP, López Ortiz S, Landeros Sánchez C, López-Romero G, Peña Olvera B (2017) El agroecosistema comprendido desde la teoría de sistemas sociales autopoieticos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6: 855-867.
- Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la caña de Azúcar (2018) *Panorama de la investigación de la agroindustria de la caña de azúcar*. Sagarpa. México. 15 pp.
- Conway G (1985) Agroecosystem Analysis. *Agricultural Administration* 20: 1-55.
- Cruz P, Martínez JP, Osorio F, López G, Estrella N, Regalado J (2017) Marco epistémico para estudiar los agroecosistemas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8: 159-170.
- Cruz V, Martínez JP (2023) The agroecosystem as a social system. *Interciencia* 48: 102-108.
- Cutz LQ, Palacios VJG, Castaño MG, García NE (2007) Edaphic Collembola from two agroecosystems with contrasting irrigation type in Hidalgo State, Mexico. *Applied Soil Ecology* 36: 46-52.

- Doré T, Makowski D, Malézieux E, Munier Jolain N, Tchamitchian M, Tittone P (2011) Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: Revisiting methods, concepts and knowledge. *European Journal of Agronomy* 34: 197-210.
- Galaviz I (2010) *Contaminación de agua con nitratos y su impacto en la salud pública en la zona de influencia del módulo de riego (1-1)*. La Antigua, Veracruz. México. Colegio de Postgraduados. México. 79 pp.
- García R (2006) *Sistemas complejos: conceptos, métodos y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. CLA-DE-MA Filosofía de la ciencia. Editorial Gedisa. España. 201 pp.
- Gliessman SR, Engles E, Krieger R (1998) *Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture*. CRC Press. 357 pp.
- Kabirigi M, Prakash SO, Prescella BV, Niamwiza C, Quintin SP, Mwamjengwa IA, Jayantha AM, Keji MLA, Zhang C (2017) Fertigation for Environmentally Friendly Fertilizers Application: Constraints and Opportunities for its Application in Developing Countries. *Agricultural Sciences* 8: 292-301.
- Landeros C, Castañeda M, Lango F, Moreno JC, Palomares GM (2007) Contaminación del agua por nitrógeno causada por la agricultura en zonas cañeras de Veracruz, México. En *Memoria del IX Simposio Internacional y IV Congreso Nacional de Agricultura Sostenible Veracruz*. Boca del Río, Veracruz, México. pp. 19-26.
- Liu Y, Song W (2020) Modelling crop yield, water consumption, and water use efficiency for sustainable agroecosystem management. *Journal of Cleaner Production* 253: 1-15.
- Lugo LJ, Rodríguez LH (2018) El agroecosistema: ¿objeto de estudio de la agroecología o de la agronomía ecologizada? Anotaciones para una tensión epistémica. *Interdisciplina* 6: 89-112. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485705e.2018.14.63382>
- Martínez JP (2010) Planificación en los agroecosistemas. En *Memorias de la XXIII Reunión Científica, Tecnológica, Forestal y Agropecuaria de Veracruz y II del Trópico Mexicano*. pp. 55-66
- Martínez JP, Casanova Pérez L (2018) Epistemic and Conceptual Orphanhood in the Sustainability of Agroecosystems. En de Oliveira AB (Ed.), *Sustainability of Agroecosystems*. 98 pp.
- Mohammadi E, Deihimfard R, Noori O (2020) Yield gap analysis simulated for sugar beet-growing areas in water-limited environments. *European Journal of Agronomy* 113: 1-15.
- Moreno JC (2010) *Evaluación del manejo del nitrógeno en el agroecosistema caña de azúcar*. Colegio de Postgraduados. México. 129 pp.
- Parra M, Perales R, Inzunza MF, Solano SC, Hernández Xolocotzin E, Santos OA (1984) La regionalización socioeconómica, una perspectiva agronómica. *Revista de Geografía Agrícola* 2: 24-34.
- Peterson E, Cunningham S, Thomas M, Collings S, Bonnett G, Harch B (2017) An assessment framework for measuring agroecosystem health. *Ecological Indicators* 79: 265-275.
- Rivadulla A (2004) La filosofía de la ciencia hoy: Problemas y posiciones. *Perspectivas del pensamiento contemporáneo* 2: 109-163 pp.
- Rojas G (2007) Las abstracciones en el desarrollo científico o el desarrollo de las abstracciones científicas. *Elementos: Ciencia y cultura* 14: 39-43.
- Salgado S, Núñez R, Peña JJ, Etchevers JD, Palma DJ (2001) Eficiencia de recuperación del nitrógeno del fertilizante en soca de caña de azúcar sometida a diferentes manejos de fertilización. *Terra Latinoamericana* 19: 155-162.
- Schmidt JE, Peterson C, Wang D, Scow KM, Gaudin ACM (2018) Agroecosystem tradeoffs associated with conversion to subsurface drip irrigation in organic systems. *Agricultural Water Management* 202: 1-8.
- Trebuil G (1988) Principles and steps of the method of diagnosis on agrarian systems: A case of study from Sathing Phra area, Southern Thailand. En *Farming Systems Research and Development in Thailand, Illustrated Methodological Considerations and Recent Advances*. pp. 29-46.
- Viniegra L (2014) El reduccionismo científico y el control de las conciencias: Parte I. *Boletín médico del Hospital Infantil de México* 71: 252-257.
- Wezel A, Soldat V (2009) A quantitative and qualitative historical analysis of the scientific discipline of agroecology. *International Journal of Agricultural Sustainability* 7: 3-18.
- Xiao R, Guo D, Ali A, Mi S, Liu T, Ren C, Li R, Zhang Z (2019) Accumulation, ecological-health risks assessment, and source apportionment of heavy metals in paddy soils: A case study in Hanzhong, Shaanxi, China. *Environmental Pollution* 248: 349-357.
- Xu W, Mage JA (2001) A review of concepts and criteria for assessing agroecosystem health including a preliminary case study of southern Ontario. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 83: 215-233.
- Zabala JA, de Miguel MD, Martínez Paz JM, Alcon F (2019) Perception welfare assessment of water reuse in competitive categories. *Water Science and Technology: Water Supply* 19: 1525-1532.