

# Scientia et PRAXIS

Vol.03.No.05. Ene-Jun (2023): 26-50

<https://doi.org/10.55965/setp.3.coed1.a2>

eISSN: 2954-4041

## Degradación ambiental y sustentabilidad en áreas con prácticas agrícolas intensivas de Sonora, México

### Environmental degradation and sustainability in areas with intensive agricultural practices of Sonora, Mexico

**María Jesús Valdez-Galvez.** ORCID [0009-0000-8647-3949](https://orcid.org/0009-0000-8647-3949)

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD-CONAHCYT), Hermosillo, Sonora, México

e-mail: [maria.valdez.420@estudiantes.ciad.mx](mailto:maria.valdez.420@estudiantes.ciad.mx)

**Yaxk'in U kan Coronado-González.** ORCID [0000-0003-3517-9955](https://orcid.org/0000-0003-3517-9955)

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD-CONAHCYT), Unidad Regional Hidalgo, San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo, México

e-mail: [yaxkin.coronado@ciad.mx](mailto:yaxkin.coronado@ciad.mx)

**Beatriz Olivia Camarena-Gómez** (autor de correspondencia). ORCID [0000-0002-7417-6012](https://orcid.org/0000-0002-7417-6012)

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD-CONAHCYT), Hermosillo, Sonora, México .

**Fuente de financiamiento de la investigación:** Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT)

e-mail: [betica@ciad.mx](mailto:betica@ciad.mx)

**Palabras Clave:** degradación ambiental; indicadores ambientales; prácticas agrícolas intensivas; agua; suelo

**Keywords:** environmental degradation; environmental indicators; intensive agricultural practices; water; soil

Recibido: 20-Mar-2023; Aceptado: 22-Jun-2023

---

## RESUMEN

**Objetivo.** Analizar la degradación ambiental de agua y suelo en zonas con prácticas agrícolas intensivas de Sonora, México, período 2001-2021.

**Metodología.** Revisión de bases de datos y sistemas de información geográfica federales para la identificación de los indicadores ambientales y el análisis estadístico correspondiente.

**Hallazgos Teóricos y Prácticos.** Se observó alta prevalencia de suministro de agua por acuíferos y un predominio de la agricultura intensiva media, en 49 y 68 municipios de la entidad, respectivamente; 13 de los 59 acuíferos del estado presentaron una disponibilidad promedio negativa, asociada al 87.21% del volumen concesionado para uso agrícola.

**Originalidad desde el punto de vista transdisciplinar y de innovación sostenible.** Es un estudio de largo plazo en el cual se emplean técnicas de análisis estadístico geográfico y ambiental de manera integral con un enfoque transdisciplinar para la obtención de índices de degradación agrícola en agua y suelo en el estado de Sonora, aportando al mejoramiento sustentable de la agricultura en el marco de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible.

**Conclusiones y limitaciones.** Los datos obtenidos visibilizan la degradación ambiental en suelo y agua por zonas agrícolas en Sonora, información que puede coadyuvar a mejorar la toma de decisiones sobre administración sustentable del recurso hídrico y del suelo por municipio. Sin embargo, la escasa información disponible a escalas geográficas menores al municipio dificulta realizar proyecciones más precisas.

## ABSTRACT

**Purpose.** Analyze the environmental degradation of water and soil in areas with intensive agricultural practices of Sonora, Mexico, period 2001-2021.

**Methodology.** Review of federal databases and geographic information systems for identifying of environmental indicators and the corresponding statistical analysis.

**Theoretical and practical findings.** There was a high prevalence of water supply by aquifers and a predominance of medium-intensive agriculture in 49 and 68 municipalities of the state, respectively; 13 of the 59 aquifers of the state presented a negative average availability, associated with 87.21% of the volume concessioned for agricultural use.

**Transdisciplinary and sustainable innovation originality.** It is a long-term study in which geographic and environmental statistical analysis techniques are used in an integral way with a transdisciplinary approach to obtain agricultural degradation indexes in water and soil in

Sonora state, contributing to the sustainable improvement of agriculture within the framework of the 17 Sustainable Development Goals.

**Conclusions and limitations.** The data obtained make visible the environmental degradation in soil and water by agricultural areas in Sonora, information that can help improve decision-making on sustainable management of water resources and soil by the municipality. However, the scarce information available at geographical scales smaller than the municipality makes it challenging to make more accurate projections.

---

## 1. INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés), reconoce entre los contaminantes más importantes asociados con la agricultura intensiva la presencia de plaguicidas y nitratos en aguas subterráneas, oligoelementos metálicos, además de otros contaminantes emergentes como son los antibióticos y genes resistentes a antibióticos presentes en las excreciones de ganado (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO, 2018). Por su parte, la World Wildlife Fund (WWF, 2018) indica que la vida de las aves, biodiversidad edáfica y acuática, al igual que otras especies se ven amenazadas por el uso desmedido de plaguicidas, herbicidas, antibióticos, hormonas y fertilizantes por parte del sector agrícola industrial.

Eskelner et al. (2019), indican que durante la 2ª Guerra Mundial, bajo el patrocinio de Fundación Rockefeller y el liderazgo de Norman E. Borlaug, se establece en México el programa agrícola conocido como la Revolución Verde con la finalidad de incrementar la producción de alimentos para liberar a más de mil millones de personas de la hambruna, se promovió a partir de entonces un paquete tecnológico integrado por infraestructura para riego, innovación en técnicas de manejo, semillas híbridas, fertilizantes sintéticos y plaguicidas, los agricultores del mundo en desarrollo reciben por parte del mundo desarrollado la tecnología suficiente para elevar de manera significativa la producción de alimentos. Este programa permitió impulsar en México el desarrollo y traspaso de tecnología en la agricultura, particularmente Sonora se convirtió en la “Cuna de la Revolución Verde y se hizo acreedor del seudónimo “El Granero de México” (Eskelner et al., 2019).

El citado programa propició el desarrollo y consolidación de la agricultura intensiva, la cual conlleva una serie de prácticas que implican peligros para el medio ambiente y comprometen la sostenibilidad de la producción agrícola, como son, entre otras, el manejo deficiente y excesivo del recurso hídrico y el uso de agrotóxicos. Así lo muestran los resultados de la revisión sistemática de frontera sobre prácticas agrícolas intensivas: los estudios identificados refieren que, en efecto, existe relación entre las prácticas agrícolas intensivas con diversas afectaciones ambientales (empobrecimiento y contaminación de suelos, agua, aire y cambio climático, entre otros). Ante ello, se plantea como preguntas de investigación: ¿el modelo de agricultura intensiva conlleva una degradación ambiental del recurso hídrico y del suelo? y, ¿el modelo de agricultura intensiva practicado en Sonora ha provocado degradación ambiental en el recurso hídrico y en el suelo?, la respuesta a tales interrogantes exige desarrollar estudios desde una perspectiva transdisciplinaria y justifica diseñar, con tal propósito, una metodología para la construcción de indicadores ambientales asociados con la sustentabilidad territorial de la producción agrícola utilizando varias bases de datos oficiales y técnicas de análisis. El propósito es que la información así generada oriente las decisiones municipales en los tópicos de administración sustentable del recurso hídrico y del suelo agrícola.

## **2. CONTEXTUALIZACIÓN**

En este apartado, a manera de contexto, se presentan algunos estudios identificados que abordan la agricultura intensiva y su relación con la degradación ambiental.

### **2.1. Contexto internacional.**

Los trabajos seleccionados en este apartado reconocen una vinculación alta entre impactos ambientales y prácticas agrícolas intensivas, algunos esbozan propuestas alternativas de solución, refieren a territorios de Argentina, Costa Rica, España, Colombia e India.

El estudio de González et al. (2008), centrado en Argentina, señala que omitir en la planificación el impacto del cambio climático en los recursos naturales (agua, suelo, bosques, recursos minerales, entre otros) puede redundar en insostenibilidad para la agricultura y ganadería, los autores reconocen que dicho fenómeno tiende a comprometer los recursos biológicos y procesos ecológicos, además del bienestar y la seguridad de la población.

En España, Cerdà et al. (2012), ponderan la huella del cultivo tradicional de secano desarrollado en los 50's en la vertiente norte de la Serra Grossa en Valencia, develando que el suelo y el agua sufren una pérdida con el cultivo tradicional por abandono. Observaron que en los meses subsecuentes se formaban costras y una cubierta vegetal incipiente que, sumado a la fragilidad de la red de drenaje de riego y algunas cárcavas, se incrementaba la pérdida del recurso hídrico. El estudio mostró que al disminuir la concentración de sedimentos se favorece el suelo, que tal pérdida se contrajo después de una década, presentándose reducción de la carga sedimentaria al igual que las escorrentías (arroyada superficial) hasta casi extinguirse. El estudio concluye que la reactivación de la agricultura intensiva en dicha región condujo a niveles récord en pérdida de agua y suelo.

El trabajo de Volverás-Mambuscay et al. (2016), se llevó a cabo en la zona cerealera fría de Nariño, en Colombia, y mostró que las modificaciones negativas del suelo provienen de la labranza de tipo intensiva, recurrente por años, que tal práctica agrícola generó al suelo, pérdida de volumen, porosidad total y composición de textura, ocasionando problemas de drenaje, de transmisión y conductividad hídrica; concluyen que es necesario modificar las prácticas de labranza a través de secuencias agrícolas con rotación de especies que inciten el acopio de materia orgánica con calidad y en cantidad.

En la India, Buvaneshwari et al. (2016), analizaron el uso del suelo y las prácticas de gestión y propiedad del acuífero, concentrándose en la distribución de Nitrato ( $\text{NO}_3$ ) en aguas subterráneas en la Cuenca de Berambadi, los autores observaron que el reciclaje de agua mediante bombeo y el flujo de retorno degrada la calidad del agua subterránea, asimismo, que la utilización del agua con presencia de  $\text{NO}_3$  tiende a insertarse en el cultivo y a incrementar la contaminación hídrica; recomiendan controlar la gestión y consumo de fertilizantes para disminuir la presencia de nitratos en aguas subterráneas.

En el estudio realizado en Costa Rica (Fallas y Molina, 2017), se reconoce a los pequeños productores como impulsores de buenas prácticas agrícolas mediante las cuales generan servicios ecosistémicos (sistema agrícola y forestal), integrando la agilidad, flexibilidad y economía; proponen la herramienta de Agroecosystemic Services – Sagro, como punto de partida para

impulsar la producción y buenas prácticas agrícolas, sostener los Sagro para cuantificar servicios ecosistémicos y estimar así su valor de compensación.

## **2.2. Contexto nacional**

En este subapartado, se describen trabajos desarrollados en distintas regiones de México que también abordan aspectos socio ambientales en relación con la agricultura intensiva: presencia de agrotóxicos, cambios de uso de suelo, esquemas de organización social para acceder al recurso hídrico y percepción social de la agricultura intensiva.

El primer trabajo seleccionado se realizó en el ejido de La Ciénega, en Jalisco, México (González-Figueroa et al., 2007), con el propósito de analizar la percepción que tienen los campesinos sobre la degradación ambiental y sobre las implicaciones de los métodos de cultivos en tal problemática. Participaron cuatro productores agrícolas (dos de prácticas orgánicas y dos de prácticas convencionales). Como resultado, los autores refieren que para estos agricultores la modernidad representa la artificialización de la agricultura y que esta última ha dejado de lado las condiciones, el pensar y el sentir del agricultor local.

El segundo trabajo revisado se llevó a cabo en la región centro-norte de Chihuahua, zona de asentamientos de desarrollos agrícolas de alto rendimiento (Manzanares, 2016), con el propósito de evaluar la intensidad de uso del recurso hídrico a través del acuífero y agua superficial. Los resultados muestran que en dicha región prevalece la asignación de volúmenes concesionados de agua subterránea y que el modelo de propiedad social tradicional (estructura ejidal) ha sido rebasado por los desarrollos emergentes, situación que lleva a incurrir en un mayor número de concesiones para utilizar las aguas subterráneas. El estudio concluye que el modelo organizacional ha brindado resultados económicos positivos, sin embargo, ha reforzado el monopolio y concentración del recurso hídrico en la entidad. Una investigación más reciente, realizada en la cuenca del Río Ayuquila-Armería (entre los estados de Jalisco y Colima), en zonas donde se realizan prácticas agrícolas intensivas, muestra presencia de plaguicidas en Palo Blanco, antes Manantlán, Tuxcacuesco y Ayuquila, siendo más recurrentes ametrina, dimetoato y diazinón, en el 66% de las muestras hubo al menos un plaguicida (Rodríguez et al., 2019). Por último, un estudio realizado por Béjar-Pulido et al. (2021), en Michoacán, evalúa el impacto de modificar el uso de suelo forestal por agrícola, tomando en consideración las propiedades físicas

e hidrológicas de un Andosol (suelo de color oscuro, altamente poroso, de origen volcánico). El estudio muestra que, tanto la agricultura orgánica como la convencional presentaron efectos negativos; en comparación con el uso forestal, las infiltraciones en los sistemas agrícolas disminuyeron de un 40 a 70 por ciento, siendo éste el proceso más afectado, es decir, la agricultura convencional presentó mayor incidencia de infiltración. El estudio confirma que cambiar el uso del suelo de forestal a agrícola modifica de manera significativa el comportamiento de las variables físicas e hidrológicas, sobre todo la infiltración de agua.

### **2.3. Contexto regional**

En el ámbito regional, Leal et al. (2014), analizan la presencia de agrotóxicos en Sonora. Los autores mostraron que, en las principales zonas agrícolas del norte, centro y sur de la entidad, incluso en campos abandonados, persiste la presencia de plaguicidas organoclorados (POCs), destacan que tales sustancias representan un riesgo para el medio ambiente y la salud humana, siendo el DDE (diclorodifenildicloroetileno), endosulfán,  $\gamma$ -clordano, heptacloro epóxido y endrín, los de mayor recurrencia. Con respecto al riesgo a la salud humana, es relevante puntualizar que la utilización de aguas con alta presencia de nitratos, puede derivar en Metahemoglobinemia (trastorno sanguíneo en el cual el cuerpo no puede utilizar la hemoglobina porque está dañada) y Nitrosaminas (potencialmente causales de cáncer); por otra parte, el uso de fertilizantes nitrogenados puede decantar en afectaciones a la piel y al tracto respiratorio, asimismo, al sistema inmune, pulmón, por tanto, el individuo será más susceptible a infecciones y alteraciones definitivas en el tejido pulmonar (Vega, 2017).

## **3. REVISIÓN DE LA LITERATURA**

El propósito de la revisión de frontera ha sido identificar estudios que analizan la agricultura intensiva en relación con la degradación ambiental del recurso hídrico y el suelo. Tal proceso de búsqueda sistemática de información se realizó en dos fases (octubre de 2020 y septiembre de 2021) y en cuatro bases de datos (JSTOR, Redalyc -español e inglés-, Science Direct y Scopus). En la primera fase los descriptores utilizados fueron “agricultura” y “sustentabilidad” (documentos en español) y “agriculture”, “sustainable”, “water”, “agrochemical” y “pesticide” (documentos en inglés), para el período 2000 – 2020; en la segunda, las palabras clave fueron

“agricultura intensiva” para los sitios académicos de idioma español y para aquellos en inglés el descriptor “intensive agriculture y rural”, combinando con al menos una de las siguientes palabras clave: “agricultural practices”, “environmental degradation”, “agrochemical”, “pesticide”, “hidric resource”, “water” o “social vulnerability”, considerando trabajos publicados del 2000 al 2021.

Los resultados obtenidos de tal proceso permitieron identificar 14 artículos de investigación asociados con diversas afectaciones ambientales relacionadas con la práctica de la agricultura intensiva: dos estudios refieren al estado de Sonora, cinco a otras regiones del país, y siete a otros países. En cuanto a contenido, diez artículos describen y analizan la degradación que presentan el suelo y el agua en relación con prácticas de agricultura intensiva en determinadas regiones y países; los otros cuatro artículos se focalizan en la identificación de indicadores o métodos de medición de tal problemática.

En el apartado anterior, titulado Contextualización, se presentaron los primeros diez artículos. Los otros cuatro artículos que refieren indicadores para medir la degradación ambiental en relación con la agricultura se describen a continuación.

En el centro de Honduras, Kammerbauer et al. (2001) realizaron un estudio para identificar algunas vías de desarrollo comunitario sostenible en regiones con actividad agrícola. Primero definieron y evaluaron algunos indicadores de desarrollo comunitario integrando las tres dimensiones del desarrollo sustentable (ecológica, económica y social); identificaron los elementos que representan un conflicto para tal desarrollo y las posibles opciones e implicaciones prácticas de alternativas que permitirían superar tales conflictos. La investigación mostró que la transferencia de tecnología y la optimización de acceso a mercados incrementó el bienestar económico (al transitar de una agricultura expansiva de conversión forestal a una agricultura intensificada y diversificada) e influyó en el desarrollo, a la vez que impactó negativamente el ambiente, particularmente por sobreexplotarse el recurso hídrico hasta su límite ecológico. Los autores citados concluyeron que es necesario detectar nuevas estrategias para el desarrollo sustentable y diseñar políticas que integren herramientas de monitoreo de recursos naturales y ambientales e incluyan como objetivos meta criterios de sustentabilidad y, con ese propósito, un conjunto mínimo de indicadores y mapas simples para planificar a nivel local el uso del suelo.



En México, Llamas (2012) tras revisar los sistemas de medición desarrollados en el mundo en los últimos tiempos para medir la sustentabilidad, los clasifica y diseña uno aplicable a México que acota para el estado de Zacatecas. Con base en los indicadores seleccionados, propone tres categorías para caracterizar la dimensión ambiental del sector agrícola: condicionamiento ambiental, impacto ambiental potencial y degradación ambiental. La metodología aplicada al estado de Zacatecas permite generar cinco indicadores para la caracterización ambiental y cuatro para la caracterización social.

En Europa, Trivino-Tarradas et al. (2019), proponen la metodología Initiative for Sustainable Productive Agriculture (INSPIA), señalan que ésta es aplicable a todo tipo de tierra de cultivo para evaluar la sustentabilidad y generar información acotada a cada contexto, que bien puede orientar a los agricultores en su toma de decisiones estratégicas. La metodología aplica 15 mejores prácticas de gestión, mismas que se evalúan por medio de 31 indicadores básicos de sustentabilidad (dimensiones económica, social y ambiental); los indicadores básicos se agrupan en 12 indicadores agregados que construyen el índice compuesto final del INSPIA, complementado con un diagrama de barras que permite apreciar el conjunto de valores-indicadores básicos y un gráfico circular que representa la división de sustentabilidad en los indicadores agregados. Su utilidad en el mediano y largo plazo es auxiliar en el monitoreo y evaluación de la implementación de políticas agrícolas y ambientales, a la vez que se afinan los procesos de toma de decisión futuros.

Por último, está el trabajo realizado por Eichler et al. (2020), en el Valle del Yaqui, Sonora, México, con el propósito de evaluar el progreso hacia la sostenibilidad en esta región. Evalúan los paisajes agrícolas mediante un enfoque desarrollado para cada valor de referencia y objetivo que les permitirá monitorear en el futuro. Utilizan indicadores de calidad del suelo, productividad, biodiversidad, vulnerabilidad, pobreza, transparencia e implicaciones económicas de la diversidad de cultivos. La evaluación sugiere que las prácticas de gestión de conservación de la tierra e incremento de la eficiencia en el uso del agua y los nutrientes contribuyen a que las partes interesadas logren los objetivos; y la necesidad de monitoreo para minimizar el riesgo de compactación y salinización del suelo, por ser una zona árida y de regadío.

En función del estado de arte hasta aquí descrito, se desprende la hipótesis teórica “existe una relación directa entre la agricultura intensiva y la degradación ambiental que presentan las regiones donde tal agricultura se realiza” y como hipótesis de investigación: “existe una relación directa entre la agricultura intensiva y la degradación que presentan suelos y agua en las regiones de Sonora donde se practica o ha practicado la agricultura intensiva”.

### **3.1. Diseño del instrumento de medición y/o materiales**

Esta investigación se centra en estimar la degradación ambiental en relación con la agricultura intensiva, acotando el estudio a las zonas rurales del estado de Sonora, México, en atención a dos ejes de la dimensión ambiental: a) el recurso hídrico (agua) y b) el suelo agrícola.

### **3.2. Modelo Conceptual/Modelo Experimental**

Una vez revisadas y seleccionadas las bases de datos que presentaran información sobre los ejes ambientales agua y suelo, se identificaron los datos pertinentes y se inició su concentración en la base correspondiente. Posteriormente, se seleccionó, estandarizó, promedió y normalizó la información alusiva al recurso hídrico y al suelo. El método utilizado para el recurso hídrico consideró todas las fuentes de información disponibles de agua superficial y subterránea correspondientes al sector agrícola; en cuanto al suelo, se seleccionó la segmentación agrícola. Lo anterior, brindó la pauta para obtener la cuota máxima de utilización de agua y suelo por municipio. Este procedimiento se realizó mediante Colaboratory (Colab), producto de Google Research, el cual escribe y ejecuta el código de Python.

## **4. METODOLOGÍA**

El propósito del estudio es probar que la degradación que presentan los suelos y el agua de las principales regiones agrícolas de Sonora se relaciona con prácticas de agricultura intensiva. Se procede entonces a la construcción de indicadores ambientales para un período de 20 años (2001 – 2021). La investigación es no experimental, de tipo documental para construcción de indicadores, longitudinal, de correlación y enfoque cuantitativo (Hernández et al., 2014). La fase de revisión documental permitió identificar, seleccionar y procesar la información pertinente en la plataforma soporte para construir los indicadores que permitirán estimar la situación actual y la tendencia que presenta el recurso hídrico y el suelo, por región y municipio agrícola.

#### **4.1. Técnicas, sistemas y programas para la recolección de datos.**

A continuación, una breve descripción de los pasos que orientaron el proceso de identificación, análisis, concentración e integración de la información de cada eje ambiental en las bases de datos, así como los utilizados para conservar la integridad y trazabilidad de la información.

##### **4.2.1. Recurso Hídrico (Agua)**

Para este eje se retomó información de la Base de Datos Estadística del Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (BADESNIARN) de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2022) así como del Sistema Nacional de Información del Agua (SINA), perteneciente a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2022), contemplando un período de veinte años (2001 al 2021). Se utilizaron los Sistemas de Información Geográficos (GIS), tales como los mapas de regiones hidrológicas, ríos y presas, del mismo modo, los datos proporcionados mediante tabulados para precipitación media histórica por región hidrológica, escurrimiento natural medio de los ríos principales; recarga media, extracción y disponibilidad de acuíferos. Posteriormente, con la finalidad de cuantificar el valor del agua disponible en el estado por medios naturales, se consideró el segmento disponible por la administración del recurso hídrico, reflejada en volumen almacenado en presas, volumen concesionado por fuente superficial y/o subterránea e intensidad de usos consuntivos, buscando los segmentos agrícolas para evaluar la administración del agua en el estado y concatenar las entradas y salidas de agua, administradas por la red hídrica de la entidad.

##### **4.2.2. Suelo**

Para este eje ambiental, se consideró primero el uso de suelo y después la superficie sembrada de acuerdo con el Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).

###### **4.2.2.1. Uso de suelo**

La información correspondiente al uso del suelo provino de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2022), a través del Portal de Geoinformación (<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>) de su Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB), ocupando los datos de Uso de Suelo y Vegetación de México, escala 1:250000, serie II-VII (continuo nacional) compuesta por los mapas disponibles

de 2001, 2005, 2009, 2013, 2016 y 2021, posteriormente, se analizó y concentró la información seleccionada en una base de datos, empleando los Sistemas de Información Geográfica (GIS), a través del programa Quantum GIS (QGIS), mismo que permitió la extracción de datos, como la superficie asociada a determinado uso de suelo, mediante las capas de los mapas.

Para ubicar y visualizar de manera eficiente el cambio en el uso de suelo experimentado por Sonora de acuerdo con la intensidad de las prácticas agrícolas, se consideraron los tipos de agricultura reportadas en los mapas de SNIB y, de acuerdo con su recurrencia y utilización de agua, se agruparon en tres tipos de agricultura: Intensiva Alta, Intensiva Moderada y de Temporal.

#### **4.2.2.2. Superficie sembrada, cosechada y valor de producción con base en el Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

La superficie sembrada y cosechada del suelo, así como el valor de producción, se retomó del Anuario Estadístico de la Producción Agrícola (<https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>), perteneciente al Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2021). Se seleccionó el reporte “Por ubicación geográfica” con la especificación “Por Distrito – Municipio”. Este reporte permitió revisar, seleccionar y concentrar la información correspondiente al período 2003-2021, en la base de datos, para, posteriormente, analizar la superficie sembrada bajo el esquema de producción convencional.

El parámetro de inclusión para seleccionar la información pertinente fue elegir datos alusivos a los ejes ambientales, relacionados con la actividad agrícola y que su escala geográfica fuera lo más cercana a lo regional.

#### **4.2.3. Técnicas de análisis de datos para dimensión ambiental**

Una vez concentrados los datos del recurso hídrico y del suelo, se procedió a su estandarización mediante la escala geográfica que refiere a la ubicación de Sonora: al norte de México 32°29'38", al sur 26°17'49" de latitud norte, al este 108°25'27", al oeste 115°03'11" de longitud oeste (INEGI, 2021). Para la escala política se definió un análisis municipal y para las escalas temporales un período de 20 años (datos de 2001 a 2021). Se verificó consistencia por medio del cruce de base, cuidando su integridad y trazabilidad. El análisis de datos se realizó mediante

Colaboratory (Colab), producto de Google Research, el cual escribe y ejecuta el código de Python.

#### **4.2.4. Construcción de indicadores para ejes ambientales**

El procesamiento y análisis de datos mediante Colab, de los ejes ambientales definidos permitió construir indicadores para el recurso hídrico y el suelo, sus fórmulas se detallan a continuación:

##### **Recurso hídrico**

$VC_{Ag}$

El cálculo para determinar el volumen concesionado agrícola ( $VC_{Ag}$ ) anual, se compone de la siguiente operación:

$$VC_{Ag} = \frac{IUC_{Ag}}{VOL.CONC.} \times 100$$

Donde:

$IUC_{Ag}$  es la intensidad del uso consuntivo agrícola y  $VOL.CONC.$  es el volumen concesionado, ambos en  $hm^3$  al año.

Con el resultado previo, se determinó el Promedio de Intensidad de Uso Consuntivo Agrícola ( $PromIUC_{Ag}$ ), mediante la fórmula:

$$PromIUC_{Ag} = \frac{\sum_{2014}^{2021} VC_{Ag}}{Núm.Períodos}$$

De igual manera, la fuente predominante ( $FuentePred$ ), se determinó sumando el valor anual asignado a la fuente superficial ( $\Sigma ValorFuenteSup$ ) más el valor anual asignado a la fuente subterránea ( $\Sigma ValorFuenteSub$ ) entre el número de períodos.

$$FuentePred = \frac{\sum_{2014}^{2021} ValorFuenteSup + \sum_{2014}^{2021} ValorFuenteSub}{Núm.Períodos}$$

### *DisACR<sub>RHAN</sub>*

El valor de la disponibilidad en acuíferos de la Región Hidrológico-Administrativa del Noroeste (*DisACR<sub>RHAN</sub>*), se realizó, mediante la sumatoria de los hm<sup>3</sup> reportados en cada uno de los períodos en estudio.

$$\sum_{2014}^{2021} DisAC_{RHAN} = \frac{DisAC_{RHAN2014} + DisAC_{RHAN2015} + \dots + DisAC_{RHAN2020} + DisAC_{RHAN2021}}{Núm. Períodos}$$

### *RMACR<sub>RHAN</sub>*

Mediante la sumatoria de los hm<sup>3</sup> reportados en cada uno de los períodos en investigación, se conoció el valor de la recarga media en acuíferos de la Región Hidrológico-Administrativa del Noroeste (*RMACR<sub>RHAN</sub>*).

$$\sum_{2014}^{2021} RMAC_{RHAN} = \frac{RMAC_{RHAN2014} + RMAC_{RHAN2015} + \dots + RMAC_{RHAN2020} + RMAC_{RHAN2021}}{Núm. Períodos}$$

### *ExACR<sub>RHAN</sub>*

Por medio, de la suma de los hm<sup>3</sup> se conformó la extracción de acuíferos de la Región Hidrológico-Administrativa del Noroeste (*ExACR<sub>RHAN</sub>*).

$$\sum_{2014}^{2021} ExAC_{RHAN} = \frac{ExAC_{RHAN2014} + ExAC_{RHAN2015} + \dots + ExAC_{RHAN2020} + ExAC_{RHAN2021}}{Núm. Períodos}$$

### *VD FSub*

Con los tres resultados previos, determinamos el volumen disponible, a nivel subterráneo para el estado de Sonora, es importante resaltar que los valores disponibles son una cota superior del volumen administrado para el recurso hídrico.

$$VD FSub = DisAC_{RHAN} \text{ año anterior} + RMAC_{RHAN} \text{ año actual} + ExAC_{RHAN} \text{ año actual}$$

### **Suelo**

Los valores iniciales que intervinieron para los cálculos del eje ambiental suelo parten de la unidad de medida hectáreas (ha).

El porcentaje de participación de agricultura intensiva alta (%*AiA*) se determinó mediante el cálculo, siguiente:

$$\%AiA = \frac{PromAiA \left( \frac{\sum_{2021}^{2001} AiA}{Núm. Períodos} \right)}{\sum PromAiA} \times 100$$

Donde:

*PromAiA* es el promedio de agricultura intensiva, determinado por la suma de los valores anuales de la agricultura intensiva alta (*AiA*), entre el número de períodos (*Núm. Períodos*) en estudio, tal resultado se divide entre la suma del *PromAiA*, el valor obtenido mediante la fórmula se multiplica por cien.

$$\%AiM = \frac{PromAiM \left( \frac{\sum_{2021}^{2001} AiM}{Núm. Períodos} \right)}{\sum PromAiM} \times 100$$

Sigue el mismo procedimiento que el cálculo anterior, únicamente se modifica el valor base a agricultura intensiva media *AiM*.

$$\%AdT = \frac{PromAdT \left( \frac{\sum_{2021}^{2001} AdT}{Núm. Períodos} \right)}{\sum PromAdT} \times 100$$

Continúa bajo la misma línea que los dos cálculos anteriores, la única variante es que los valores pertenecen a la agricultura de temporal *AdT*.

El porcentaje de participación de producción de tipo convencional (*%PtC*) se determinó mediante el cálculo, siguiente:

$$\%PtC = \frac{PromPtC \left( \frac{\sum_{2021}^{2003} PtC}{Núm. Períodos} \right)}{\sum PromPtC} \times 100$$

Donde:

*PromPtC* es el promedio de producción de tipo convencional, determinado por la suma de los valores anuales de la producción de tipo convencional (*PtC*) entre el número de períodos (*Núm. Períodos*) en estudio, tal resultado se divide entre la suma del *PromPtC*, el valor obtenido mediante la fórmula se multiplica por cien.

## 5. RESULTADOS

En cuanto al recurso hídrico, el estudio reveló que el agua disponible en Sonora se destina a diferentes sectores. En México, ese destino del recurso hídrico hacia los distintos sectores se

denomina *intensidad de usos consuntivos*, siendo ésta de cuatro tipos en el estado de Sonora: agrícola, abastecimiento público, industria autoabastecida y energía eléctrica -excluyendo la hidroeléctrica-, cuyo consumo promedio de volumen concesionado de agua del 2014 al 2021 fue del 87.21%, 10.83%, 1.73% y 0.23%, respectivamente. El mayor consumidor del recurso hídrico es el sector agrícola y solo diez municipios concentran el 80% del agua destinada a la agricultura (Cajeme, Álamos, Etchojoa, Navojoa, Hermosillo, Guaymas, Huatabampo, San Luis Río Colorado, San Ignacio Río Muerto y Benito Juárez), el 20% restante de agua se distribuye entre los otros 62 municipios de la entidad.

El volumen concesionado, que se otorga a los municipios del estado proviene de dos fuentes, la superficial y la subterránea: del 2014 a 2021, el 58.38% del abastecimiento fue utilizando el recurso hídrico de fuentes superficiales y el 41.62% restante utilizó agua de fuentes subterráneas. Al analizar el volumen disponible por fuente subterránea y su comportamiento en el período de interés, a través del índice planteado en este documento, se observa un comportamiento negativo en trece de los 59 acuíferos de Sonora, once de ellos presentan un déficit recurrente del 2015 al 2021 y del 2020 y 2021 también los acuíferos Arroyo Seco y Río Bacoachi.

El detalle de los 13 acuíferos que incurren en un comportamiento negativo se precisa en la *Tabla 1*, igual número de fuentes subterráneas, pero con valores positivos se detallan en la *Tabla 2*.

**Tabla 1. Déficit en volumen de agua disponible en fuente subterránea (acuíferos)  
(2015 a 2021)**

Número	Acuífero	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1	Caborca	-201.76	-198.24	-198.24	-198.24	-199.17	-211.6	-241.46
2	Costa de Hermosillo	-276.63	-278.03	-278.03	-278.08	-277.46	-193.96	-193.9
3	Sonoyta-Puerto Peñasco	-85.0	-86.96	-86.96	-86.96	-86.83	-149.6	-151.24
4	Mesa del Seri-La Victoria	-91.04	-92.5	-92.5	-92.5	-96.41	-81.04	-79.26
5	San José de Guaymas	-17.74	-17.53	-17.53	-17.53	-17.5	-27.9	-28.0
6	Valle de Guaymas	-23.89	-27.05	-27.05	-27.05	-27.59	-21.54	-22.7
7	Sahuaral	-4.85	-5.06	-5.06	-5.06	-10.26	-20.95	-21.38
8	Río Zanjón	-30.59	-33.92	-33.92	-33.94	-34.93	-20.48	-20.54
9	Magdalena	-10.52	-9.49	-9.49	-9.49	-10.32	-19.39	-18.74
10	Coyotillo	-8.09	-8.27	-8.27	-8.27	-7.69	-16.78	-16.98
11	Busani	-5.43	-5.37	-5.37	-5.37	-6.81	-5.53	-6.44
12	Arroyo Seco	2.08	3.89	3.89	3.89	2.95	-1.1	-1.1
13	Río Bacoachi	18.34	13.61	13.61	13.61	13.26	-1.12	-0.76

Información al 07 de noviembre de 2022. Adaptación propia del “Sistema Nacional de Información del Agua (SINA)”, por

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2022 (<https://sina.conagua.gob.mx/sina>)



**Tabla 2. Volumen de agua disponible en fuente subterránea (acuíferos)  
(2015 a 2021)**

Número	Acuífero	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1	Valle del Mayo	227.03	220.1	220.1	220.1	215.09	100.13	98.58
2	Cuchujaqui	72.68	72.67	72.67	72.67	70.19	65.9	66.32
3	Río Sahuaripa	71.22	71.96	71.96	71.96	67.05	55.58	55.36
4	Valle del Yaqui	199.86	199.96	199.96	199.96	202.45	52.45	50.4
5	San Bernardo	70.15	65.9	65.9	65.9	62.6	49.14	43.78
6	Rosario-Tesopaco-El Quiriego	44.51	44.2	44.2	44.2	43.13	42.24	41.92
7	Cumuripa	26.96	26.96	26.96	26.96	26.43	25.55	25.54
8	Arroyo San Bernardino	18.21	22.57	22.57	22.57	24.78	24.35	25.14
9	Cumpas	24.48	24.43	24.43	24.43	17.13	25.16	23.56
10	Río Chico	22.78	22.78	22.78	22.78	21.98	21.13	20.5
11	Cocoraque	131.35	132.68	132.68	132.68	128.32	19.95	19.66
12	Río Tecoripa	32.44	32.44	32.44	32.44	27.02	19.64	19.24
13	Nácori Chico	22.58	22.58	22.58	22.58	22.2	20.34	18.48

Información al 07 de noviembre de 2022. Adaptación propia del “Sistema Nacional de Información del Agua (SINA)”, por Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2022 (<https://sina.conagua.gob.mx/sina>)

En 46 de los 72 municipios de la entidad, la concesión de recurso hídrico se ha centrado principalmente en aprovechamiento de agua de fuentes subterráneas y en 19 municipios de fuentes superficiales (Álamos, Bacanora, Bácum, Banámichi, Baviácora, Bavispe, Benito Juárez, Cajeme, Etchojoa, Granados, Huásabas, Huatabampo, Nácori Chico, Navojoa, Quiriego, Rosario, San Ignacio Río Muerto, Soyopa, Villa Hidalgo). En Bacerac, Guaymas, Fronteras, Villa Pesqueira y Yécora, la concesión otorgada ha permitido aprovechar los dos tipos de fuente de agua, y en el caso de Oquitoa y en Sahuaripa de forma similar o equilibrada.

Para caracterizar el territorio agrícola de Sonora se consideró la frecuencia de siembra y el uso del recurso hídrico, tal información permitió distinguir tres tipos: Agricultura intensiva Alta (AiA), Agricultura intensiva Media (AiM) y Agricultura de Temporal (AdT). En atención al promedio de hectáreas agrícolas reportadas de 2001 a 2021, se observó predominio de AiM (72.34%), mucho menor AiA (18.80%) y en menor proporción la AdT (8.86%). El 87.82% de la AiA se concentra en los municipios de Hermosillo y Caborca; el 81.36% de la AiM en Hermosillo y doce municipios más (Cajeme, Etchojoa, Huatabampo, Navojoa, Guaymas, San Ignacio Río Muerto, San Luis Río Colorado, Bácum, Benito Juárez, Empalme, Trincheras y Altar). En cuanto a la AdT, la mayor parte, 81.54%, se ubicó en Álamos, Navojoa, Rosario,

Quiriego, Huatabampo, Hermosillo, Yécora, Guaymas, Sahuaripa y La Colorada. De acuerdo con estos datos, la agricultura con prácticas intensivas (AiM y AiA) se concentra en 14 municipios que contribuyen a generar el 84.11% de la producción agrícola convencional de Sonora (Cajeme, Hermosillo, Navojoa, Etchojoa, Huatabampo, Bácum, Benito Juárez, San Luis Río Colorado, San Ignacio Río Muerto, Guaymas y Caborca).

Para terminar este apartado, los datos presentados respecto del recurso hídrico y tipo de agricultura en Sonora, los datos revisados permiten concluir lo siguiente: 1) El uso consuntivo del recurso hídrico destinado a la agricultura concentró de 2014 a 2021, en promedio, el 87.21% del total estatal. 2) Los municipios de Cajeme, Álamos, Etchojoa, Navojoa y Hermosillo concentraron el 50.27% del agua estatal consignada al uso agrícola. 3) El suministro por acuíferos prevalece en 49 municipios, en otros 21 municipios se observa un abastecimiento por fuente superficial y en 2 municipios un provisionamiento tanto por fuente superficial como subterránea. 4) De los 59 acuíferos de la entidad, trece de ellos presentaron en promedio, una disponibilidad negativa. 5) El municipio que encabeza el volumen concesionado proveniente de fuente subterránea es Hermosillo. 6) En la caracterización de suelo agrícola propuesta, se observa que 68 municipios presentan un tipo de agricultura intensiva moderada (AiM) y 16 una agricultura de tipo intensiva alta (AiA), lo cual confirma que prevalece la producción agrícola convencional en Sonora.

## **6. DISCUSIÓN**

Del 2014 al 2021, los datos promedios que refieren al aprovechamiento del recurso hídrico en Sonora muestran que el 87.21% del volumen concesionado es para uso agrícola. Es evidente el predominio del uso consuntivo agrícola del recurso hídrico, situación preocupante en un contexto de sequía donde 13 acuíferos presentan déficit, once del 2015 al 2021 y dos más en el 2020 y 2021. La problemática es similar a la que refieren en Honduras, Kammerbauer et al. (2001), donde se impulsó una agricultura intensificada y diversificada, sustentada en la transferencia de tecnología y la optimización de acceso a mercados; proceso con impactos positivos en lo económico, pero negativos en lo ambiental, llegando al límite ecológico en cuanto al recurso hídrico. Una situación similar plantea Manzanares (2016), con base en resultados de investigación realizada en la región centro-norte de Chihuahua, donde se observó que la agricultura intensiva ha generado beneficios económicos por una parte, pero por la otra, tales

beneficios han sido desiguales, expresados en un aprovechamiento dispar del recurso hídrico en zona de asentamientos de desarrollos agrícolas de alto rendimiento, en las cuales se ha incurrido en un aumento de las concesiones para el aprovechamiento de aguas subterráneas por parte de desarrollos emergentes que han fortalecido el monopolio y reforzado la concentración del recurso hídrico, llevando así el consumo a un límite ecológico.

Otro punto a destacar en cuanto al uso del recurso hídrico en Sonora es que su abastecimiento en la mayoría de los municipios proviene de fuentes subterráneas. González et al. (2008) reconocen que se han favorecido prácticas agrícolas deficientes e irresponsables en cuanto al uso de insumos (agua), las cuales comprometen tanto los recursos biológicos y procesos ecológicos como el bienestar humano. Para el año 2030, Conagua proyecta una disponibilidad anual de 3800 metros cúbicos por habitante, sin embargo, para los habitantes de la Región Hidrológico-Administrativa Noroeste (II) tal disponibilidad proyectada es de 2,819 (m<sup>3</sup>/hab/año) a la cual brinda la categoría de disponibilidad baja (SEMARNAT, 2013). En tal contexto, es relevante planificar el uso y manejo futuro del recurso por cada sector y actividad económica, es fundamental en el caso de la agricultura, regular y monitorear con rigurosidad y responsabilidad las prácticas que incurrir en desperdicio y sobreexplotación; e integrar en tales proyecciones los problemas que puede detonar el cambio climático.

El suelo es el otro factor de la ecuación que muestra una tendencia preocupante asociado al tipo de agricultura que predomina en la región. El uso de suelo agrícola del 2001 a 2021, según frecuencia de siembra y uso del agua, en orden de recurrencia ha sido AiM, AiA y AdT, lo cual coincide con la agricultura convencional practicada en Sonora hasta llevar a niveles récord en utilización de agua y deterioro del suelo. Algo similar se ha observado en España, Colombia y Michoacán, como se refiere en los estudios realizados por Cerdà et al. (2012), Volverás-Mambuscay et al. (2016) y Béjar-Pulido et al. (2021), respectivamente.

Los datos mostrados confirman deterioro ambiental en los ejes agua y suelo, vinculado esto con prácticas de agricultura intensiva: predominio de hectáreas donde se practica la AiA y la AiM, el comportamiento negativo de la disponibilidad del recurso hídrico en 13 acuíferos del estado y por la potencial presencia de agrotóxicos en las principales zonas agrícolas, como observaron Leal et al. (2014) en el caso de plaguicidas organoclorados en 72 campos de zonas agrícolas del norte, centro y sur de la entidad, incluyendo algunos abandonados.

### **6.1. Implicaciones Teóricas (*Scientia*)**

La identificación, definición y evaluación de indicadores relacionados que aborden las tres, dos o una de las dimensiones (ecológica, económica y social) del desarrollo sustentable ha estado presente en investigaciones internacionales, nacionales y regionales. Tanto en la investigación realizada en Honduras, como la de Europa, asimismo, al del estado de Zacatecas en México y la del del Valle del Yaqui en Sonora, México (Kammerbauer et al., 2001; Trivino-Tarradas et al., 2019; Llamas, 2012; Eichler et al., 2020). Los cuatro estudios citados, se enmarcan en la agricultura y el impacto u influencia de esta, Kammerbauer et al. (2001) descubrieron que aun cuando tal actividad incita la economía y el desarrollo, también conllevó en Honduras un impacto negativo en el recurso natural del agua al alcanzar su límite ecológico como efecto de su sobreexplotación. Por ello, la importancia de la metodología desarrollada por Llamas (2012), mediante la cual desde la consideración de la agricultura caracteriza la dimensión ambiental y social de Zacatecas. Las metodologías mencionadas, son una alternativa para monitorear y evaluar la utilidad de políticas agrícolas y ambientales en un mediano y largo plazo (Trivino-Tarradas et al., 2019), con la finalidad disminuir el peligro de compactación y salinización del suelo (Eichler et al., 2020). Por tanto, considerando como punto de partida la agricultura con prácticas intensivas en Sonora, México, se construyeron y propusieron indicadores para agua y suelo, mediante los cuales se identificaron tendencias de agotamiento del recurso hídrico, posteriormente, se realizó la clasificación de suelos agrícolas (AiA, AiM y AdT) y se determinó su presencia en términos porcentuales, en función de la frecuencia de siembra y el uso del agua por municipio (escala geográfica).

### **6.2. Implicaciones Prácticas (*Praxis*)**

La caracterización a nivel municipal de la entidad mediante la identificación de los impactos en el recurso hídrico y suelos, destinados a la agricultura, permitirá la identificación y planteamiento de acciones en atención a ambos ejes ambientales. Lo anterior, fungirá como el punto de partida para el diseño de nuevas estrategias que impulsen el desarrollo sustentable, a través de políticas agrícolas y ambientales que permitan monitorear mediante indicadores la utilización de los recursos naturales, contribuyendo así a una mejor planificación local (Kammerbauer et al., 2001), con la finalidad de realizar recomendaciones puntuales a productores y autoridades en favor de un manejo más sustentable de la agricultura en el estado (Trivino-Tarradas et al. 2019). Por su parte,

Eichler et al. (2020), señalan que para que los actores interesados en que la actividad de la agricultura logre sus objetivos, se deben considerar las prácticas en favor de la conservación de la tierra y el aumento de eficiencia en la utilización del recurso hídrico. Ejemplo, de lo anterior, es el proyecto desarrollado de mayo de 2015 a mayo de 2017 en la provincia de Hainan, China, donde la economía de los agricultores afectados por la agricultura intensiva se comprometió con prácticas sustentables en sus predios agrícolas, para lo cual recibieron apoyo para incorporar sistemas locales de tecnología avanzada. Los responsables de las políticas y especialistas de dicho país acudieron a Israel, Italia y Sichuan, China, para estudiar las técnicas e infraestructura moderna, posteriormente, incorporaron normas y estándares innovadores para los cultivos de pimiento, caupí, coluquintida y sandía, mediante talleres de capacitación de instructores y escuelas de campo para agricultores, asimismo, elaboraron y divulgaron planes de estudio, programas, libros de texto y materiales didácticos en mandarín e inglés para difundir las buenas prácticas agrícolas. Esos cambios llevaron a mejorar la calidad de las hortalizas, incrementar el ingreso al aumentar el rendimiento, y reducir el uso de agrotóxicos, por tanto, el suelo se rehabilitó y con ello el medio ambiente, al igual que los consumidores ya que dichas hortalizas al pasar la detección no representan un riesgo para la salud pública (FAO, 2017).

En síntesis, la información presentada en este documento confirma la necesidad de transitar a esquemas de producción agrícola alternativos, donde la generación de servicios ecosistémicos para reforzar los equilibrios ecológicos y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población local sean los objetivos (Fallas y Molina, 2017). Porque si bien, México es un país geográficamente privilegiado, las políticas y prácticas que distinguen al sector agrario, presentan el reto de garantizar a los campesinos un desarrollo económico que les permita experimentar estabilidad (Moreno-Ortiz, 2023). En tal posibilidad de cambio, se contempla como principales sujetos sociales de cambio a los productores de mediana y pequeña escala, junto con los campesinos y un marco institucional adecuado.

## **7. CONCLUSIÓN**

Los primeros resultados del estudio de largo plazo de enfoque transdisciplinar, realizado en Sonora, México, para construir y proponer índices de degradación agrícola en agua y suelo, con

base en técnicas de análisis estadístico geográfico y ambiental, ofrece información importante que puede contribuir a orientar los planes de manejo y mejora de la agricultura en la entidad.

Los datos obtenidos muestran que las zonas de alta actividad agrícola presentan evidencias de deterioro ambiental, particularmente desgaste de suelo, sobre utilización del recurso hídrico, contaminación asociada al uso de agrotóxicos.

El propósito de este trabajo fue analizar precisamente el comportamiento de tal dimensión en las principales regiones agrícolas de Sonora en el período del 2001 al 2021. Se analizaron dos factores sustantivos de la degradación ambiental, el suelo y el agua; se consideraron indicadores oficiales disponibles para los municipios con vocación agrícola del estado de Sonora, a partir de los cuales construyen y proponen indicadores que permitan medir el impacto de la agricultura con prácticas intensivas en agua y suelo.

Si bien la información oficial disponible a escalas geográficas menores al municipio ha dificultado realizar proyecciones más precisas en cuanto al uso del recurso hídrico y del suelo; este primer acercamiento a tales ejes ambientales en relación con la agricultura que se practica en Sonora, confirma presencia de degradación en ambos y, por tanto, la necesidad de incorporar la sustentabilidad ambiental en la toma de decisiones de las instituciones y organismos responsables de la administración del agua y del suelo agrícola; asimismo, prácticas agrícolas que permitan transitar a una agricultura con mayor sustentabilidad. Lo anterior, mediante la gestión del conocimiento campesino, ancestral, indígena o tradicional en conjunto con el conocimiento científico y tecnológico repercuten en variables relacionadas en los ecosistemas ambientales y sociales, tales como, indicadores de sostenibilidad, resiliencia, bienestar común, creación de valor social, reflejo de la cambiante, impredecible y urgente, sociedad actual (Cárdenas-Salazar, 2021). Finalmente, conviene precisar que lo planteado en este documento es parte de los hallazgos preliminares de una investigación doctoral en proceso, de corte longitudinal y enfoque transdisciplinar, cuyo propósito es analizar, precisamente, los impactos ambientales y sociales asociados a la agricultura en Sonora.

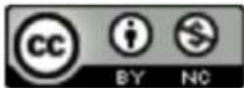
## 8. REFERENCIAS

1. Béjar-Pulido, S. J., Cantú-Silva, I., González-Rodríguez, H., Marmolejo-Moncivais, J. G., Yáñez-Díaz, M. I., y Luna-Roble, E. O. (2021). Effect of land use change and agricultural management on physical and hydrological properties of an Andosol in Uruapan, Michoacán. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 27(2), 323-335. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2020.04.032>
2. Buvaneshwari, S., Riotte, J., Sekhar, M., Mohan Kumar, M. S., Sharma, A. K., Duprey, J. L., Audry, S., Giriraja, P. R., Praveenkumarreddy, Y., Moger, H., Durand, P., Braun, J.-J., y Ruiz, L. (2016). Groundwater resource vulnerability and spatial variability of nitrate contamination: Insights from high density tubewell monitoring in a hard rock aquifer. *Science of The Total Environment*, 579, 838-847. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.017>
3. Cárdenas-Salazar, P. J. (2021). Revisión Bibliométrica de la Gestión del Conocimiento Tradicional. *Scientia et PRAXIS*, 1(01), Article 01. <https://doi.org/10.55965/setp.1.01.a4>
4. Cerdà, A., Morera, A. G., Burguet, M., Arcenegui, V., Peñaloza, F. A. G., García-Orenes, F., y Pereira, P. (2012). El impacto del cultivo, el abandono y la intensificación de la agricultura en la pérdida de agua y suelo: El ejemplo de la vertiente norte de la Serra Grossa en el Este Peninsular. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 38(1), Article 1. <https://doi.org/10.18172/cig.1276>
5. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2022). *Sistema Nacional de Información del Agua* [Base de datos]. SINA. Consultado el 07 de noviembre de 2022. <https://sina.conagua.gob.mx/sina>
6. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2022). *Sistema Nacional de Información Sobre Biodiversidad: Portal de Geoinformación 2022* [Base de datos]. SNIB. Consultado el 15 de noviembre de 2022. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
7. Eichler, S. E., Kline, K. L., Ortiz-Monasterio, I., Lopez-Ridaura, S., y Dale, V. H. (2020). Rapid appraisal using landscape sustainability indicators for Yaqui Valley, Mexico. *Environmental and Sustainability Indicators*, 6, 100029. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2020.100029>
8. Eskelner, M., Bakers, M., y Lanslor, T. (2019). *Historia de la agricultura*. Cambridge Stanford Books.
9. Fallas, A. A., y Molina, S. (2017). Methodological proposal to quantify and to compensate the agroecosystem services generated by the good agricultural practices of small-farmers. *Ecosistemas*, 26(3), 89-102. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2017.26-3.11>
10. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2017). *Mejoramiento de la producción de hortalizas de invierno en la República Popular China*. FAO. <https://www.fao.org/3/BT817ES/bt817es.pdf>
11. González, J. A., Sarmiento, F., y Minetti, J. L. (2008). Cambios globales en el Noroeste Argentino con referencias a la provincia más pequeña de Argentina: Tucumán. *Pirineos*, 163, 51-62. <https://doi.org/10.3989/pirineos.2008.v163.21>
12. González-Figueroa, R., Gerritsen, P. R. W., y Malischke, T. K. (2007). Percepciones sobre la degradación ambiental de agricultores orgánicos y convencionales en el ejido La Ciénega, municipio de El Limón, Jalisco, México. *Economía Sociedad y Territorio*. <https://doi.org/10.22136/est002007236>

13. Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta ed.). McGraw-Hill Education. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
14. Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI, 2021). *Aspectos Geográficos Sonora*. INEGI. [https://en.www.inegi.org.mx/contenidos/app/areasgeograficas/resumen/resumen\\_26.pdf](https://en.www.inegi.org.mx/contenidos/app/areasgeograficas/resumen/resumen_26.pdf)
15. Kammerbauer, J., Cordoba, B., Escolán, R., Flores, S., Ramirez, V., y Zeledón, J. (2001). Identification of development indicators in tropical mountainous regions and some implications for natural resource policy designs: An integrated community case study. *Ecological Economics*, 36(1), 45-60. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(00\)00206-8](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(00)00206-8)
16. Leal, S., Valenzuela, A., Gutiérrez, M., Bermúdez, M., García, J., Aldana, M., Grajeda, P., Silveira, M., Meza, M., Palma, S., Leyva, G., Camarena, B., y Valenzuela, C. (2014). Residuos De Plaguicidas Organoclorados En Suelos Agrícolas. *Terra Latinoamericana*, 32(1), 1-11.
17. Llamas, Á. (2012). *Pobreza y degradación ambiental en la agricultura del estado de Zacatecas a nivel municipal* [Doctoral, Universidad Autónoma de Zacatecas «Francisco García Salinas»]. [http://ricaxcan.uaz.edu.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.11845/303/A%20Llamas\\_Tesis%200Doctorado\\_Ver%20Electr%c3%b3nica\\_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://ricaxcan.uaz.edu.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.11845/303/A%20Llamas_Tesis%200Doctorado_Ver%20Electr%c3%b3nica_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
18. Manzanares, J. L. (2016). Hacer florecer al desierto: Análisis sobre la intensidad de uso de los recursos hídricos subterráneos y superficiales en Chihuahua, México. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 13(77), 35. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr13-77.hfda>
19. Moreno-Ortiz, A. L. (2023). Importancia de la Actividad Agrícola y la Innovación Social en los Centros Públicos de Investigación: Un Análisis Bibliométrico. *Scientia et PRAXIS*, 3(05), Article 05. <https://doi.org/10.55965/setp.3.05.a1>
20. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2018). *Los contaminantes agrícolas: Una grave amenaza para el agua del planeta* [<https://www.fao.org/news/story/es/item/1141818/icode/>]. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/news/story/es/item/1141818/icode/>
21. Rodríguez, B. A., Martínez, L. M., Peregrina, A. A., Ortiz, C. I., y Cárdenas, O. G. (2019). Análisis de residuos de plaguicidas en el agua superficial de la cuenca del río Ayuquila-Armería, México. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 37(2), 151. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i2.462>
22. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2013). *Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales, indicadores clave y de desempeño ambiental* (Edición 2012; pp. 257-316). SEMARNAT. [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe\\_resumen/pdf/7\\_info\\_resumen.pdf](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_resumen/pdf/7_info_resumen.pdf)
23. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2022). *Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales* [Base de datos]. BADESNIARN. Consultado el 14 de febrero de 2022. [http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/approot/dgeia\\_mce/html/mce\\_index.html](http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/approot/dgeia_mce/html/mce_index.html)
24. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2021). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola* [Base de datos]. SIAP. Consultado el 15 de septiembre de 2022. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>



25. Trivino-Tarradas, P., Gomez-Ariza, M., Basch, G., y Gonzalez-Sanchez, E. (2019). Sustainability Assessment of Annual and Permanent Crops: The Inspia Model. *Sustainability*, 11(3), 738. <https://doi.org/10.3390/su11030738>
26. Vega, C. (2017). *Problemas ambientales y de salud derivados del uso de fertilizantes nitrogenados*. <http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Poster/CRISTINA%20VEGA%20OLIVA.pdf>
27. Volverás-Mambuscay, B., Amézquita-Collazos, É., y Campo-Quesada, J. M. (2016). Indicadores de calidad física del suelo de la zona cerealera andina del departamento de Nariño, Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 17(3), Article 3. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol17\\_num3\\_art:513](https://doi.org/10.21930/rcta.vol17_num3_art:513)
28. World Wildlife Fund (WWF, 2018). *Informe Planeta Vivo-2018: Apuntando más alto—Resumen* (N.º 2018; p. 36). WWF. [https://wwflac.awsassets.panda.org/downloads/resumen\\_informe\\_planeta\\_vivo\\_2018\\_apuntando\\_mas\\_alto\\_compressed.pdf](https://wwflac.awsassets.panda.org/downloads/resumen_informe_planeta_vivo_2018_apuntando_mas_alto_compressed.pdf)



This is an open access article distributed under the terms of the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)