



**UNIVERSIDAD DE ALMERÍA**

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS HUMANAS Y SOCIALES**

**TESIS DOCTORAL**

---

**ANÁLISIS ECONÓMICO-SOCIAL DE LA  
SOSTENIBILIDAD DEL MODELO DE  
DESARROLLO AGRÍCOLA DE LA COSTA DE  
HERMOSILLO, MÉXICO**

---

*Juniode2022*

TESIS DOCTORAL

---

**ANÁLISIS ECONÓMICO-SOCIAL DE LA  
SOSTENIBILIDAD DEL MODELO DE  
DESARROLLO AGRÍCOLA DE LA COSTA DE  
HERMOSILLO, MÉXICO**

---

**ECONOMIC-SOCIAL ANALYSIS OF THE  
SUSTAINABILITY OF THE AGRICULTURAL  
DEVELOPMENT MODEL OF THE COAST OF  
HERMOSILLO, MEXICO**

---

CLAUDIA ADRIANA OCHOA NORIEGA



**TESIS PRESENTADA**

**Claudia Adriana Ochoa Noriega**

**Programa de Doctorado en Ciencias Humanas y  
Sociales**

**DIRIGIDA POR**

**Dr. D. José Ángel Aznar Sánchez**

**Dr. D. Juan Francisco Velasco Muñoz**

**Almería, 2022**



# AGRADECIMIENTOS

---



## AGRADECIMIENTOS

---

Primeramente, quiero agradecer a mis directores, José Ángel y Juan Francisco, por brindarme de su apoyo y conocimiento a través de este recorrido, les tengo un gran aprecio y cariño. Sin vosotros esto no habría sido posible.

Asimismo, estoy muy agradecida con el programa de Doctorado en Ciencias Humanas y Sociales de la Universidad de Almería por permitirme dedicarme a este proyecto.

Gracias a los académicos y especialistas en esta temática, el Dr. Alejandro Rogelio Álvarez, Dr. José Luis Moreno, Dr. Nicolás Pineda, Dra. Claudia Martínez, Dr. Romualdo Montaña, Dra. María Olavarrieta y el Dr. Miguel Ángel Castillo, que me apoyaron a enriquecer este trabajo con su conocimiento.

En especial a mis abuelos, Nicolás Ochoa, Guillermina Balderas, Margarita Castillo y Ignacio Noriega, por todo su amor y la fe depositada en mí y por alentarme a ser una mejor persona.

A mis padres, Mario Ochoa y María Noriega, por creer en mí, por su amor, apoyo incondicional y por sostenerme en mis flaquezas.

A mis hermanos, Nicolás Alejandro y Edgar Mario, por su hermandad, su paciencia y por su apoyo como oyentes y lectores de mis trabajos. Y a mi sobrino, Kevin Alexis, por todo su amor e inocencia y a Dorian por su compañía.

Por último, a mis amigos y colegas, Zaida Vázquez, Daniel Diaz, Yoselin Cruz, Luis Moreno, Itzel Valenzuela, Tania Ugalde, Daniela Avalos, Arlene Cervantes, Jesus Villa, y Javier Olivas, etc., por la ayuda recibida en todo momento.





# ÍNDICE

---



# ÍNDICE

---

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	20
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	26
<b>LISTA DE APÉNDICES</b> .....	32
<b>RESUMEN</b> .....	36
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	42
1. Introducción.....	44
1.1. Objetivos de la Investigación.....	46
2. Metodología.....	47
2.1. Estado del arte.....	48
2.2. Recogida de información primaria.....	50
2.3. Estudio de caso: La Costa de Hermosillo.....	52
3. Resultados.....	53
3.1. Contextualización de la agricultura en México.....	54
3.2. Sostenibilidad de la agricultura en México (Artículo 1. Overview of research on sustainable agriculture in developing countries. The case of México).....	55
3.3. Gestión sostenible de los recursos hídricos de la agricultura mexicana (Artículo 2. The use of water in agriculture in Mexico and its sustainable management: A bibliometric review).....	56
3.4. Análisis de la adopción de prácticas sostenibles del agua en la agricultura intensiva de la Costa de Hermosillo (Artículo 3. Analysis of the acceptance of sustainable practices in water management for the intensive agriculture of the Costa de Hermosillo, México).....	56
3.5. Gobernanza de los recursos hídricos en la agricultura de la Costa de Hermosillo.....	57
Bibliografía.....	59
<b>CAPÍTULO 1. CONTEXTUALIZACIÓN DE LA AGRICULTURA EN MÉXICO</b> ....	70
1. Introducción.....	72
2. Evolución histórica de la agricultura en México.....	73

3. Impacto del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) en la agricultura mexicana.....	77
4. Agricultura de regadío y recursos hídricos.....	80
5. Nuevas disposiciones del Tratado de México, Estados Unidos y Canadá (T-MEC).....	87
6. Conclusiones.....	91
Bibliografía.....	93

**CAPÍTULO 2. SOSTENIBILIDAD DE LA AGRICULTURA EN MÉXICO.....98**

1. Introducción.....	100
2. Metodología.....	104
3. Resultados y discusión.....	108
3.1. Investigación sobre la agricultura sostenible en México.....	108
3.2. Área temática.....	111
3.3. Revistas.....	112
3.4. Colaboración internacional.....	114
3.5. Instituciones.....	114
3.6. Autores.....	116
3.7. Análisis de palabras clave.....	118
4. Conclusiones.....	124
Bibliografía.....	127

**CAPÍTULO 3. GESTIÓN SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA AGRICULTURA MEXICANA.....140**

1. Introducción.....	142
2. Metodología.....	145
2.1. Análisis bibliométrico.....	145
2.2. Selección de la muestra.....	145
2.3. Procesamiento de datos.....	146
3. Resultados y discusión.....	148
3.1. Evolución general de la investigación sobre gestión del agua en la agricultura en México.....	148

3.2. Evolución de la investigación por áreas temáticas.....	151
3.3. Revistas más relevantes.....	152
3.4. Colaboración internacional.....	154
3.5. Instituciones más relevantes.....	155
3.6. Autores más relevantes.....	158
3.7. Análisis de palabras clave.....	160
4. Conclusiones.....	166
Bibliografía.....	168

**CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE LA ADOPCIÓN DE PRÁCTICAS SOSTENIBLES DEL AGUA EN LA AGRICULTURA INTENSIVA DE LA COSTA DE HERMOSILLO.....180**

1. Introducción.....	182
2. Materiales y métodos.....	187
2.1. Zona de estudio.....	188
2.2. Metodología.....	189
3. Resultados.....	192
4. Discusión.....	197
5. Conclusiones.....	201
Bibliografía.....	203

**CAPÍTULO 5. GOBERNANZA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA AGRICULTURA DE LA COSTA DE HERMOSILLO.....216**

1. Introducción.....	218
2. Administración de derechos de agua en la Costa de Hermosillo.....	220
3. Propuesta de actualización del modelo de gobernanza de los recursos hídricos en la Costa de Hermosillo.....	227
4. Conclusiones.....	229
Bibliografía.....	231

<b>CONCLUSIONES</b> .....	238
1. CONCLUSIONES.....	240
2. LIMITACIONES Y FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN.....	248







# LISTA DE FIGURAS

---



## LISTA DE FIGURAS

---

### Capítulo 1

**Figura 1.** TLCAN VS T-MEC Sección Agricultura.....90

### Capítulo 2

**Figura 1.** Resumen de la metodología.....107

**Figura 2.** Evolución de la investigación sobre la Agricultura Sostenible en México (ASM) y la Agricultura en México (AM).....110

**Figura 3.** Agrupación en las principales palabras clave relacionadas con la investigación de ASM.....123

**Figura 4.** Tendencias de las principales palabras clave relacionadas con la investigación de ASM.....124

### Capítulo 3

**Figura 1.** Resumen de la metodología.....147

**Figura 2.** Comparación de las tendencias en la investigación sobre GSAM y GAM.....149

**Figura 3.** Tendencias de las principales palabras clave relacionadas con la investigación sobre GAM.....164

**Figura 4.** Tendencias de las principales palabras clave relacionadas con la investigación sobre GSAM.....166

### Capítulo 4

**Figura 1.** Ubicación de los distritos de riego del organismo de cuenca: Noroeste de México.....188

**Figura 2.** Principales barreras y facilitadores para la adopción de prácticas sostenibles.....193

**Figura 3.** Principales obstáculos para la adopción de prácticas sostenibles por grupo.....194

**Figura 4.** Principales facilitadores de la adopción de prácticas sostenibles por grupo.....195

**Capítulo 5**

**Figura 1.** Distritos de riego del organismo de cuenca Noroeste.....225





# LISTA DE TABLAS

---





# LISTA DE TABLAS

---

## Capítulo 1

<b>Tabla 1.</b> Distribución de la superficie y la producción agrícola por organismo de cuenca. Año agrícola 2017-2018.....	81
<b>Tabla 2.</b> Distribución de la superficie y la producción agrícola por organismo de cuenca. Año agrícola 2017-2018. En porcentaje.....	82
<b>Tabla 3.</b> Distribución de la superficie y la producción agrícola por entidad federativa. Año agrícola 2017-2018.....	83
<b>Tabla 4.</b> Resumen nacional por cultivo. Año agrícola 2017-2018. Cultivos con más de 100.000 ha.....	84
<b>Tabla 5.</b> Resumen nacional por cultivo. Año agrícola 2017-2018. Cultivos entre 100.000 y 10.000 ha.....	85
<b>Tabla 6.</b> Resumen nacional por cultivo. Año agrícola 2017-2018. Cultivos entre 10.000 y 5.000 ha.....	86
<b>Tabla 7.</b> Resumen nacional por cultivo. Año agrícola 2017-2018. Cultivos de menos de 5.000 ha.....	86

## Capítulo 2

<b>Tabla 1.</b> Variables generales de la investigación de la Agricultura Sostenible en México (ASM).....	110
<b>Tabla 2.</b> Cantidad de documentos publicados por categoría temática.....	112
<b>Tabla 3.</b> Principales variables de las revistas más relevantes en relación con los documentos analizados en la muestra sobre la investigación de ASM.....	113
<b>Tabla 4.</b> Principales variables relacionadas con la investigación mexicana sobre ASM y AM.....	114
<b>Tabla 5.</b> Principales variables de las instituciones más destacadas en la investigación de la ASM.....	116
<b>Tabla 6.</b> Principales variables de los autores más destacados en la investigación de la ASM.....	117

## Capítulo 3

<b>Tabla 1.</b> Principales características de la investigación sobre la gestión del agua en la agricultura en México (GAM) y la gestión sostenible del agua en la agricultura en México (GSAM).....	150
<b>Tabla 2.</b> Número de artículos publicados por categoría temática.....	152

<b>Tabla 3.</b> Principales características de las revistas más prolíficas relacionadas con la investigación de la GAM.....	153
<b>Tabla 4.</b> Principales características de las revistas más prolíficas relacionadas con la investigación de la GSAM.....	154
<b>Tabla 5.</b> Principales características de la colaboración internacional de México relacionada con la investigación de la GAM y la GSAM.....	155
<b>Tabla 6.</b> Principales características de las instituciones más activas relacionadas con la investigación de la GAM.....	156
<b>Tabla 7.</b> Principales características de las instituciones más activas relacionadas con la investigación de GSAM.....	157
<b>Tabla 8.</b> Principales características de los autores más activos relacionados con la investigación de la GAM.....	158
<b>Tabla 9.</b> Principales características de los autores más activos relacionados con la investigación de la GSAM.....	159

#### **Capítulo 4**

<b>Tabla 1.</b> Literatura previa sobre la gestión agrícola sostenible en México.....	187
---	-----

#### **Capítulo 5**

<b>Tabla 1.</b> Distrito de riego 051 Costa de Hermosillo (Sonora).....	227
<b>Tabla 2.</b> Superficies físicas regadas y volúmenes distribuidos por tipo de aprovechamiento y tenencia en los distritos de riego del organismo de cuenca Noroeste (gravedad-presas)...	228
<b>Tabla 3.</b> Superficies físicas regadas y volúmenes distribuidos por tipo de aprovechamiento y tenencia en los distritos de riego del organismo de cuenca Noroeste (bombeo-pozos).....	228





# LISTA DE APÉNDICES

---



## LISTA DE APÉNDICES

---

<b>Apéndice 1.</b> Overview of Research on Sustainable Agriculture in Developing Countries. The Case of Mexico.....	262
<b>Apéndice 2.</b> The Use of Water in Agriculture in Mexico and Its Sustainable Management: A Bibliometric Review.....	284
<b>Apéndice 3.</b> Analysis of the Acceptance of Sustainable Practices in Water Management for the Intensive Agriculture of the Costa de Hermosillo (Mexico).....	306





# RESUMEN

---



## RESUMEN

---

Dos de los retos más apremiantes a los que debe hacer frente la humanidad en el siglo XXI son el abastecimiento alimentario de una población en aumento y la escasez de recursos hídricos. La principal fuente de suministro de alimentos es la agricultura de regadío. Este sistema agrícola contribuye con más del 45% de la producción de alimentos a nivel mundial, pero también consume el 70% de los recursos hídricos disponibles en el planeta. Por otra parte, la situación actual de escasez de agua acentúa la rivalidad entre distintos sectores por el uso de este recurso. De tal forma que la agricultura de regadío para la producción de alimentos debe competir con los sectores turístico e industrial, el abastecimiento de núcleos de población cada vez más saturados, la producción de biocombustibles, y los requerimientos para el buen estado de los ecosistemas.

México es un ejemplo paradigmático de un país que ha experimentado un exitoso proceso de desarrollo regional basado en la evolución de los modelos agrícolas tradicionales hacia sistemas agrícolas modernos. Sin embargo, este desarrollo se ha producido de forma no planificada y presenta deficiencias en términos de sostenibilidad. Por su ubicación y condiciones climáticas, la agricultura mexicana es particularmente sensible al problema del agua. Algunas de las principales regiones agrícolas sufren graves problemas de déficit en sus masas de agua. Además, este país se encuentra en una zona particularmente vulnerable a los impactos del cambio climático global, sobre todo en lo que respecta a los recursos hídricos y los ecosistemas agrícolas. Por otra parte, este desarrollo se ha basado en el uso de malas prácticas de gestión ambiental, fundamentalmente en lo que se refiere a la gestión de los recursos hídricos y a la desigual distribución de la tierra y las infraestructuras. Por ello, este país es un buen ejemplo para estudiar el desarrollo agrícola que experimentan los países en vías de desarrollo. Además, el caso de estudio considerado –la Costa de Hermosillo en el Estado de Sonora– es un “laboratorio” perfecto para el análisis propuesto, puesto que es un caso paradigmático de desarrollo de un modelo de agricultura intensiva basado en una sobreexplotación de los recursos hídricos subterráneos.

En este contexto, el objetivo de esta investigación ha sido analizar el modelo de desarrollo agrícola de la Costa de Hermosillo en el Estado de Sonora desde una perspectiva socio-económica en términos de sostenibilidad, para plantear alternativas de gestión, identificando

las principales barreras y facilitadores que determinan el nivel de aceptación entre los principales agentes implicados. Este objetivo general se completa con tres objetivos específicos. En primer lugar, se ha pretendido conocer el estado del arte de la investigación sobre la gestión sostenible en la agricultura mexicana para establecer el marco conceptual sobre el que se desarrollará todo el proyecto de Tesis doctoral. En segundo lugar, se ha caracterizado el modelo de desarrollo agrícola que ha tenido lugar en la Costa de Hermosillo, identificando los principales factores limitantes, así como los agentes implicados. En tercer lugar, se han propuesto prácticas de gestión orientadas a la mejora de la sostenibilidad del modelo, identificando las principales barreras y facilitadores, y diseñando medidas para su adopción.

Para dar respuesta a estos objetivos, esta Tesis Doctoral se ha estructurado en cinco capítulos, además de un apartado inicial introductorio, así como otro final de conclusiones. En el primero, se presenta una contextualización de la agricultura mexicana. Los dos capítulos siguientes abordan el estado del arte de la investigación sobre la agricultura en México y su gestión sostenible; y sobre el uso de los recursos hídricos para riego. El cuarto capítulo recoge los resultados sobre el trabajo de campo desarrollado al objeto de identificar las principales barreras y facilitadores para lograr la sostenibilidad en la gestión de los recursos hídricos, y proponer un conjunto de medidas orientadas a la adopción de prácticas sostenibles en su gestión. El quinto capítulo se centra en el ámbito de la gobernanza de los recursos hídricos en la zona de estudio. Se analiza el modelo de gobernanza, se identifican las principales deficiencias y se realizan propuestas para actualizar dicho modelo y adecuarlo en base a las necesidades actuales para alcanzar la sostenibilidad. Finalmente, en el capítulo de conclusiones, se recogen las aportaciones más relevantes de la Tesis Doctoral, así como las limitaciones y líneas futuras de investigación.





# ABSTRACT

---





## ABSTRACT

---

Two of the most pressing challenges facing humanity in the 21st century are the food supply for a growing population and the scarcity of water resources. The main source of food supply is irrigated agriculture. This agricultural system contributes more than 45% of global food production, but also consumes 70% of the world's available water resources. Moreover, the current situation of water scarcity accentuates the rivalry between different sectors for the use of this resource. Irrigated agriculture for food production must compete with the tourism and industrial sectors, the supply of increasingly saturated population centres, the production of biofuels, and the requirements for the good condition of ecosystems.

Mexico is a paradigmatic example of a country that has experienced a successful regional development process based on the evolution of traditional agricultural models towards modern agricultural systems. However, this development has taken place in an unplanned manner and has shortcomings in terms of sustainability. Due to its location and climatic conditions, Mexican agriculture is particularly sensitive to the water problem. Some of the main agricultural regions suffer from serious water shortages. Moreover, the country is located in an area that is particularly vulnerable to the impacts of global climate change, especially in terms of water resources and agricultural ecosystems. Moreover, this development has been based on the use of poor environmental management practices, particularly with regard to water resource management and the unequal distribution of land and infrastructure. The country is therefore a good example to study agricultural development in developing countries. Moreover, the case study considered - the Hermosillo Coast in the State of Sonora - is a perfect "laboratory" for the proposed analysis, as it is a paradigmatic case of the development of an intensive agricultural model based on the overexploitation of groundwater resources.

In this context, the objective of this research has been to analyse the agricultural development model of the Hermosillo Coast in the State of Sonora from a socio-economic perspective in terms of sustainability, in order to propose management alternatives, identifying the main barriers and facilitators that determine the level of acceptance among the main actors involved. This general objective is complemented by three specific objectives. Firstly, the aim has been to ascertain the state of the art of research on sustainable management in

Mexican agriculture in order to establish the conceptual framework on which the entire doctoral thesis project will be based. Secondly, the agricultural development model that has taken place on the Hermosillo Coast has been characterised, identifying the main limiting factors, as well as the agents involved. Thirdly, management practices aimed at improving the sustainability of the model have been proposed, identifying the main barriers and facilitators, and designing measures for their adoption.

In order to meet these objectives, this Doctoral Thesis has been structured in five chapters, in addition to an initial introductory section and a final section of conclusions. The first chapter presents a contextualisation of Mexican agriculture. The next two chapters deal with the state of the art of research on agriculture in Mexico and its sustainable management; and on the use of water resources for irrigation. The fourth chapter presents the results of the field work carried out to identify the main barriers and facilitators to achieve sustainability in water resources management, and to propose a set of measures aimed at the adoption of sustainable practices in water resources management. The fifth chapter focuses on the field of water resources governance in the study area. The governance model is analysed, the main deficiencies are identified and proposals are made to update the model and adapt it to current needs in order to achieve sustainability. Finally, in the conclusions chapter, the most relevant contributions of the Doctoral Thesis are included, as well as the limitations and future lines of research.





# INTRODUCCIÓN

---



## 1. Introducción

La agricultura es una actividad de suma importancia para la sociedad humana, dado que desempeña un papel crucial en la producción de alimentos a nivel mundial y contribuye de manera directa a la generación de riqueza, siendo la única vía de ingreso familiar en regiones rurales deprimidas (Mateos et al., 2013). La expansión e intensificación de la agricultura industrial y tecnológica han aumentado la producción, reduciendo el número de personas subalimentadas (Alexandratos y Bruinsma, 2012) y satisfaciendo la creciente demanda de dietas más ricas y más intensivas en recursos (Smith et al., 2010; Foley et al., 2011; Tilman et al., 2011). Las actividades agrícolas también generan empleo, mejoran el crecimiento económico e impulsan el sector de los servicios (Thornton, 1973; Du Pisani, 2006).

Sin embargo, la intensificación de la agricultura se consigue mediante la aplicación de altos niveles de insumos, como fertilizantes o herbicidas, que pueden contaminar el medio ambiente y afectar a la salud de los medios de vida locales (Tilman, 1999; Kirkhorn y Schenker, 2001). También puede influir en la fertilidad y la erosión del suelo si las prácticas no preservan sus características (Cunningham et al., 2013; Foucher et al., 2014). Por otra parte, la expansión de la agricultura es la segunda mayor amenaza mundial para la conservación de la biodiversidad (Maxwell et al., 2016), debido a las prácticas de deforestación que la preceden. En la actualidad, cerca de tres cuartas partes de los bosques del mundo han desaparecido debido a las prácticas de expansión agrícola (Kissinger et al., 2012), y la resistencia de las poblaciones animales y otros impactos ambientales están en juego (Baudron y Giller, 2014; Maxwell et al., 2016).

Además, el desarrollo de las actividades agrícolas está estrechamente ligado a la disponibilidad de los recursos hídricos, siendo el principal factor limitante para la ampliación o intensificación de la agricultura. Los ecosistemas agrícolas son los principales proveedores de alimentos, pero también son los principales usuarios de recursos hídricos a nivel mundial (Forouzani y Karami, 2011; Fu et al., 2013). Estos ecosistemas utilizan entre el 60% y el 90% del agua disponible, dependiendo del clima y del desarrollo económico de la región (Pedro-Monzonís et al., 2015; Adeyemi et al., 2017). Se ha estimado que, para satisfacer la demanda



de alimentos en 2050, la producción mundial debe aumentar un 70% (Wu y Ma, 2015). En un escenario de baja producción, para cumplir este objetivo será necesario aumentar el uso de los recursos hídricos a nivel mundial en un 53% (De Fraiture y Wichelns, 2010), alrededor del 50% en los países en desarrollo y el 16% en los países desarrollados (Fischer et al., 2007).

La actividad agrícola es de especial relevancia para países en desarrollo, que han basado su modelo de crecimiento en este sector, para dotar de alimentos, empleos y rentas a las familias más vulnerables de los ámbitos rurales (Martínez-Yrizar et al., 2017). México es un ejemplo paradigmático de desarrollo rural basado en la producción agrícola. Este país tiene una superficie de 198 millones de hectáreas, de las cuales aproximadamente el 73% se utiliza para actividades agrícolas (Martínez-Yrizar et al., 2010). A pesar de solo representar el 4% del producto interior bruto (PIB) nacional, la actividad agrícola mexicana es de gran relevancia, no solo en cuanto a su superficie, sino como uno de los principales exportadores de alimentos a nivel mundial (Banister, 2012). Uno de los factores que ha posibilitado el desarrollo agrícola mexicano fue la conversión de la agricultura tradicional a la agricultura comercial, a través de un proceso que se intensificó gracias al Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) (Oswald, 2011; Martínez-Yrizar et al., 2017). Como resultado, se configuró una nueva agricultura diferenciada por regiones, donde los Estados pertenecientes a la frontera norte se especializaron en actividades agrícolas de exportación (CONAGUA, 2010; Mateos et al., 2013). De esta forma, no solo generó una polarización en la agricultura de Norte a Sur, sino que se produjo una concentración de los recursos productivos por parte de los grandes productores de la región (Martínez-Yrizar et al., 2017). De igual forma, la disponibilidad de agua en México está condicionada por las características geográficas regionales. Por lo tanto, la mitad norte del país experimenta un déficit de precipitaciones mientras que en el sur y sureste éstas son abundantes (INEGI, 1993; CONAGUA, 2010; Martínez-Yrizar et al., 2017).

Uno de estos Estados norteños que ha experimentado un fuerte desarrollo agrícola es el de Sonora, donde se advierten tendencias generalizadas de concentración y el uso insostenible de los recursos hídricos (CONAGUA, 2010). La Costa de Hermosillo es una de las regiones más vulnerables de Sonora en referencia al uso de las fuentes subterráneas. La agricultura es la principal actividad económica de esta región, habiendo experimentado un fuerte proceso

de desarrollo basado en la implementación de innovaciones tecnológicas y la conversión de una agricultura tradicional a una comercial, orientada a los cultivos de exportación hortofrutícolas (Mateos et al., 2013; Martínez-Yrizar et al., 2017). La intensificación de la agricultura en esta región dio lugar al incremento de las extracciones de las fuentes de agua subterránea. Como consecuencia, se ha sometido a una gran presión a los acuíferos, que ha resultado en la sobreexplotación del recurso, convirtiéndose en uno de los principales problemas ambientales en la zona (Martínez-Yrizar et al., 2010; Oswald, 2011).

Por lo tanto, se pone de manifiesto que la agricultura mexicana ha experimentado un fuerte proceso de modernización de una forma desequilibrada. Actualmente, una vez logradas las metas de producción y comercialización, México debe hacer frente a nuevos desafíos para lograr una agricultura plenamente sostenible. En este contexto, a partir del año 2000, se ha producido un incremento de la investigación orientada al estudio de la mejora de la sostenibilidad de la agricultura mexicana, convirtiéndose en una línea prioritaria durante la última década. Esta tendencia es un fenómeno experimentado a nivel mundial, especialmente vinculado al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 de Naciones Unidas. De la misma forma, la gestión sostenible de los recursos hídricos en la agricultura mexicana constituye una temática prioritaria.

## **1.1 Objetivos de la Investigación**

El objetivo general de esta Tesis Doctoral es analizar el modelo de desarrollo agrícola de la Costa de Hermosillo desde una perspectiva socio-económica en términos de sostenibilidad, para plantear alternativas de gestión, identificando las principales barreras y facilitadores que determinan el nivel de aceptación entre los principales agentes implicados.

Este objetivo genérico se desglosa en tres objetivos específicos:

Objetivo específico 1: Conocer el estado del arte de la investigación sobre la gestión sostenible en la agricultura mexicana para establecer el marco conceptual sobre el que se desarrollará todo el proyecto de Tesis doctoral.

Objetivo específico 2: Caracterizar el modelo de desarrollo agrícola que ha tenido lugar en la Costa de Hermosillo, identificando los principales factores limitantes, así como los agentes implicados.

Objetivo específico 3: Proponer prácticas de gestión orientadas a la mejora de la sostenibilidad del modelo, identificando las principales barreras y facilitadores, y diseñando medidas para su adopción.

## **2. Metodología**

En este trabajo se ha desarrollado una metodología exploratoria que trata de dar respuesta a las necesidades derivadas del desarrollo de una investigación en la que existen diferentes agentes involucrados con intereses contrapuestos. Dadas las características de la misma, se adoptó un enfoque exploratorio cualitativo. Este tipo de enfoque es apropiado cuando el tema de investigación se encuentra poco desarrollado y cuando se estudia el fenómeno dentro de su contexto (Laurett et al., 2021). Según van Duuren et al. (2019), la investigación empírica cualitativa trata de encontrar pruebas para la generalización de los argumentos más que pruebas estadísticas. Aunque el potencial de generalización de un estudio de caso puede resultar limitado, este tipo de investigación da como resultado una comprensión más profunda del tema de estudio, que permite entender las interacciones en los sistemas complejos, como puede ser el caso de los sistemas agrícolas (Yin, 2009; Bryman, 2012). Finalmente, la insuficiente calidad de los datos cuantitativos y la necesidad de analizar las complejas interdependencias dentro del sistema objeto de estudio requieren métodos exploratorios de investigación capaces de esclarecer el conjunto de variables que intervienen, así como su grado de influencia (Kuntosch et al., 2015).

La metodología aplicada se basa en el uso de diferentes herramientas de investigación cualitativa, organizadas en fases sucesivas, en función del tipo de información suministrada en cada una de ellas por los distintos stakeholders. Este enfoque de múltiples niveles requiere diferentes métodos de investigación para obtener conocimientos exploratorios en detalle y validarlos a nivel de sistema (Flick, 2007; Creswell, 2009; Reiter, 2017). La combinación de métodos consta de los siguientes elementos: revisión de la literatura, entrevistas en profundidad y grupos de trabajo (workshop).

## **2.1. Estado del arte**

Durante la primera etapa de desarrollo de este proyecto de Tesis Doctoral se realizó una revisión de la literatura con la finalidad de cumplir el primero de los objetivos, es decir, establecer el marco teórico que debe guiar el desarrollo del resto del proyecto, analizar la evolución de la investigación sobre la gestión sostenible en la agricultura mexicana, conocer las principales líneas de investigación y las lagunas en la literatura científica.

### **A. Selección del tipo de revisión**

La elaboración del estado del arte plantea varios retos dada la existencia de una gran diversidad de metodologías, el alto número de publicaciones, o las diferentes fuentes de información disponibles. Por lo tanto, el primer paso fue seleccionar el método más adecuado para guiar todo el proceso de realización de la revisión de la literatura existente. A continuación, se indican las más usuales.

- Revisión narrativa o tradicional. Una revisión narrativa se define como un estudio bibliográfico en el que se recopila, analiza, sintetiza y discute la información publicada sobre un tema, que puede incluir un examen crítico del estado de los conocimientos reportados en la literatura (Fortich-Mesa, 2013). La principal característica de este tipo de revisión es que carece de una metodología precisa para su desarrollo, basándose éste básicamente en el criterio experto del autor. Esto supone un sesgo importante de este tipo de trabajos, dado el alto grado de subjetividad (Tinto, 2009).
- Revisión sistemática. Este tipo de revisión se puede definir como un trabajo donde se recopila la información generada por la investigación representada por estudios primarios referentes a un tema determinado para obtener un resumen y una conclusión (Kitchenham, 2004). Esta revisión, a diferencia de la de tipo tradicional, se caracteriza por el uso de una metodología rigurosa que dirige cada una de sus fases de desarrollo. Además, la revisión sistemática puede tener carácter cualitativo o incluir un proceso de análisis matemático (Manterola, 2009). La ventaja fundamental sobre la revisión narrativa es que se reduce notablemente el sesgo debido a la subjetividad del autor.

Las principales metodologías para el análisis cuantitativo en las revisiones de tipo sistemático son el meta-análisis y la revisión bibliométrica. El primero se utiliza para ofrecer estimaciones de la agregación de resultados de distintos trabajos que dan respuesta a una misma pregunta de investigación (Fitzgerald y Rumrill, 2003). Se usa especialmente en disciplinas de medicina y psicología. El análisis bibliométrico también es una metodología de síntesis matemática de trabajos previos. La diferencia más importante entre estas dos herramientas es que mientras que el meta-análisis se suele aplicar a los resultados de trabajos primarios, el método bibliométrico se puede utilizar para el análisis de datos distintos a los resultados, lo que permite la evaluación de otro tipo de variables (Guirao-Goris, 2015). Dado el carácter exploratorio de la fase introductoria de la Tesis doctoral, para el desarrollo del estado del arte en este trabajo se ha seleccionado la revisión sistemática de tipo bibliométrica.

## **B. La revisión bibliométrica**

El análisis bibliométrico es una metodología introducida por Garfield a mediados del siglo pasado (Huang et al., 2014), cuyo objetivo principal es identificar, organizar y analizar los componentes principales dentro de un área de investigación específica (Zhang et al., 2017a; Rodrigues-Vaz et al., 2017). Desde entonces, el uso de esta metodología se ha extendido a los campos de la Ingeniería, la Biología, la Energía, la Medicina, la Economía y la Gestión, entre otras (Gusmão-Caiado et al., 2017). La Bibliometría se utiliza para estudiar la evolución y las tendencias, y evaluar la relevancia de las publicaciones dentro de un área temática determinada utilizando diferentes herramientas de análisis estadísticos y matemáticos (Zhong et al., 2016). Además, permite la identificación de autores, instituciones y los países más productivos que representan a los principales impulsores en el campo de estudio (Li y Zhao, 2015).

El uso de herramientas de mapeo también permite el análisis de áreas de colaboración entre diferentes agentes (Waltman et al., 2010), para representar la información bibliográfica disponible en las bases de datos e identificar las tendencias en un campo específico de investigación (Garfield, 1955; Zhou et al., 2014). De este modo, los vínculos entre autores de diferentes disciplinas, instituciones y países se pueden visualizar de forma gráfica. En

temáticas donde la colaboración internacional resulta de especial relevancia, dado el carácter global del objeto de estudio, esta aplicación resulta de gran importancia (Lee et al., 2008).

Tradicionalmente, el análisis de co-ocurrencia, la co-citación y el acoplamiento bibliográfico han sido los principales enfoques bibliométricos; aplicados a metadatos recogidos en las bases de datos. Estos metadatos incluyen información referente a año de publicación de los documentos, las categorías temáticas en las que se clasifican las publicaciones, las citas obtenidas por los trabajos, y las palabras clave (Suominen y Toivanen, 2016). Actualmente, los métodos bibliométricos tradicionales han dado paso a herramientas de visualización de la información a través de técnicas de extracción de texto y minería de datos (Zhang et al., 2017b), técnicas de superposición de mapas y de asociación de variables (Rafols et al., 2010), desarrollo de marcos de análisis para la valoración de la innovación (Robinson et al., 2013), desarrollo de herramientas de software automatizada basadas en tipos de rutinas (Huang et al., 2014; Suominen y Toivanen, 2016) y desarrollo de métodos para identificar y visualizar las vías evolutivas de los temas científicos en una serie de segmentos de tiempo (Zhang et al., 2017a). Para la consecución de los objetivos de este trabajo se ha considerado más adecuado un enfoque tradicional basado en coocurrencia, dado el carácter generalista que se pretende conseguir en este estudio, utilizando además herramientas actuales de procesamiento y mapeo, cuya robustez ha sido demostrada (Rafols et al., 2010).

Durieux y Gevenois (2010) definieron tres tipos de indicadores en la aplicación de análisis bibliométricos. Estos se dividen en indicadores de cantidad (referidos a la productividad y basados en recuentos); de calidad (haciendo alusión al impacto de la publicación); y estructurales (que miden los vínculos establecidos entre los distintos agentes). Para el desarrollo de la presente investigación se han considerado los tres tipos de indicadores.

## **2.2. Recogida de información primaria**

Una vez revisada, analizada y sintetizada la literatura previa, se dispone de un conjunto amplio de información que debe ser cribada en función de su adecuación al caso de estudio. Dada la variedad de metodologías, teorías, enfoques y variables que pueden ser utilizadas en un campo de estudio, se deben seleccionar aquellas que resulten verdaderamente de utilidad para el estudio de cada caso concreto (Grant and Booth, 2009; Velten et al., 2015). A continuación, se abordan los empleados en esta Tesis Doctoral.

## **A. Entrevistas en profundidad**

Con la finalidad de validar la información recopilada, y seleccionar solo aquella que deba ser considerada en fases posteriores, se realiza una consulta a expertos académicos en forma de entrevistas en profundidad. Además, esta fase tiene como objetivo identificar las posibles alternativas de gestión y los principales obstáculos y facilitadores para la adopción de prácticas sostenibles en la zona de estudio. Se considera que el perfil del investigador académico es el idóneo para la realización de esta tarea, dado que es el tipo de stakeholder más acostumbrado al uso, análisis, producción y transmisión de la información científica (Johnson, 2002).

Las entrevistas son conversaciones más o menos estructuradas mediante las que se genera una interacción entre las partes involucradas con el objetivo de obtener conocimientos (Kvale, 2007). Las entrevistas como método de investigación exploratorio tienen como objetivo encontrar aspectos nuevos y desarrollar preguntas de investigación en temas que no están claramente definidos (Næss, 2018). Mediante las entrevistas en profundidad se produce un intercambio de ideas a través del desarrollo de conversaciones interactivas entre las partes con el objetivo de establecer una relación estrecha con el entrevistado para conseguir respuestas exhaustivas y trascendentes (Rosenthal, 2016). Estas entrevistas tienen carácter no estructurado o semiestructurado, en las que se utiliza una guía con una serie de preguntas abiertas que se van completando en el propio transcurso de la entrevista (DiCicco-Bloom and Crabtree, 2006). Esta metodología es especialmente relevante en aquellos casos en los que se quiere investigar un área que no ha sido explorada previamente o que no cuenta con una base teórica (Zsidisin et al., 2000; Weischedel et al., 2005).

Entre las ventajas de las entrevistas en profundidad se encuentran las siguientes (Morris, 2015; Queirós et al., 2017): i) permiten obtener una gran cantidad de información entrevistando a pocas personas; ii) es un método muy versátil que dota al entrevistador de una gran libertad a la hora de moderar la entrevista; iii) permite evitar posibles problemas relacionados con la conformidad de grupo; iv) el contacto directo con el entrevistado permite al entrevistador obtener información derivada de la observación; y v) se puede realizar un seguimiento de las posibles respuestas incompletas o ambiguas.

No existe un consenso en la literatura académica sobre el número de entrevistas en profundidad que es necesario llevar a cabo en un trabajo exploratorio, pues éste dependerá de la naturaleza de la investigación y del tipo de conocimiento perseguido por el investigador (Qu y Dumay, 2011). Sin embargo, se puede comprobar que existe una transición en las entrevistas en profundidad, de forma que en las entrevistas iniciales se suele adquirir un mayor nivel de conocimiento, mientras que las últimas suelen centrarse en la verificación de los aspectos aprendidos en las entrevistas precedentes (Johnson, 2002). Por lo tanto, la cantidad de entrevistas deberá estar condicionada por la consecución de dicha verificación.

## **B. Grupos de trabajo (workshop)**

La siguiente fase tiene como objetivo principal la elaboración de una propuesta final de gestión, basada en el conocimiento generado durante las distintas etapas del estudio. Esta propuesta debe ser alcanzada a través del consenso de todas las partes interesadas, para conciliar los distintos intereses y evitar la oposición de algún colectivo en la fase de adopción.

Esta última etapa consiste en la realización de un workshop con las principales partes interesadas identificadas. Su desarrollo se presenta como una oportunidad para que los stakeholders de diferentes ámbitos colaboren para ampliar el conocimiento sobre un tema, permitiendo a los investigadores obtener información de gran interés para su estudio (Ahmed and Asraf, 2018). Los workshops son una herramienta muy útil para sintetizar y evaluar conocimiento originado desde distintos ámbitos y alcanzar conclusiones consensuadas (MacMillan and Marshall, 2006; Coleman et al., 2017). Además, la realización de workshops puede favorecer la conexión entre los investigadores y los administradores públicos, ya que permiten el desarrollo de conocimientos que pueden usarse como base para la generación de políticas (Oreszczyn y Carr, 2008). En este workshop final deben estar representados los principales grupos de interés involucrados.

### **2.3. Caso de estudio: la Costa de Hermosillo**

El estudio se realizó en la Costa de Hermosillo, en la región noreste de México, en la planicie costera central del estado de Sonora. La Costa de Hermosillo se extiende 100 km en línea recta entre la ciudad de Hermosillo y Bahía de Kino, a orillas del Golfo de California. Esta zona tiene un clima semiárido, con una precipitación media anual inferior a 100 mm,



concentrada en los meses de verano, una temperatura media anual de 24 °C que puede fluctuar entre una máxima de 47 °C y una mínima de -3 °C, y una alta radiación solar (Hernández-Pérez, 2012).

La principal fuente de agua para riego es subterránea, siendo uno de los distritos de riego por bombeo más grandes del país (Martínez-Peralta, 2014). En 1980, un total de 498 pozos fueron perforados exclusivamente para uso agrícola, representando el 90% del agua disponible para este sector (Olavarieta-Carmona, 2010). El acuífero principal del sistema se identifica como el 2619. Este acuífero tiene una recarga media anual de 250 hm<sup>3</sup>/año y una extracción media de 346 hm<sup>3</sup>/año (Martínez-Peralta, 2014). Como resultado, existe un déficit medio anual de 96 hm<sup>3</sup>/año, lo que se ha traducido en una reducción del volumen total de agua, dando lugar a un proceso de intrusión hídrica, contaminando el agua dulce disponible (CONAGUA, 2020). Este acuífero ha sido declarado como uno de los 17 con intrusión salina, y como uno de los 115 acuíferos sobreexplotados a nivel nacional, teniendo el mayor déficit de los 61 existentes en el estado de Sonora (Manzanares-Rivera, 2016). Como consecuencia de la situación del recurso hídrico, se han abandonado explotaciones agrícolas improductivas por la salinidad del suelo. La concesión de nuevas fincas es inviable y se ha incrementado la rivalidad entre los diferentes usuarios de agua para riego.

### **3. Resultados**

Con la finalidad de establecer el marco teórico que debe servir de base al desarrollo del proyecto de investigación de esta Tesis Doctoral, el primer objetivo fue analizar la investigación realizada sobre la gestión sostenible en la agricultura mexicana. Para ello, se realizó una revisión de la literatura utilizando la metodología descrita. Durante la investigación se puso de manifiesto que el principal factor limitante para la sostenibilidad del modelo agrícola objeto de estudio es la disponibilidad de recursos hídricos que sustentan la producción de cultivos. Por lo tanto, se realizó una revisión de literatura complementaria sobre la gestión sostenible de los recursos hídricos en la agricultura mexicana.

Para dar respuesta al resto de objetivos específicos, se ha realizado un estudio de campo en una zona representativa del modelo de desarrollo agrícola mexicano a partir de la entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN). La finalidad del

estudio fue doble. Por una parte, analizar las percepciones y las preferencias de las partes interesadas de la zona de estudio con respecto a la implementación de medidas que mejoren la sostenibilidad del modelo agrícola. Por otra parte, realizar propuestas de intervención para la adopción de las medidas propuestas en base a las barreras y facilitadores detectados para su implementación.

Los principales resultados de esta Tesis Doctoral se recogen en los distintos capítulos que se presentan a continuación. El primero de ellos, tras esta introducción, contextualiza la zona que ha servido como caso de estudio. Los dos capítulos siguientes recogen los resultados de las revisiones de literatura llevadas a cabo. Así, el capítulo segundo se dedica a la sostenibilidad de la agricultura mexicana. Por su parte, el capítulo tercero se centra en la gestión de los recursos hídricos desde una perspectiva de sostenibilidad. Los dos siguientes capítulos muestran los resultados del trabajo de campo realizado. De esta forma, en el capítulo cuarto se recoge el proceso de elaboración de una propuesta consensuada para la adopción de medidas orientadas a la mejora de la gestión de los recursos hídricos en la agricultura intensiva de la Costa de Hermosillo. El capítulo quinto, por su parte, pone el acento en la gobernanza de los recursos hídricos en la zona de estudio. Tres de los cinco capítulos ya han sido publicados en revistas internacionales incluidas en el Journal Citation Report (JCR), en el que ocupan lugares destacados en sus respectivos ámbitos de conocimiento (son revistas del primer y segundo cuartil).

### **3.1. Contextualización de la agricultura en México**

La agricultura mexicana actualmente es el resultado de una serie de transformaciones sociales, económicas y políticas que comenzaron con la Revolución de 1920, que derivó en la promulgación de leyes que modificaron las estructuras de tenencia de la tierra latifundista, repartiendo la tierra al conjunto de la población. Así, en un principio, el modelo de desarrollo agrícola que comenzó a gestarse tenía como pilar la tenencia de la tierra en ejidos colectivos, que, más adelante, se desintegrarían y volvería a pasar la tenencia colectiva a propiedad privada. De esta manera, a partir de la Revolución Verde, la modernización del campo se daría a través de procesos de innovación como la selección de cultivos por medio de la mejora de semillas, y la incorporación de maquinaria agrícola (como tractores, trilladoras y otras

maquinarias). Estos cambios irían adecuando un nuevo orden agrícola orientado a la apertura comercial que años más tarde se consolidaría con la entrada en vigor del TLCAN. Como resultado, se configura una agricultura intensiva concentrada en algunas regiones, con nuevos patrones de cultivos, y especializada en el mercado de exportación. Este cambio intensificará las relaciones comerciales con Estados Unidos. Sin embargo, los principales impactos negativos observados en el proceso experimentado se derivan del incremento de las desigualdades norte-sur, y el impacto ambiental como consecuencia de la intensificación de la producción, especialmente en cuanto a la sobreexplotación de las masas de agua subterránea para uso agrícola.

### **3.2. Sostenibilidad de la agricultura en México (Artículo 1. Overview of research on sustainable agriculture in developing countries. The case of Mexico)**

Uno de los principales retos a los que se enfrenta la agricultura mexicana es el desarrollo de modelos de gestión capaces de aumentar la producción respetando el medio ambiente y generando riqueza para el conjunto de la sociedad. En los últimos años, el número de estudios que analizan la sostenibilidad de la agricultura mexicana ha crecido significativamente. El objetivo de este estudio es analizar la evolución de la investigación sobre la sostenibilidad de la agricultura en México. Para ello, se realizó una revisión y análisis bibliométrico de una muestra de 867 artículos. Los resultados revelan que la investigación se ha centrado en el desarrollo de modelos agrícolas sostenibles en zonas rurales vulnerables, la explotación sostenible de sistemas agroforestales, el desarrollo de cultivos energéticos para diferentes usos, la gestión de los recursos hídricos y los usos del suelo y sus cambios, la agricultura de conservación y el cambio climático. Aunque la investigación centrada en la sostenibilidad está todavía en sus inicios, se ha convertido en un campo prioritario. Se observa la necesidad de promover la investigación desde las disciplinas económicas y sociales, junto con proyectos holísticos que incluyan los tres pilares de la sostenibilidad (social, económico y medioambiental). Este estudio puede ser útil para los investigadores en este campo, ya que identifica las tendencias recientes y los principales agentes que impulsan el conocimiento.

### **3.3. Gestión sostenible de los recursos hídricos de la agricultura mexicana (Artículo 2. The use of water in agriculture in Mexico and its sustainable management: A bibliometric review)**

El desarrollo de la actividad agrícola en México está generando externalidades ambientales que podrían comprometer su futuro. Uno de los principales retos a los que se enfrenta el sector agrícola mexicano es encontrar la forma de seguir creciendo sin poner en peligro la disponibilidad y calidad de sus recursos hídricos. El objetivo de este artículo es analizar la dinámica de la investigación sobre el uso del agua en la agricultura en México y su gestión sostenible. Para ello, se ha realizado una revisión y un análisis bibliométrico sobre una muestra de 1490 artículos. Los resultados muestran que la investigación se ha centrado en la contaminación de las masas de agua, el cambio climático, la calidad del agua, la aplicación de tecnología para hacer más eficiente el uso del agua, la biodiversidad, la erosión, las prácticas agronómicas que reducen el consumo de agua, las fuentes de agua subterránea y la agricultura de conservación. Aunque la investigación centrada en la sostenibilidad está todavía en sus inicios, se ha convertido en un campo prioritario. Se ha detectado un vacío en la investigación en cuanto a las dimensiones económica y social de la sostenibilidad. También faltan estudios holísticos que incluyan los tres pilares de la sostenibilidad (medioambiental, económico y social).

### **3.4. Análisis de la adopción de prácticas sostenibles del agua en la agricultura intensiva de la Costa de Hermosillo (Artículo 3. Analysis of the acceptance of sustainable practices in water management for the intensive agriculture of the Costa de Hermosillo, Mexico)**

México, al igual que muchos países, depende de sus acuíferos para obtener al menos el 60% de toda el agua de riego para producir cultivos cada año. A menudo, la extracción de agua va más allá de lo que el acuífero puede reponer con las escasas lluvias. México es un país que ha experimentado un exitoso proceso de desarrollo regional basado en la adopción de sistemas agrícolas intensivos. Sin embargo, este desarrollo se ha producido de forma no planificada y presenta deficiencias en términos de sostenibilidad, especialmente en la gestión de los recursos hídricos. En este estudio se analizó el caso de la Costa de Hermosillo, que es

una de las regiones mexicanas en las que se ha desarrollado este modelo de agricultura intensiva y donde existe un alto nivel de sobreexplotación de sus recursos hídricos subterráneos. A partir de la aplicación de una metodología cualitativa que involucra a diferentes actores (agricultores, políticos e investigadores), se han identificado las principales barreras y facilitadores para lograr la sostenibilidad en la gestión de los recursos hídricos. Se han contemplado una serie de medidas consensuadas que pueden conducir a la adopción de prácticas sostenibles en la gestión del agua. De este análisis pueden extraerse lecciones útiles que pueden aplicarse a otras zonas agrícolas en las que los recursos hídricos subterráneos y superficiales están sobreexplotados, se pasan por alto las fuentes de agua alternativas y las partes involucradas tienen intereses contrapuestos en la gestión del agua.

### **3.5. Gobernanza de los recursos hídricos en la agricultura de la Costa de Hermosillo**

Los recursos hídricos están sometidos a una grave degradación debido a muchos factores, como las alteraciones en el uso del suelo, la expansión agrícola y urbana y la sobreexplotación debida al desarrollo económico. Paralelamente a esta degradación y sobreexplotación de los ecosistemas y de los recursos hídricos, se espera que aumente la demanda de los servicios suministrados por estos recursos. Se ha reconocido cada vez más que muchos de los problemas de la gestión del agua están más asociados a fallos de gobernanza que a cuestiones relacionadas con los recursos (por ejemplo, la escasez). La gobernanza del agua se refiere al marco político, económico, social y administrativo que nos permite determinar quién tiene acceso al agua, dónde, cuándo y bajo qué condiciones, quién se beneficia de su uso y cómo se reparten los costes de los servicios relacionados con el agua.

El marco normativo para la gestión de los recursos hídricos agrícolas en México emana principalmente de la Ley de Aguas Nacionales de 1992, y la institución responsable de la concesión de derechos de uso del agua es la Comisión Nacional del Agua, que delega sus funciones en la Asociación de Usuarios. Este modelo de gestión da lugar a ineficiencias en el uso del recurso que se sintetizan en un acceso restringido al agua, siendo monopolizado por los propietarios privados de la tierra, un predominio de la producción orientada a la exportación de cultivos comerciales, y un impacto en las masas de agua como consecuencia de la sobreexplotación. Para tratar de dar solución a estos problemas se propone un conjunto

de modificaciones en el modelo de gobernanza que se concretan en cambiar el modelo de otorgamiento de las concesiones de acceso a los recursos hídricos para su tramitación de forma individual y no grupal; pasar de un modelo centralizado a uno descentralizado; y la creación de una mesa permanente de trabajo que integre a todos los agentes sociales implicados.

## **Bibliografía**

- Adeyemi, O.; Grove, I.; Peets, S.; Norton, T. Advanced monitoring and management systems for improving sustainability in precision irrigation. *Sustainability* 2017, 9, 353. <https://dx.doi.org/10.3390/su9030353>
- Ahmed, S.; Asraf, R.M. The workshop as a qualitative research approach: lessons learnt from a “critical thinking through writing” workshop. *TOJDAC* 2018, 1504-1510. [http://tojdac.org/tojdac/VOLUME8-SPTMSPCL\\_files/tojdac\\_v080SSE201.pdf](http://tojdac.org/tojdac/VOLUME8-SPTMSPCL_files/tojdac_v080SSE201.pdf)
- Alexandratos, N.; Bruinsma, J. World Agriculture towards 2030/2050: the 2012 Revision. FAO, ESA Working Paper 12-03. United Nations Food and Agriculture Organization, Rome (2012). <https://ageconsearch.umn.edu/record/288998/>
- Banister, J. Diluvios de grandeza: agua, territorio y poder en el río Mayo en el noroeste de México, 1880-1910. *Región y Sociedad* 2012, 24(3), 11-51.
- Baudron, F.; Giller, K.E. Agriculture and nature: trouble and strife? *Biol. Conserv.* 2014, 170, 232-245. <http://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.12.009>
- Bryman, A. *Social Research Methods*, 4th ed.; Oxford University Press: New York, NY, USA, 2012; Volume 1, ISBN: 9788578110796.
- Coleman, S.; Hurley, S.; Koliba, C.; Zia, A. Crowdsourced Delphis: Designing solutions to complex environmental problems with broad stakeholder participation. *Glob. Environ. Change* 2017, 45, 111-123. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.05.005>.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Estadísticas del agua en México, Edición 2010. <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM2010-16Junio2010.pdf>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2020). Actualización de la Disponibilidad Media anual de Agua en el Acuífero Costa de Hermosillo (2619) Estado de Sonora 2020. Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas. Comisión Nacional del Agua: México D.F., Mexico. [https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos\\_Acuiferos\\_18/sonora/DR\\_2619.pdf](https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/sonora/DR_2619.pdf)

- Creswell, J.W. *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*, 3rd ed.; SAGE Publications, Inc. Thousand Oaks, California, USA, 2009; Volume 1, ISBN 978-1-4129-6556-9
- Cunningham, S.A.; Attwood, S.J.; Bawa, K.S.; Benton, T.G.; Broadhurst, L.M.; Didham, R.K.; McIntyre, S.; Perfecto, I.; Samways, M.J.; Tscharntke, T.; et al. To close the yield-gap while saving biodiversity will require multiple locally relevant strategies. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2013, 173, 20-27. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2013.04.007>
- De Fraiture, C.; Wichelns, D. Satisfying future water demands for agriculture. *Agric. Water Manag.* 2010, 97, 502–511. <https://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2009.08.008>
- DiCicco-Bloom, B.; Crabtree, B.F. The qualitative research interview. *Med. Educ.* 2006, 40(4), 314-321. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2929.2006.02418.x>
- Du Pisani, J.A. Sustainable development – historical roots of the concept. *J. Environ. Sci.* 2006, 3(2), 83-96. <http://doi.org/10.1080/15693430600688831>
- Durieux, V.; Gevenois, P.A. Bibliometric Indicators: Quality Measurements of Scientific Publication. *Radiology* 2010, 255, 342. <https://doi.org/10.1148/radiol.09090626>
- Fischer, G.; Tubiello, F.N.; van Velthuis, H.; Wiberg, D.A. Climate change impacts on irrigation water requirements: Effects of mitigation, 1990–2080. *Technol. Forecast. Soc.* 2007, 74, 1083–1107. <https://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2006.05.021>
- Fitzgerald, S.M.; Rumrill, P.D. Meta-analysis as a tool for understanding existing research literature. *Work* 2003, 21, 97-103. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12897396/>
- Flick, U. *Designing Qualitative Research*. Thousand Oaks: SAGE Publications, Ltd; London, United Kingdom, 2007. ISBN: 9780761949763. <https://dx.doi.org/10.4135/9781849208826>
- Foley, J.A.; Ramankutty, N.; Brauman, K.A.; Cassidy, E.S.; Gerber, J.S.; Johnston, M.; Mueller, N.D.; O’Connell, C.; Ray, D.K.; West, P.C.; et al. Solutions for a cultivated planet. *Nature* 2011, 478(7369), 337-342. <http://doi.org/10.1038/nature10452>



- Forouzani, M.; Karami, E. Agricultural water poverty index and sustainability. *Agron. Sustain. Dev.* 2011, 31, 415–432. <https://doi.org/10.1051/agro/2010026>
- Fortich-Mesa, N. Systematic review or narrative review? *Ciencia y Salud* 2013, 5(1), 1-4. <https://doi.org/10.22519/21455333.372>
- Foucher, A.; Salvador-Blanes, S.; Evrard, O.; Simonneau, A.; Chapron, E.; Courp, T.; Cerdan, O.; Lefèvre, I.; Adriaensen, H.; Lecompte, F.; Desmet, M. Increase in soil erosion after agricultural intensification: evidence from a lowland basin in France. *Anthropocene* 2014, 7, 30-41. <http://doi.org/10.1016/j.ancene.2015.02.001>
- Fu, H.Z.; Wang, M.H.; Ho, Y.S. Mapping of drinking water research: A bibliometric analysis of research output during 1992–2011. *Sci. Total Environ.* 2013, 443, 757–765. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.11.061>
- Garfield, E. Citation Indexes for Science. *Science* 1955, 122, 108–111. <https://doi.org/10.1126/science.122.3159.108>
- Grant, M.J.; Booth, A. A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Inf. Libr. J.* 2009, 26(2), 91-108. <http://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x>
- Guirao-Goris, S.J.A. Usefulness and types of literature reviews. *Ene* 2015, 9(2). <http://dx.doi.org/10.4321/S1988-348X2015000200002>
- Gusmão-Caiado, R.G.; de Freitas-Dias, R.; Veiga-Mattos, L.; Gonçalves-Quelhas, O.L.; Leal-Filho, W. Towards sustainable development through the perspective of eco-efficiency - A systematic literature review. *J. Clean Prod.* 2017, 165, 890-904. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.166>
- Hernández-Pérez, J.L. Los Cambios en el Patrón de Cultivos en Sonora a Partir del Proceso de Restauración Agrícola en México: El Caso de la Costa de Hermosillo. Tesis Doctoral, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), Hermosillo, Mexico, 2012. <http://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1006/164>
- Huang, L.; Zhang, Y.; Guo, Y.; Zhu, D.; Porter, A.L. Four dimensional science and technology planning: A new approach based on bibliometrics and technology

roadmapping. *Technol. Forecast. Soc. Chang.* 2014, 81, 39-48.  
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.09.010>

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). Estudio hidrológico del estado de Sonora. INEGI 1993, México, DF., México. ISBN 968-892-879-8.  
[https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825221294/702825221294\\_1.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825221294/702825221294_1.pdf)

Johnson, J. M. In-Depth interviewing. In *Handbook of Interview Research: Context and method*, Gubrium, J. F.; Holstein, J.A., Eds.; SAGE: Thousand Oaks, CA, USA, 2002. ISBN: 9780761919513

Kirkhorn, S.; Schenker, M.B. Human Health Effects of Agriculture: Physical Diseases and Illnesses. *National Agriculture Safety Database (NASD)* (2001), p. 18.  
<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.561.5720&rep=rep1&type=pdf>

Kissinger, G.; Herold, M.; De, V.; Angelsen, A.; Bietta, F.; Bodganski, A.; Boucher, D.; Boyle, T.; Brickell, E.; Defries, R.; et al. *Drivers of Deforestation and Forest Degradation: A Synthesis Report for REDD+ Policy Makers*. Vancouver, Canada, 2012.  
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.871.3309&rep=rep1&type=pdf>

Kitchenham, B. 2004. *Procedures for Performing Systematic Reviews* (Keele University. Technical Report TR/SE-0401).

Kuntosch, A.; König, B.; Bokelmann, W. A Systemic Perspective to Horticultural Innovation – the Case of Energy Saving Innovations in German Horticulture. *Proc. II International Symposium on Horticulture in Europe*. Eds.: Mauget, J.-C.; Godet, S. *Acta Hortic.* 1099, ISHS 2015. <http://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1099.61>

Kvale, S. *Doing Interviews*. SAGE: Thousand Oaks, CA, USA, 2007. ISBN: 9780761949770

- Laurett, R.; Paço, A.; Mainardes, E.W. Sustainable Development in Agriculture and its Antecedents, Barriers and Consequences – An Exploratory Study. *Sustain. Prod. Consum.* 2021, 27, 298-311. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.10.032>
- Lee, S.; Lee, S.; Seol, H.; Park, Y. Using patent information for designing new product and technology: Keyword based technology roadmapping. *R&D Management* 2008, 38, 169–188. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9310.2008.00509.x>
- Li, W.; Zhao, Y. Bibliometric analysis of global environmental assessment research in a 20-year period. *Environ. Impact Assess. Rev.* 2015, 50, 158-166. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2014.09.012>
- MacMillan, D.C.; Marshall, K. The Delphi process—an expert-based approach to ecological modelling in data-poor environments. *Anim. Conserv.* 2006, 9(1), 11-19. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1795.2005.00001.x>
- Manterola, C. Revisión Sistemática de la Literatura. Síntesis de la Evidencia. *Rev. Med. Clin. Conde* 2009, 897-903. <file:///D:/Datos/Escriptorio/X0716864009322555.pdf>
- Manzanares-Rivera, J.L. Calidad de los recursos hídricos en el contexto de la actividad económica y patrones de salud en Sonora, México. *Salud Colect.* 2016, 12, 397–414. <https://doi.org/10.18294/sc.2016.811>
- Martínez-Peralta, C.M. El Dilema de los Comunes en la Gran Irrigación El Caso del Acuífero de la Costa de Hermosillo, Sonora, México, 1970–2010. Tesis Doctoral, Colegio de Sonora (COLSON), Hermosillo, México, 2014.
- Martínez-Yrizar, A.; Felger, R.; Búrquez, A. Los ecosistemas de Sonora: un diverso capital natural. En Molina, F.; Frenner, T.; Van, D. (eds). *Diversidad biológica del estado de Sonora*. UNAM/CONABIO, México, México, pp. 129-156, 2010. ISBN 978-607-02.0427-2.
- Martínez-Yrizar, A.; Álvarez-Sánchez, J.; Maass, M. Análisis y perspectivas del estudio de los ecosistemas terrestres de México: dinámica hidrológica y flujos de nitrógeno y fósforo. *Revista mexicana de biodiversidad* 2017, 88, 27-41. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.008>.

- Mateos, E.; Salina, J.; Prieto, R.; Patiño, C.; Santana, J.; Reza, I.; Colorado, G.; Mendoza, I.; Maya, E.; Rosario, J.; et al. Efecto del cambio climático en el recurso hídrico en México. En Borguett-Ortiz, V. (Editor): Libro de actas del Congreso Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) 2013. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, México, 2013. ISBN: 978-607-7563-92-1.
- Maxwell, S.L.; Fuller, R.A.; Brooks, T.M.; Watson, J.E.M. Biodiversity: the ravages of guns, nets and bulldozers. *Nature* 2016, 536, 143-145. <http://doi.org/10.1038/536143a>
- Morris, A. A practical introduction to in-depth interviewing. SAGE Publications, Ltd; London, United Kingdom, 2015. <https://dx.doi.org/10.4135/9781473921344>
- Næss, P. Validating explanatory qualitative research: enhancing the interpretation of interviews in urban planning and transportation research. *Applied Mobilities* 2018, 5(2), 186-205. <https://doi.org/10.1080/23800127.2018.1464814>
- Olavarrieta-Carmona, M.V. Beneficios de la cuota energética. Estudio de caso de la Costa de Hermosillo, Sonora, México, 2006–2007. *Región Soc.* 2010, 22, 146–164. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-39252010000100007](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-39252010000100007)
- Oreszczyn, S.; Carr, S. Improving the link between policy research and practice: using a scenario workshop as a qualitative research tool in the case of genetically modified crops. *Qual. Res.* 2008, 8(4), 473-497. <https://doi.org/10.1177/1468794107087479>
- Oswald, S. (Coordinadora). Retos de la investigación del agua en México. Cuernavaca: UNAM, Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, México, México, 2011. 754 p. ISBN: 978-3-926979-81-0
- Pedro-Monzonís, M.; Solera, A.; Ferrer, J.; Estrela, T.; Paredes-Arquiola, J. A review of water scarcity and drought indexes in water resources planning and management. *J. Hydrol.* 2015, 527, 482–493. <https://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.05.003>
- Qu, S.Q.; Dumay, J. The qualitative research interview. *Qual. Res. Account. Manag.* 2011, 8(3), 238-264. <https://doi.org/10.1108/11766091111162070>

- Queirós, A.; Faria, D.; Almeida, F. Strengths and limitations of qualitative and quantitative research methods. *Eur. J. Educ. Stud.* 2017, 3(9), 369-387. <https://doi.org/10.5281/zenodo.887089>
- Rafols, I.; Porter, A.L.; Leydesdorff, L. Science overlay maps: A new tool for research policy and library management. *J. Am. Soc. Inf. Sci. Technol.* 2010, 61(9), 1871-1887. <https://doi.org/10.1002/asi.21368>
- Reiter, Bernd. *Theory and Methodology of Exploratory Social Science Research*. *Ijsrm.Human* 2017, 5(4), 129-150. [http://scholarcommons.usf.edu/gia\\_facpub/132](http://scholarcommons.usf.edu/gia_facpub/132)
- Robinson, D.K.; Huang, L.; Guo, Y.; Porter, A.L. Forecasting Innovation Pathways (FIP) for new and emerging science and technologies. *Technol. Forecast. Soc. Chang.* 2013, 80(2), 267-285. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2011.06.004>
- Rodrigues-Vaz, C.; Shoening-Rauen, T.R.; Rojas-Lezana, A.G. Sustainability and innovation in the automotive sector: A structured content analysis. *Sustainability* 2017, 9(6), 880. <https://doi.org/10.3390/su9060880>
- Rosenthal, M. Qualitative research methods: Why, when, and how to conduct interviews and focus groups in pharmacy research. *Curr. Pharm. Teach. Learn.* 2016, 8(4), 509-516. <https://doi.org/10.1016/j.cptl.2016.03.021>
- Smith, P.; Gregory, P.J.; van Vuuren, D.; Obersteiner, M.; Havlík, P.; Rounsevell, M.; Woods, J.; Stehfest, E.; Bellarby, J. Competition for land. *Philos. Trans. R. Soc. B-Biol. Sci.* 2010, 365, 2941-2957. <http://doi.org/10.1098/rstb.2010.0127>
- Suominen, A.; Toivanen, H. Map of science with topic modeling: Comparison of unsupervised learning and human-assigned subject classification. *J. Assoc. Inf. Sci. Tech.* 2016, 67, 2464-2476. <https://doi.org/10.1002/asi.23596>
- Thornton, D.S. Agriculture in economic development. *J. Agric. Econ.* 1973, 24, 225-288. <https://doi.org/10.1111/j.1477-9552.1973.tb01521.x>
- Tilman, D. Global environmental impacts of agricultural expansion: the need for sustainable and efficient practices. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 1999, 96, 5995-6000. <http://doi.org/10.1073/pnas.96.11.5995>

- Tilman, D.; Balzer, C.; Hill, J.; Befort, B.L. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2011, 108(50), 20260-20264. <http://doi.org/10.1073/pnas.1116437108>
- Tinto, J.A. El meta-análisis como instrumento de búsqueda y selección de información. Una experiencia en el proceso de selección bibliográfica para el desarrollo de una tesis doctoral. *Visión Gerencial* 2009, junio 2009, 203-229.
- Van Duuren, D.; van Alphen, H.J.; Koop, S.H.A.; de Bruin, E. Potential Transformative Changes in Water Provision Systems: Impact of Decentralised Water Systems on Centralised Water Supply Regime. *Water* 2019, 11(8), 1709. <https://doi.org/10.3390/w11081709>
- Velten, S.; Leventon, J.; Jager, N.; Newig, J. What is sustainable agriculture? A systematic review. *Sustainability* 2015, 7(6), 7833-7865. <https://doi.org/10.3390/su7067833>
- Waltman, L.; van Eck, N.J.; Noyons, E.C. A unified approach to mapping and clustering of bibliometric networks. *J. Informetr.* 2010, 4(4), 629-635. <http://arxiv.org/abs/1006.1032v1>
- Weischedel, B.; Matear, S.; Deans, K.R. A qualitative approach to investigating online strategic decision making. *Qual. Mark. Res.* 2005, 8(1), 61-76. <https://doi.org/10.1108/13522750510575444>
- Wu, W.; Ma, B. Integrated nutrient management (INM) for sustaining crop productivity and reducing environmental impact: A review. *Sci. Total Environ.* 2015, 512–513, 415–427. <https://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.12.101>
- Yin, R.K. *Case Study Research Design and Methods*, 4th ed.; SAGE: Thousand Oaks, CA, USA, 2009; Volume 5, ISBN: 9781412960991.
- Zhang, Y.; Zhang, Y.; Shi, K.; Yao, X. Research development, current hotspots, and future directions of water research based on MODIS images: A critical review with a bibliometric analysis. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2017a, 24, 15226–15239. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9107-1>

- Zhang, Y.; Chen, H.; Lu, J.; Zhang, G. Detecting and predicting the topic change of Knowledge-based Systems: A topic-based bibliometric analysis from 1991 to 2016. *Knowledge-Based Syst.* 2017b, 133, 255-268. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2017.07.011>
- Zhong, S.; Geng, Y.; Liu, W.; Gao, C.; Chen, W. A bibliometric review on natural resource accounting during 1995-2014. *J. Clean Prod.* 2016, 139, 122-132. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.039>
- Zhou, X.; Zhang, Y.; Porter, A.L.; Guo, Y.; Zhu, D. A patent analysis method to trace technology evolutionary pathways. *Scientometrics* 2014, 100, 705–721. <https://doi.org/10.1007/s11192-014-1317-4>
- Zsidisin, G.A.; Panelli, A.; Upton, R. Purchasing organization involvement in risk assessments, contingency plans, and risk management: an exploratory study. *Supply Chain Manag.* 2000, 5(4), 187-198. <https://doi.org/10.1108/13598540010347307>







CAPÍTULO 1.

**CONTEXTUALIZACIÓN DE LA  
AGRICULTURA EN MÉXICO**

---



# CONTEXTUALIZACIÓN DE LA AGRICULTURA EN MÉXICO

---

## 1. Introducción

El desarrollo de las actividades agrícolas en México es producto de una serie de transformaciones sociales, económicas y políticas, tanto de índole interna como externa. La lucha social en el campo que impulsó la Revolución mexicana en 1920, derivó en la promulgación de leyes que fueron modificando las estructuras con respecto a la tenencia de la tierra latifundista para su reparto a los pueblos (Patiño, 2015).

La reconversión a uso agrícola de tierras en zonas no explotadas generó la necesidad de infraestructuras y apoyo a los campesinos para la producción de cultivos de subsistencia y su distribución en el mercado interno (Gracia-Hernández, 2010). Así, el modelo de desarrollo agrícola que comenzó a gestarse, tenía como pilar la tenencia de la tierra en ejidos colectivos que, mediante la ayuda de un “Estado Benefactor”, impulsó las actividades agrícolas a través del desarrollo de infraestructuras hidráulicas, la dotación de subsidios y el apoyo técnico a los productores (Romero, 2002).

Más adelante, producto de la Revolución Verde, se destinarían apoyos y subsidios hacia los productores privados, con el objetivo de modernizar el campo mediante la investigación en mejora de semillas, y el acceso a maquinaria y equipos como tractores, trilladoras y otras maquinarias (Cordera, 2015). Estos cambios irían configurando un nuevo orden agrícola orientado hacia la apertura comercial que años más tarde se consolidaría con la entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) (Hernández-Moreno et al., 2008).

Actualmente, la agricultura mexicana se estructura de una forma asimétrica, con regiones especializadas en sistemas agrícolas altamente intensivos, nuevos patrones de cultivo, y orientadas al mercado de exportación; mientras que otras se dedican a cultivos de subsistencia con escasa productividad (Villa y Bracamonte, 2013). De igual manera, se puede diferenciar entre grandes explotaciones en manos de propietarios privados y pequeños productores en tierras marginales sin acceso a financiación ni opciones de desarrollo. A nivel nacional, se puede distinguir entre los principales Estados exportadores del norte, orientados al mercado

internacional con Estados Unidos a la cabeza, y los Estados del sur, orientados a la demanda interna. Esta estructura productiva nacional ha desembocado, además, en graves problemas ambientales, especialmente relacionados con la sobreexplotación de los recursos hídricos para uso agrícola (Moncada et al., 2013).

## **2. Evolución histórica de la agricultura en México**

El desarrollo de la agricultura en México tiene sus antecedentes en una serie de transformaciones sociales, económicas, jurídicas y políticas, que comenzaron con el movimiento revolucionario de 1910 (Cordera, 2015). El objetivo principal de la lucha revolucionaria era cambiar el régimen de propiedad de la tierra, y evolucionar hacia un sistema más equitativo y eficiente. El primer paso fue el desmantelamiento de las estructuras rurales de producción, articuladas como grandes propiedades latifundistas, en manos de un grupo dominante de hacendados que tenía el control de las tierras fértiles y que operaba como la unidad económica de producción agrícola nacional (Morett, 2006; Grijalva-Díaz, 2011).

Estos cambios tendrían lugar a partir de la Ley Agraria del 6 de enero de 1915 que declaraba nulas todas las enajenaciones de la tierra, aguas y montes pertenecientes a los pueblos, y que estipulaba la devolución de los terrenos a los pueblos que habían sido despojados (Patiño, 2015). “Esta Ley sería la semilla que permitió establecer el cuerpo jurídico que hizo posible que actualmente se consideren en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, los tres tipos de tenencia de la tierra más importantes: el ejido, la comunidad y la pequeña propiedad” (Patiño, 2015:17).

Con la aprobación de la Constitución de 1917 se inicia la Reforma Agraria. El Artículo 27 constitucional sobre las formas de propiedad de la tierra, cumpliría con el objetivo principal de la revolución mexicana de la expropiación de tierras a los latifundios para el reparto agrario. Dicho artículo establece: “La propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional, corresponde originariamente a la Nación, la cual ha tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares, constituyendo la propiedad privada” (DOF, 1917). Según Romero (2002:9), “con el Artículo 27, surgen dos formas de propiedad agraria: el ejido y la pequeña propiedad, desapareciendo jurídicamente la posibilidad de la supervivencia de la propiedad latifundista de la tierra”. Los gobiernos

posteriores a la revolución siguieron profundizando en la reforma agraria y el reparto de tierras, y el proceso de tecnificación y modernización del campo para incrementar la producción agrícola, gracias, especialmente, a la importación de inputs desde los Estados Unidos (Gracia- Hernández, 2010).

Sin embargo, no sería hasta el período Cardenista (1934-1940) cuando el proceso de la reforma agraria adquiere especial relevancia. El reparto agrario en este período se intensificó, la tierra repartida era utilizada para cultivos de subsistencia que serían distribuidos en el mercado interno (SADER, 2020). En este período se altera la estructura de tenencia de la tierra en base a la creación de ejidos colectivos, llegando a constituirse 800 cooperativas a nivel nacional. Para 1940 los ejidos representaban el 50% del total de las tierras productivas, manteniendo la propiedad privada el otro 50% (Romero, 2002).

El reparto agrario propició la modificación de los usos del suelo, incorporando a la superficie agrícola zonas no explotadas anteriormente, que, a su vez, requirieron la inversión en infraestructura para el riego, y la dotación de partidas presupuestarias para posibilitar el acceso a financiación y asistencia técnica (Romero, 2002). Para canalizar esos recursos económicos surgen los bancos regionales como el Banco Hipotecario y Agrícola del Pacífico, que priorizan los créditos enfocados a la financiación de la producción agrícola mediante la integración de agricultores en organizaciones para el cultivo de arroz, trigo y frijol (Grijalva-Díaz, 2011). De tal manera, prolifera una variedad de organizaciones y asociaciones de productores con la finalidad de obtener acceso a créditos para financiar su actividad (Grijalva-Díaz, 2011).

A partir de 1940, este escenario cambiaría debido a que los estímulos oficiales que se destinaban a las cooperativas, asociaciones o ejidos colectivos pasan a otorgarse a la agricultura empresarial privada (Cárdenas, 2008). Este cambio se debió a factores internos y externos, como el estallido de la segunda Guerra Mundial, lo que aceleró un proceso de

mayor desarrollo del mercado interno con la estrategia de industrialización vía sustitución de importaciones<sup>1</sup> (Cordera, 2015).

Este nuevo modelo de desarrollo orientado a la industrialización generó cambios negativos en el campo, al destinarse el grueso de los recursos productivos del país a las necesidades para el crecimiento acelerado de la industria (Cárdenas, 2008). La marginación de los productores rurales de subsistencia no tardó en aparecer, debido a que la agricultura empresarial exigía métodos de producción más intensivos, imponiendo la adopción de tecnologías promovidas por la Revolución Verde, como el uso de insumos industriales, maquinaria, fertilizantes y herbicidas (Romero, 2002). La demanda de estos insumos elevaba los costes de producción y, sin acceso a créditos, los campesinos sólo disponían de pequeñas parcelas mayoritariamente localizadas en tierras de temporal de baja calidad (Quintero-Peralta, 2017). Según Calva (1988), para los productores agrícolas, el resultado de esta nueva relación entre industria y agricultura traería la imposición de precios no rentables y la sustitución de la producción nacional por importada, y, por siguiente, su exclusión como factor esencial de contención salarial, lo que iría deteriorando las economías rurales y excluyéndolas de la producción y el desarrollo.

Ante este panorama, los latifundios pasaron a ser la pequeña propiedad privada que gozaba de los privilegios otorgados por la misma legislación, mediante la modificación al inciso XV del Artículo 27 de la Constitución<sup>2</sup>, implementada el 2 de enero de 1992. En base a esta modificación, que ponía fin a los latifundios, pero redefinía las condiciones de existencia de

---

1 Industrialización vía sustitución de importaciones (ISI) fue un modelo adoptado en América Latina y en otros países en desarrollo posterior a la primera Guerra Mundial y segunda Guerra Mundial que tenía como objetivo dejar de importar productos extranjeros y consumir los productos nacionales.

2 El inciso XV del artículo 27 constitucional de 1934, contenía una serie de principio que regulaban la materia agraria en México, tal cual: En Los Estados Unidos Mexicanos quedaban prohibidos los latifundios, la propiedad originaria de la tierra y del agua, comprendidas dentro del territorio nacional, correspondía a la nación, y sólo ella puede constituir la propiedad privada (D.O.F, 1934). Sin embargo, el 6 de enero de 1992, se modifica este inciso y se estipula que La Nación dictará las medidas necesarias para el fomento de la agricultura, precisa que las sociedades mercantiles por acciones podrán ser propietarias de terrenos rústicos únicamente en la extensión que se necesaria para el cumplimiento de su objeto. La ley regulará el ejercicio de los derechos de los comuneros sobre la tierra y de cada ejidatario sobre su parcela, establecerá los procedimientos podrán asociarse entre sí con el Estado o con terceros y otorgar el uso de sus tierras; y, tratándose de ejidatarios, transmitir sus derechos parcelarios entre los miembros del núcleo de población; fijará los requisitos y procedimientos conforme a los cuales la asamblea ejidal otorgará el ejidatario el dominio sobre su parcela. En caso de enajenación de parcelas se respetará el derecho de preferencia (S.I.I.D, 2005).

la propiedad privada en términos favorables para los empresarios agrícolas. Fruto de este cambio, en 1955 el 54,3% del total del producto agrícola nacional tubo origen en el 3,3% de las unidades agrícolas de producción (Romero, 2002). A partir de esos años se inicia un nuevo proceso de modernización en el campo, con la creación de nuevas zonas de riego como motor para atender los problemas del subdesarrollo y el atraso de la economía mexicana. Los programas por parte del Gobierno Federal se enfocaron en la construcción de grandes obras hidráulicas, la organización y el control de los distritos de riego que tenían como objetivo orientar la agricultura hacia la demanda nacional y el fomento de la agricultura de exportación (Lorenzana-Durán, 2019). Estas obras se concentraron en los Estados del Norte y Noroeste del país.

Sin embargo, de 1965 a 1980, la agricultura mexicana experimentó una crisis causada por la pérdida de dinamismo de las exportaciones y el aumento de las importaciones de productos primarios (Gracia-Hernández, 2010). Esto fue debido al cambio de los patrones alimenticios de la población nacional, la dependencia para el abastecimiento de productos importados como el grano y por el aislamiento de una gran cantidad de campesinos de escasos recursos (Soto-Mora, 2003). Los datos muestran que el PIB agrícola pasó de 7,1% en 1970 al 5,1% en 1982. En esos años, las tierras de temporal disminuyeron su participación en la superficie nacional cosechada desde el 84% al 71%; mientras que las tierras de riego aumentaron su participación desde el 16% al 29% (Romero, 2012).

Los cambios como consecuencia del proceso de modernización experimentado en el campo a partir de la Revolución Verde fueron muy positivos para el sector agrícola privado. Por un lado, abastecía el mercado interno y, por el otro, los excedentes se destinaban hacia el mercado externo, gracias a la diversificación de cultivos que demandaban los mercados externos como las oleaginosas, hortalizas y frutales (Macías-Macías, 2010). Gracias a ello se produjo un aumento sostenido del PIB agrícola, en lo que la literatura económica denominó “el milagro mexicano” (Cordera, 2015). Sin embargo, para los productores rurales se traduciría en la disminución de la superficie cosechada, principalmente en las tierras de temporal, viéndose afectados los cultivos de alimentos básicos asociados a este tipo de tierras como el maíz y el trigo.



A partir de los años ochenta del siglo pasado, la política gubernamental en México fue asentando las bases para la privatización de la economía, alentando la inversión extranjera mediante la apertura comercial y dejando atrás las políticas del “Estado Benefactor”, como los subsidios del gasto público y la ausencia de la presencia estatal en los procesos de comercialización en el sector agrícola (Romero, 2002; Morett, 2006). La reactivación del sector agrícola se impulsó mediante la modificación de la estructura de la tenencia de la tierra, creando un marco jurídico más favorable para atraer la inversión del sector privado nacional y extranjero, y así generar economías de escala en la agricultura (Ortega et al., 2010). En este contexto, uno de los sucesos de mayor relevancia en la agricultura mexicana fue la conversión de la agricultura tradicional a la agricultura comercial, proceso que se intensificó con el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN). Como resultado, se configuró un nuevo orden agrícola regional, donde los Estados pertenecientes a la franja norte se especializaron en las actividades agrícolas de exportación (Hernández-Moreno, 2008). Esto significó profundizar en la situación de marginación de los productores rurales y generando una polarización en la agricultura de norte a sur, e incrementando la concentración de los recursos productivos por parte de los grandes productores de la región norte (Lorenzana-Durán, 2019).

### **3. Impacto del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) en la agricultura mexicana**

El preámbulo de la liberación comercial de la agricultura mexicana había comenzado en la década de los ochenta con la Ley de Fomento Agropecuario de 2 de enero de 1981, que permitía a los ejidatarios alquilar su tierra a los inversores privados bajo el requisito de ser empleados como asalariados en sus propios terrenos (DOF, 1981). En 1986, como parte del proceso de globalización imperante a nivel mundial, México se incorporaría al Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio (GATT). En 1991 tiene lugar la modificación del Artículo 27 de la Constitución sobre las formas de propiedad de la tierra, poniendo fin a la expropiación de tierras a los latifundios, que había sido uno de los objetivos principales de la revolución mexicana (Rosas y Valtonen, 1994). Esto abre de nuevo una vía para la concentración de facto de grandes extensiones de tierra. Además, el decreto de la Ley

de Aguas Nacionales de 1992 otorga concesiones de derechos de agua a usuarios privados, permitiendo la concentración del uso de recursos hídricos para riego de esas grandes superficies agrícolas (DOF, 1992). Estos dos hechos son decisivos en la configuración actual de la agricultura mexicana.

A mediados de 1990, México acuerda establecer un tratado de libre comercio con los países de Canadá y Estados Unidos. En el ámbito agrícola, se firmaron dos acuerdos de forma separada, uno entre México y Estados Unidos, y el otro entre México y Canadá, debido a presiones de este último (SICE, 1992). Con la regulación de los intercambios comerciales derivados de la entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio de América del Norte, el 1 de enero de 1994, se define la estrategia de cambio en las reformas estructurales mexicanas, que tuvieron como objetivo poner fin a las políticas e instituciones del estado benefactor, para construir el modelo económico neoliberal imperante hasta nuestros días (Moreno-Vázquez, 2005). El objetivo principal del TLCAN fue la eliminación de las barreras arancelarias a la importación y exportación de bienes y servicios, estableciendo un acuerdo de amplio alcance donde, a partir de la integración económica entre los tres países, confluyeran el comercio y las inversiones, generando así, crecimiento económico en el bloque comercial (SICE, 1992).

En términos del sector agrícola, el TLCAN tuvo como objetivo generar un aumento en la superficie de cultivo con potencial de exportación, lo cual incrementaría el empleo en el sector agrícola y, a su vez, un aumento en el salario de los productores, lo que disminuiría la migración hacia Estados Unidos (Lechuga, 2014). Los resultados muestran que, aunque hubo un aumento en los flujos de inversión extranjera directa de Estados Unidos hacia México, esta se concentró en mayor proporción en el sector servicios. Sin embargo, el sector agrícola experimentó un incremento en la superficie cultivada y, por consiguiente, aumentó el volumen de las exportaciones de México a Estados Unidos (Lechuga-Jardínez et al., 2014). Además, se produjo un cambio significativo en términos de reconversión de la estructura productiva, pasando de cultivos tradicionales (maíz, trigo, frijol) a cultivos de exportación (frutas, hortalizas y la agricultura industrial) (Moreno-Vázquez, 2005). Pero este hecho no aumentó el empleo, el salario, ni los índices de crecimiento en los términos estimados inicialmente, debido al poco aprovechamiento de la inversión exterior directa en la

transferencia tecnológica y el impulso a la innovación, lo que evidenció las asimetrías entre los tres países (Cordera, 2015).

Por otro lado, la reconversión de la estructura productiva de la agricultura incrementó la superficie cosechada y la participación relativa por grupos de cultivos en el empleo directo nacional. Esto es consecuencia de la ampliación de cultivos como frutas, hortalizas, oleaginosas y las industriales, con mayor capacidad para ocupar mano de obra por unidad de superficie cultivada (Lechuga-Jardínez et al., 2014). Mientras que la producción de maíz en 1994 ocupaba el 61,2% de la superficie cosechada y empleaba al 37% de la población económicamente activa (PEA) ocupada en la agricultura; las hortalizas, con menos del 3% de la superficie cultivada, empleaba al 15,2% de la PEA agrícola en ese mismo año (Lechuga-Jardínez et al., 2014). El cambio de patrón en los cultivos, mitigaría la problemática del desempleo en los campos, debido a que los cultivos tradicionales emplean menos del 6% de los jornales generados, mientras que otros cultivos perennes representaron el 8,8%, las hortalizas el 13,7% y la vid llegaría a ocupar más del 70% del total de trabajadores de la región (Cordera, 2015).

La reconversión de cultivos modificó la estructura productiva, dando lugar al aumento de las importaciones de productos básicos (frijol, maíz, trigo y arroz) para atender la demanda nacional, derivando en un problema de abastecimiento alimentario (Borja-Bravo y García-Salazar, 2008). La desaparición de los subsidios otorgados al productor y las tiendas a través de los precios de garantías acentuó este problema; un caso en específico fue la desaparición de la Compañía Nacional de Subsistencias Populares (CONASUPO<sup>3</sup>) (Borja-Bravo y García-Salazar, 2008). La reconversión también dio lugar a la polarización de la actividad agraria en cuanto a la existencia de un reducido grupo de productores comerciales altamente competitivos y un enorme grupo de campesinos inmersos en la subsistencia (Macías-Macías, 2010). Esta concentración de la producción en los grandes productores se debe principalmente a que, al tratarse de cultivos que requieren grandes inversiones, generalmente solo recuperables mediante economías de escala, provoca que prácticamente solo los grandes

---

<sup>3</sup> CONASUPO: Compañía Nacional de Subsistencias Populares, fue una empresa paraestatal mexicana, que se encargaba de la regulación de los precios de la canasta básica y de los insumos particularmente del maíz (DOF, 1999).

productores que aglutinen extensas superficies sean los únicos capaces de sobrevivir en este entorno (Macías-Macías, 2010).

Los pequeños productores dedicados a la agricultura de subsistencia, principalmente los campesinos del sur del país especializados en la producción de grano, encontraron un freno a su capacidad de crecimiento (Quintero-Peralta, 2017), fueron desplazados del comercio internacional, agudizando su situación de precariedad. Estos productores tuvieron que buscar nuevas fórmulas para la comercialización de sus cosechas como la venta directa o el comercio justo, desde el momento en que el sector agrario dejó de ser prioritario en las políticas públicas estatales con la asunción por parte del Estado mexicano del modelo económico neoliberal (Quintero-Peralta, 2017).

Si bien el TLCAN tuvo un impacto positivo en cuanto a la evolución de las variables relacionadas con el comercio exterior (importaciones, exportaciones e inversión extranjera directa), también tuvo consecuencias nocivas. Por una parte, dio lugar a la concentración de la producción nacional en un grupo de cultivos orientados a la exportación (tomate, aguacate, chile verde, cebolla, espárrago, pepino, sandía, fresa, naranja, melón y papaya), desabasteciendo la demanda interna. Por otro lado, dio lugar a una polarización geográfica de la producción, principalmente en la frontera norte del país (Baja California, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas), configurando una nueva estructura en la agricultura mexicana dividiendo norte y sur.

#### **4. Agricultura de regadío y recursos hídricos**

Actualmente, la agricultura es uno de los sectores estratégicos de México debido a su importancia en cuanto a la provisión de alimentos, tanto a nivel nacional como para el mercado de exportación, siendo el sustento del 13% de la PEA y representando el 3,3% del PIB nacional mexicano (SAGARPA, 2016). México cuenta con una superficie de regadío que ocupa el sexto lugar a nivel mundial, con 7,3 millones de hectáreas bajo riego, que aportan el 51% de la producción agrícola nacional y el 70% de las exportaciones sectoriales (CONAGUA, 2019). Sin embargo, la agricultura es una actividad que guarda una estrecha relación con la disponibilidad de los recursos hídricos, existiendo una alta rivalidad por el uso del agua dulce entre distintos sectores productivos, el suministro urbano, y el desarrollo

de las actividades agrícolas (Velasco-Muñoz et al., 2019). En México, el 61% de los recursos hídricos se obtiene de fuentes superficiales (ríos, arroyos y lagos), y el 39% restante se extrae de las fuentes subterráneas. El sector agrícola consume el 76% del total del agua disponible, mientras que los usos urbanos suponen el 14%, los industriales el 5% y las termoeléctricas el otro 5% restante (SEMARNAT, 2018).

A partir de la Ley de Aguas Nacionales de 1992, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) estableció una nueva configuración para la estructura administrativa de la gestión de los recursos hídricos agrícolas, para garantizar el desarrollo de los cultivos (CONAGUA, 2019). Esta configuración incluye 13 organismos de cuenca y sus correspondientes regiones hidrológicas que, a su vez, están conformadas por 86 distritos de riego. Estos organismos son: I. Península de Baja California, II. Noroeste, III. Pacífico Norte, IV. Balsas, V. Pacífico Sur, VI. Río Bravo, VII. Cuencas Centrales del Norte, VIII. Lerma-Santiago-Pacífico, IX. Golfo Norte, X. Golfo Centro, XI. Frontera Sur, XII. Península de Yucatán y, XIII. Valle de México. La Tabla 1 recoge la superficie cosechada por organismos de cuenca. Se puede observar que el organismo III, de la Cuenca Pacífico Norte, concentra la mayor superficie cosechada con 912.566 ha, seguido del organismo VIII. Lerma-Santiago-Pacífico con 413.335 ha y, en tercer lugar, el organismo II. Noroeste con 411.090 ha.

**Tabla 1.** Distribución de la superficie y la producción agrícola por organismo de cuenca. Año agrícola 2017-2018

Número	Organismo de cuenca	Superficie sembrada (ha)	Superficie cosechada (ha)	Producción (Miles de T)	Valor de la producción (Millones de pesos)
I	Península de Baja California	199.677	199.633	3.968	15.195,11
II	Noroeste	411.090	411.090	4.810	31.873,62
III	Pacifico Norte	912.566	912.440	11.673	57.666,60
IV	Balsas	167.960	163.235	4.459	9.959,10
V	Pacifico Sur	37.346	37.346	615	1.915,99
VI	Río Bravo	397.848	396.097	5.925	15.869,17
VII	Cuenca Centrales del Norte	65.612	65.612	1.953	4.009,08
VIII	Lerma Santiago Pacifico	413.335	411.955	7.869	25.530,40
IX	Golfo Norte	211.745	207.580	6.075	8.592,99
X	Golfo Centro	31.853	31.853	2.337	2.043,40
XI	Frontera sur	42.126	42.119	1.727	3.855,79
XII	Península de Yucatán	14.424	14.424	777	902,52
XIII	Valle de México	103.319	103.319	5.267	5.087,26
<b>Total</b>		<b>3.008.902</b>	<b>2.996.723</b>	<b>57.466</b>	<b>181.500,73</b>

Fuente: elaboración propia a partir de CONAGUA (2019)

En la Tabla 2 se recoge el porcentaje de superficie cosechada y el valor de la producción de cada organismo con respecto al total nacional. El mayor porcentaje de superficie cosechada lo concentra el organismo III. Pacífico Norte con el 30,4% y el 31,8% del valor de la producción. Le sigue el organismo VIII. Lerma-Santiago-Pacífico con el 13,7% de superficie cosechada y el 13,5% del valor de la producción. En tercer lugar, el organismo II. Noroeste con el 13,7% de superficie, pero con 17,6% del valor de la producción. Se puede observar que a pesar de que ambos organismos (VIII y II) tienen una superficie similar, el valor de la producción del organismo Noroeste es mayor debido a la producción de cultivos más rentables.

**Tabla 2.** Distribución de la superficie y la producción agrícola por organismo de cuenca. Año agrícola 2017-2018. En porcentaje

Número	Organismo de cuenca	Superficie cosechada (%)	Valor de la producción (%)
I	Península de Baja California	6,7	8,4
II	Noroeste	13,7	17,6
III	Pacífico Norte	30,4	31,8
IV	Balsas	5,4	5,5
V	Pacífico Sur	1,2	1,1
VI	Río Bravo	13,2	8,7
VII	Cuenca Centrales del Norte	2,2	2,2
VIII	Lerma Santiago Pacífico	13,7	13,5
IX	Golfo Norte	6,9	4,7
X	Golfo Centro	1,1	1,1
XI	Frontera sur	1,4	2,1
XII	Península de Yucatán	0,5	0,5
XIII	Valle de México	3,4	2,8

Fuente: elaboración propia a partir de CONAGUA (2019)

En cuanto a los distritos de riego, 24 de ellos registran una superficie cosechada superior a 25.000 ha. Respecto a las entidades federativas, seis de ellas concentran el 73,5% de la superficie cosechada (Sinaloa, Sonora, Tamaulipas, Michoacán, Baja California y Guanajuato) (CONAGUA, 2019). Las tres entidades federativas con mayor superficie agrícola de regadío son Sinaloa con 856.229 mil hectáreas, Sonora con 407.480 mil hectáreas y Tamaulipas con 371.719 mil hectáreas.

En la Tabla 3, se puede observar lo mencionado anteriormente, así como también, la superficie cosechada, la producción en miles de toneladas y el valor de la producción del resto de las Entidades Federativas de México.

**Tabla 3.** Distribución de la superficie y la producción agrícola por entidad federativa. Año agrícola 2017-2018

Número	Entidad federativa	Superficie sembrada (ha)	Superficie cosechada (ha)	Producción (Miles de T)	Valor de la producción (Millones de pesos)
1	Aguascalientes	7.052	7.052	341.910	40.7487,27
2	Baja California	171.135	171.135	3.262.486	11.003.017,29
3	Baja California	28.542	2.498	705.940	4.191.994,96
4	Campeche				
5	Chiapas	42.126	42.119	1.726.731	3.855.790,56
6	Chihuahua	119.115	118.892	4.301.733	9.946.127,32
7	Coahuila	3.284	3.284	80.190	50.796,28
8	Colima				
9	Ciudad de México				
10	Durango	14.402	14.276	268.644	761.947,28
11	Guanajuato	168.440	168.440	1.737.071	7.825.456,38
12	Guerrero	26.414	26.414	430.771	898.925,11
13	Hidalgo	97.718	97.718	5.120.375	5.493.657,92
14	Jalisco	73.441	72.203	2.921.571	3.804.024,33
15	México	15.875	15.875	343.095	295.267,47
16	Michoacán	228.880	228.280	3.969.472	15.235.513,75
17	Morelos	23.737	19.032	1.251.490	1.714.572,98
18	Nayarit	41.935	41.935	768.267	2.685.559,00
19	Nuevo León	5.562	5.562	91.879	200.303,12
20	Oaxaca	24.591	24.591	424.857	1.557.299,19
21	Puebla	20.455	20.455	461.798	712.419,15
22	Querétaro	8.573	8.573	183.225	690.130,06
23	Quintana Roo	6.174	6.174	617.400	399.457,80
24	Región Lagunera	65.612	65.612	1.963.433	4.009.078,38
25	San Luis Potosi	73.030	70.597	940.672	1.646.919,62
26	Sinaloa	856.229	856.229	10.636.081	54.219.095,93
27	Sonora	407.480	407.480	4.750.685	31.657.634,38
28	Tabasco				
29	Tamaulipas	374.979	371.719	5.277.307	10.787.837,68
30	Tlaxcala	4.565	4.565	90.841	107.620,84

Número	Entidad federativa	Superficie sembrada (ha)	Superficie cosechada (ha)	Producción (Miles de T)	Valor de la producción (Millones de pesos)
31	Veracruz	54.788	54.788	3.372.133	2.772.173,92
32	Yucatán	8.250	8.250	159.580	502.861,38
33	Zacatecas	9.418	9.407	98.485	360.355,10
<b>Total</b>		<b>3.008.902</b>	<b>2.996.723</b>	<b>57.465.690</b>	<b>181.500.727,50</b>

Fuente: elaboración propia a partir de CONAGUA (2019)

En general, la mayor parte de la superficie agrícola mexicana se dedica al cultivo de temporal. El regadío supone el 30,39% de la superficie cosechada en la campaña 2017-2018, sin embargo, representa el 70,86% del valor de la producción agrícola de esa campaña. Por distritos de riego, los Estados más relevantes en esa campaña fueron Sinaloa, Tamaulipas y Sonora. Con respecto a la tenencia de la tierra, en el ciclo agrícola 2017-2018, la propiedad privada es mayoritaria con el 57,7% de la superficie total cosechada. En cuanto a los cultivos cosechados (Tablas 4-7), se pueden clasificar los cultivos en base a la superficie distinguiendo entre cultivos con más de 100.000 ha de superficie, entre 10.000 y 100.000 ha, entre 5.000 y 10.000 ha, y los de menos de 5.000 ha. De acuerdo a los datos obtenidos se puede decir que los granos (maíz, trigo y sorgo) son el principal tipo de cultivo sembrado a nivel nacional. Sin embargo, las hortalizas, frutales y nogal son los principales cultivos de exportación.

**Tabla 4.** Resumen nacional por cultivo. Año agrícola 2017-2018. Cultivos con más de 100.000 ha

Cultivo	Superficie cosechada (ha)	Producción (T)	Valor de la producción (pesos)
Maíz	972.893	9.994.948	39.465.712,94
Trigo	370.123	2.307.751	9.447.350,49
Sorgo	228.023	1.163.934	4.115.813,15
Alfalfa	158.566	11.603.530	9.113.132,44
Garbanzo	152.539	318.440	5.088.846,09
Frijol	115.916	233.445	3.564.285,55
Caña de Azúcar	107.603	9.979.010	8.543.748,33
<b>Total</b>	<b>2.105.663</b>	<b>35.601.057</b>	<b>79.338.888,99</b>

Fuente: elaboración propia a partir de CONAGUA (2019)



**Tabla 5.** Resumen nacional por cultivo. Año agrícola 2017-2018. Cultivos entre 100.000 y 10.000 ha

<b>Cultivo</b>	<b>Superficie cosechada (ha)</b>	<b>Producción (T)</b>	<b>Valor de la producción (pesos)</b>
Algodón	72.904	9.994.948	39.465.712,94
Estrella	68.352	2.307.751	9.447.350,49
Nogal	44.207	1.163.934	4.115.813,15
Soya	39.572	11.603.530	9.113.132,44
Zacate	39.839	701.261	921.925,70
Limón	38.595	737.943	3.037.719,09
Maíz forrajero	36.342	1.785.321	1.258.137,92
Cebada	34.379	798.843	917.618,11
Chile	30.194	1.382.551	10.131.158,42
Mango	28.739	509.971	1.939.282,92
Caña de azúcar	22.524	2.188.147	2.077.720,41
Sorgo Forrajero	26.748	1.097.490	755.319,10
Avena Forrajera	24.506	642.460	397.520,34
Esparrago	23.393	205.932	9.177.566,68
Papa	22.225	776.566	8.202.115,04
Plátano	18.187	1.057.399	4.157.733,08
Otros pastos	18.225	424.890	1.515.082,37
Arroz	17.652	144.821	630.356,24
Jitomate	15.224	1.005.103	5.546.496,71
Cártamo	14.803	33.711	238.715,13
Otros cultivos	13.856	335.167	1.709.458,39
Vid	13.737	197.750	5.575.625,96
Tomate de Cáscara	11.767	265.766	1.119.392,65
Naranja	11.313	223.974	763.389,62
Sandía	10.880	503.360	2.081.498,71
<b>Total</b>	<b>699.166</b>	<b>17.082.417</b>	<b>75.885.522,06</b>

Fuente: elaboración propia a partir de CONAGUA (2019)

**Tabla 6.** Resumen nacional por cultivo. Año agrícola 2017-2018. Cultivos entre 10.000 y 5.000 ha

<b>Cultivo</b>	<b>Superficie cosechada (ha)</b>	<b>Producción (T)</b>	<b>Valor de la producción (pesos)</b>
Maíz elotero	9.970	186.190	425.592,49
Pepino	8.925	387.488	1.913.500,53
Otras Hortalizas	8.725	267.799	1.971.311,63
Calabaza	7.952	163.475	1.192.504,53
Cebolla	7.761	316.623	1.079.118,58
Toronja	7.448	205.609	514.173,46
Buffel	7.174	200.093	347.561,42
Cebollín	6.920	103.476	1.690.092,31
Rye Grass	6.140	260.439	182.317,08
Melón	5.976	204.694	920.906,41
Coliflor	5.676	141.291	970.700,08
Calabacita	5.241	115.146	771.136,23
Brócoli	5.155	89.307	827.106,30
<b>Total</b>	<b>93.064</b>	<b>2.641.631</b>	<b>12.806.021,05</b>

Fuente: elaboración propia a partir de CONAGUA (2019)

**Tabla 7.** Resumen nacional por cultivo. Año agrícola 2017-2018. Cultivos de menos de 5.000 ha

<b>Cultivo</b>	<b>Superficie cosechada (ha)</b>	<b>Producción (T)</b>	<b>Valor de la producción (pesos)</b>
Cacahuete	4.836	14.322	213.590,99
Fresa	4.577	188.866	2.791.915,52
Tabaco	4.214	12.876	445.939,16
Zacate Verde	4.036	129.186	64.803,04
Okra	3.969	37.294	186.903,10
Papaya	3.827	222.058	1.176.634,14
Frutales asociados	3.623	107.122	495.648,47
Ejotes	3.364	42.566	339.304,83
Lechuga	3.025	65.138	370.690,40
Frijol asociado	3.022	7.536	53.396,48
Otros frutales	2.968	59.749	237.642,02
Cítricos	2.845	89.597	445.735,27
Cocotero asociado	2.519	32.840	112.656,04
Cebada forrajera	2.501	58.886	30.105,87
Copra	2.208	4.447	42.391,18
Guayabo	2.173	42.724	248.059,63

<b>Cultivo</b>	<b>Superficie cosechada (ha)</b>	<b>Producción (T)</b>	<b>Valor de la producción (pesos)</b>
olivo	1.837	14.884	185.862,79
Maíz asociado	1.822	15.322	63.806,51
Girasol	1.794	3.385	23.604,02
Ajonjolí	1.783	2.416	41.080,84
Dátil	1.782	14.957	939.493,24
Zanahoria	1.739	71.925	205.446,20
Otros forrajes	1.728	52.996	96.962,06
Mango asociado	1.719	34.355	97.205,70
Cilantro	1.704	29.413	362.696,35
Col	1.490	35.889	224.595,03
Higuerilla	1.400	3.080	17.420,48
Jicama	1.378	66.813	193.338,91
Avena	1.225	4.698	30.724,82
Cocotero	1.199	23.597	46.173,47
Manzano	965	11.334	129.692,59
Nabo	946	9.460	34.056,00
Piña	874	55.738	231.409,94
Haba	854	4.117	11.064,34
Bizantina	811	28.577	37.327,70
Sábila	804	31.516	25.314,71
<b>Total</b>	<b>98.831</b>	<b>2.140.584</b>	<b>13.470.295,41</b>

Fuente: elaboración propia a partir de CONAGUA (2019)

## **5. Nuevas disposiciones del Tratado de México, Estados Unidos y Canadá (T-MEC)**

En términos de política agrícola, México cuenta con programas económicos de apoyo que el Gobierno Federal dirige al sector privado y, en menor medida, a los pequeños productores. Estos programas se han implementado a lo largo de los diferentes períodos presidenciales a partir del TLCAN, destacando los siguientes: El Programa de Adquisición de Activos

Productivos<sup>4</sup>, PROCAMPO<sup>5</sup>, PIDEFIMER<sup>6</sup>, COUSSA<sup>7</sup>, SNIDRUSS<sup>8</sup>, PACC<sup>9</sup>, ORGANIZATE<sup>10</sup>, PADUA<sup>11</sup>, PRODDER<sup>12</sup>, FAPPA<sup>13</sup> y el Programa Especial de Energía para el Campo<sup>14</sup>.

La Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) dio a conocer el paquete de seis programas de apoyo para el campo 2021 (Fertilizantes para el Bienestar; Producción para el Bienestar; Precios de Garantía; Canasta Básica; Programa de Fomento a la Agricultura y Ganadería, Pesca y Acuicultura; y el Programa de Sanidad e Inocuidad Agroalimentaria), que tienen una orientación social y pretenden impulsar el territorio rural, los pequeños y medianos productores y fortalecer bienes públicos y comunitarios. Estos programas sustituyen ediciones anteriores como PROCAMPO por otros que atiendan la seguridad alimentaria y que asistan sin intermediarios a los beneficiarios (SADER, 2021).

Después de 26 años de la entrada en vigor del TLCAN se negoció un nuevo acuerdo, que entró en vigor el 1 de julio de 2020, el Tratado de México, Estados Unidos y Canadá (T-MEC). Este nuevo tratado sustituye al TLCAN, reavivando la esperanza mexicana en la cooperación con América del Norte. El tratado se compone de 34 capítulos, en los que se recogen cuestiones como las relaciones laborales, el medio ambiente, los biomedicamentos

---

4 El Programa de Adquisición de Activos Productivos es un programa inclinado al sector agrícola mexicano.

5 PROCAMPO es un programa de apoyos directos al campo, que atiende a complementar el ingreso económico de los productores del campo mexicano.

6 PIDEFIMER es un programa de inducción y desarrollo del financiamiento al medio rural.

7 COUSSA es un programa de uso sustentable de recursos naturales para la producción primaria: conservación y uso sustentable del suelo y agua.

8 SNIDRUSS es un programa de asistencia técnica y capacitación, e innovación y transferencia de tecnología.

9 PACC es un programa de atención a contingencias climatológicas.

10 ORGANIZATE es un programa de fortalecimiento a la organización rural.

11 PADUA es un programa de adecuación de derechos de uso de agua para promover la sustentabilidad de los distritos con problemas de agua, abatimiento de los mantos acuíferos y con intrusión salina (Olavarrieta-Carmona, 2010).

12 PRODDER es un programa de devolución de derechos, de la recaudación de ingresos de la CONAGUA provenientes por la explotación de uso a aprovechamiento de las aguas nacionales, esta devolución se destina mediante un “programa de acciones” a la realización de acciones de mejoramiento de eficiencia y de infraestructura de agua potable.

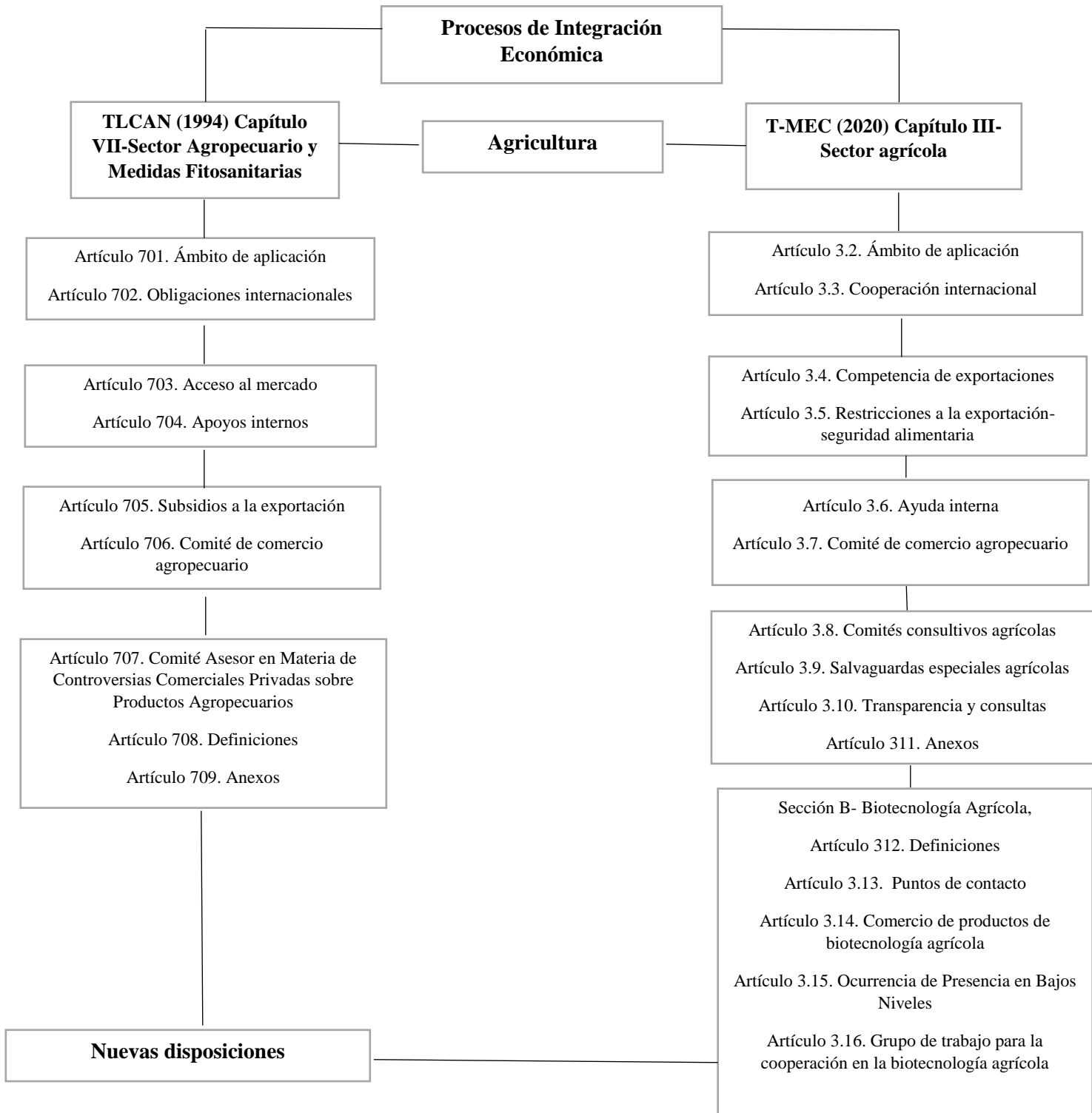
13 FAPPA es un programa fondo de apoyo para proyectos productivos en núcleos agrarios para la creación de agroempresas.

14 El Programa Especial de Energía para el Campo es programa de subsidios por parte de la CFE para el desarrollo de las actividades agrícolas (Olavarrieta-Carmona, 2010).

y el sector automotriz. En el capítulo 3 del T-MEC destinado al sector agrícola, podemos ver que se mantiene como primer objetivo el libre acceso de productos agrícolas y agroindustriales al mercado estadounidense y, bajo su ámbito de aplicación, siguen vigentes las obligaciones que establecen la eliminación de subsidios a la exportación para este tipo de bienes. En la Figura 1 se comparan las disposiciones en los capítulos referentes a la agricultura de los dos tratados, el TLCAN y el T-MEC.

A priori, el T-MEC es positivo en términos de inversión, pero se deberá vislumbrar más allá de los flujos y el aumento de las exportaciones, como sucedió con el TLCAN para el sector agrícola. Se sigue necesitando una política de innovación, ciencia y tecnología que fortalezca toda la cadena de valor (producción, comercialización, almacenaje, agroecología y condiciones laborales), y una política medioambiental que atienda los temas derivados de esta actividad sobre los ecosistemas en la región, principalmente en lo relativo al manejo sostenible de los recursos hídricos en la agricultura.

**Figura 1. TLCAN VS T-MEC sección agricultura**



Fuente: elaboración propia a partir de los tratados originales del TLCAN 1994 (DOF, 1993) y T-MEC 2020 (DOF, 2020)

## 6. Conclusiones

La agricultura mexicana se ha desarrollado mediante una estructura social, jurídica, política, y económica que iría sentando las bases para el surgimiento de una agricultura intensiva por regiones que opera actualmente en el noroeste de México. Las luchas sociales que derivaron en el levantamiento revolucionario de 1920 sentaron las bases de una estructura social más sólida, al expropiar las tierras de los latifundios para repartirlas a los pueblos. Este suceso generó la concesión de tierras en zonas no explotadas y la necesidad de infraestructura hidrológica, carreteras y apoyo técnico y económico para el desarrollo de las actividades agrícolas. Así, se iría gestando una estructura con un cuerpo jurídico con respecto a la tenencia de la tierra a la par de una serie de políticas de corte Keynesiano, con un “Estado Benefactor”. Este novedoso modelo atendería a las necesidades de los nuevos campesinos mediante estímulos fiscales, la creación de infraestructura y el surgimiento de los bancos para el otorgamiento de créditos mediante la integración de ejidos colectivos en el periodo cardenista. Este cambio dio como resultado que los ejidos concentraran el 50% de las tierras productivas y el otro 50% los particulares.

Sin embargo, con el Modelo de Sustitución de Importaciones y la llegada de la Revolución Verde se gestó otro modelo de desarrollo. Por una parte, se basó en la industrialización vía sustitución de importaciones por consumo nacional, además de destinar gran parte del presupuesto público hacia este sector. Por otro lado, estuvo orientado a los nuevos paquetes tecnológicos implementados en la agricultura a nivel mundial mediante el uso de fertilizantes, herbicidas y de maquinaria. Un rasgo específico de esta etapa, es que los latifundios pasaron a ser la pequeña propiedad privada y los estímulos fiscales pasaron a destinarse a ellos. La modernización que vivió el sector agrícola en esa etapa tuvo como resultado la creación de zonas de riego, por lo que disminuyeron su participación nacional las tierras de temporal y, en cambio, aumentaron las tierras de riego que, en términos económicos, incrementaron su participación hasta el 7,1% el PIB agrícola nacional. Pero, desde 1965 hasta 1980, el sector agrícola experimentó una pérdida paulatina de las exportaciones y el aumento gradual de las importaciones, debido a la merma en la autosuficiencia alimentaria, producto de la disminución de la superficie cosechada de las tierras de temporal que abastecían al mercado nacional con los cultivos tradicionales (maíz y trigo).

Esta situación se agravaría con la apertura comercial y la firma del TLCAN, al terminar de configurar la estructura del sector agrícola mexicano con la modificación del Artículo 27 constitucional, al poner fin al reparto de tierras y la existencia legal de los latifundios. Además, junto con el decreto de la Ley de Aguas Nacionales de 1992, serían el paraguas jurídico de una nueva agricultura por regiones (Sinaloa, Sonora, Chihuahua) con distritos de riego y con un patrón de cultivos de exportación que acrecentaría la superficie cosechada. Al mismo tiempo, se perjudica el interés de los pequeños productores dedicados a las tierras de temporal, derivando en un problema ambiental más profundo con la sobreexplotación de las aguas subterráneas para uso agrícola.

Todos estos sucesos son producto de la situación actual del campo mexicano, donde un grupo reducido de agricultores privados concentra la superficie cosechada y el agua disponible (superficial y subterránea), mediante concesiones otorgadas legalmente en zonas de riego dedicadas a los cultivos de exportación. La serie de programas destinados al campo no ha podido sacar de la marginación a los ejidos. Aún hace falta un nuevo modelo de gestión de los recursos hídricos subterráneos. Habrá que analizar en un futuro el impacto de los cambios introducidos en materia de desarrollo en el sector agrícola como consecuencia de la entrada en vigor del T-MEC.



## **Bibliografía**

- Borja-Bravo, M.; García-Salazar, J.A. Políticas para disminuir las importaciones de frijol en México; un análisis por tipo de variedad. *Agrociencia* 2008, 42(8), 949-958.
- Calva, J. Crisis agrícola y alimentaria en México 1982-1988. Distribuciones Fontamara, México, DF, 1988. ISBN: 978-968-476-065-3.
- Cárdenas, N. Agricultura comercial, industrial y estructura ocupacional en Sonora (1900-1960). *Región y Sociedad* 2008, 20(41), 175-196.  
[https://www.researchgate.net/publication/39374724\\_Agricultura\\_comercial\\_industria\\_y\\_estructura\\_ocupacional\\_en\\_Sonora\\_1900-1960](https://www.researchgate.net/publication/39374724_Agricultura_comercial_industria_y_estructura_ocupacional_en_Sonora_1900-1960)
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2019). Estadísticas agrícolas de los distritos de riego, año agrícola 2017-2018. CONAGUA 2019, México, DF.
- Cordera, R. La gran transformación del milagro mexicano. A 20 años del TLCAN: De la adopción a la adaptación. *Revista Problemas del Desarrollo* 2015, 46(180), 11-25.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301703615721176>
- Diario Oficial de la federación (DOF, 1917). Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. CPEUM 1917. México, DF.  
[https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/cpeum/CPEUM\\_orig\\_05feb1917\\_ima.pdf](https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/cpeum/CPEUM_orig_05feb1917_ima.pdf)
- Diario Oficial de la federación (DOF, 1981). Ley de Fomento Agropecuario. LFA 1981. México, DF.  
[http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4600276&fecha=02/01/1981](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4600276&fecha=02/01/1981)
- Diario Oficial de la federación (DOF, 1992). Ley de aguas Nacionales. LAN 1992. México, DF.  
[https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lan/LAN\\_orig\\_01dic92\\_ima.pdf](https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lan/LAN_orig_01dic92_ima.pdf)
- Diario Oficial de la federación (DOF, 1993). Decreto por el que se aprueban el Tratado de Libre Comercio de América del Norte y los Acuerdos de Cooperación en materias ambiental y laboral, suscritos por los gobiernos de México, Canadá y los Estados

Unidos de América. México, DF.  
[http://diariooficial.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4810691&fecha=08/12/1993](http://diariooficial.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4810691&fecha=08/12/1993)

Diario Oficial de la federación (DOF, 2020). Tratado entre los Estados Unidos Mexicanos, Los Estados Unidos de América y Canadá. T-MEC 2020. México, DF.  
[https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5595761&fecha=29/06/2020](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5595761&fecha=29/06/2020)

Gracia-Hernández, M. Importancia de Estados Unidos y Canadá en el comercio exterior de México a partir del TLCAN. *Norteamérica* 2010, 5, (1), 127-158.

Grijalva-Díaz, A.I. La restructuración de la banca y el crédito agrícola en Sonora después de la Revolución, 1918-1934. Universidad Autónoma de Sinaloa 2011, 1-18.  
[http://www.economia.unam.mx/cladhe/registro/ponencias/151\\_abstract.pdf](http://www.economia.unam.mx/cladhe/registro/ponencias/151_abstract.pdf)

Hernández-Moreno, M.C.; Soto-Soto, A.C.; Vázquez-Ruiz, M.A. Impacto Subregional del TLCAN: Sonora en el contexto de la frontera Norte. *Frontera Norte* 2008, 20, 105-134. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3130212>

Lechuga-Jardínez, Y.; García-Salazar, J.A.; Portillo-Vázquez, M.; García-Sánchez, R.C. Efecto del TLCAN sobre el empleo de mano de obra en el sector agrícola de México, 1994-2010. *Región y Sociedad* 2014, 60, 5-28.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10231796001>

Lorenzana-Durán, G. La Gran Hidráulica en los ríos Yaqui y mayo, Sonora, 1936-1957. *Anuario de Estudios Americanos* 2019, 76(2), 715-747.  
<http://estudiosamericanos.revistas.csic.es/index.php/estudiosamericanos/article/view/874>

Macías-Macías, A. Competitividad de México en el mercado de frutas y hortalizas de Estados Unidos de América, 1989-2009. *Agroalimentaria* 2010, 6, 31-48.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3632693>

Moncada, E.; Hernández-Suarez, C.; Rebeca de Diego-Correa, L.; Delgado-Ramos, G.; Moncada-Paredes, M.; D'Amico, P.; Carvajal-Martínez, F.; Sabogal-Aguilar, J.; Torroba, R.; Méndez-Polo, L.; Ponce-García, A.; Berardi, A.; Bucio-Feregrino, C.;

- Ángeles-Rojas, L. Ecología política del extractivismo en América Latina: Casos de resistencia y justicia socioambiental. Ed. CLACSO. Buenos Aires Argentina, 2013.
- Moreno-Vázquez, J.L. Por debajo del agua. Sobreexplotación y agotamiento del acuífero de la Costa de Hermosillo, 1945-2005. El Colegio de Sonora 2005.
- Morett, J. Reforma Agraria: del Latifundio al Neoliberalismo. Plaza y Valdez, México, DF, 2006. ISBN:970-722-180-1.
- Ortega, A.; León, M.; Ramírez, B. Agricultura y crisis en México: treinta años de políticas económicas neoliberales. *Ra Ximhai* 2010, 6(3), 323-337.
- Patiño, F. Ley agraria del 6 de enero de 1915: Semilla de propiedad social y la institucionalidad agraria en México. *Estudios agrarios* 2015, SEDATU, 17-39.
- Quintero-Peralta, M.A. Políticas públicas, soberanía alimentaria y estrategias campesinas en zonas rurales pobres de México. Universidad de Córdoba, UCOPress 2017, 1-324. <https://helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/14857>
- Romero, E. Un siglo de agricultura en México. Textos Breves de Economía. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Económicas, Miguel Ángel Porrúa, México, 2002. ISBN 970-701-291-9.
- Rosas, M.; C. Valtonen, P. El tratado de comercio de América del Norte: Desarrollo social y los dilemas de la agricultura mexicana. *Revista mexicana de ciencias políticas y sociales* 1994, 39(158), 23-41. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5114637>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Recursos Hidráulicos, Pesca y Acuicultura (SAGARHPA, 2016). Programa de mediano plazo agrícola 2016-2021. Hermosillo, Sonora, 2016.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER, 2020). El Cardenismo y su influencia en el modelo agropecuario del Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-cardenismo-y-su-influencia-en-el-modelo-agropecuario-del-gobierno-de->





# CAPÍTULO 2. SOSTENIBILIDAD DE LA AGRICULTURA EN MÉXICO

---

Artículo 1: Overview of Research on Sustainable Agriculture  
in Developing Countries. The Case of Mexico

Sustainability, 2021, 13(15), 8563

Factor de impacto 3.251 y cuartil Q2 en 2020 en Journal  
Citation Reports- Thomson Reuters



# SOSTENIBILIDAD DE LA AGRICULTURA EN MÉXICO

---

## 1. Introducción

El ser humano ha modificado el 75% de la superficie terrestre para satisfacer la demanda de alimentos, fibras y bioenergía (MEA, 2005; Ellis y Ramankutty, 2008; Ellis y Haff, 2009). En la actualidad, cerca de un tercio de la superficie terrestre se destina a la agricultura (FAOSTAT, 2010). La expansión e intensificación de la agricultura en las últimas décadas ha permitido aumentar la producción, reduciendo el número de personas desnutridas (Smith et al., 2010; Foley et al., 2011; Tilman et al., 2011; Alexandratos y Bruinsma, 2012). Por otro lado, la población humana está experimentando el mayor crecimiento de su historia y se espera que alcance un máximo de 9.700 millones de personas en 2050 (ONU, 2019). Además, las nuevas tendencias de consumo y la mayor disponibilidad de ingresos son factores que impulsan una mayor demanda (Springmann et al., 2018). En el peor de los casos, este crecimiento de la población requerirá un aumento de la producción de alimentos de hasta el 110% (Laurett et al., 2021). A su vez, este aumento de la producción requerirá una mayor expansión de la superficie cultivada o el desarrollo de nuevos sistemas de producción intensiva. Además, el cambio tecnológico es un factor que influye en el crecimiento de la producción, por lo que los cambios requeridos incluyen no sólo la intensificación sino la innovación sostenible (Springmann et al., 2018).

Sin embargo, el cumplimiento de estos objetivos puede tener fuertes impactos en el medio ambiente, que podrían ser irreversibles. La agricultura es el mayor consumidor de recursos hídricos del mundo (Forouzani y Karami, 2011; Fu et al., 2013), y utiliza entre el 60% y el 90% del agua total disponible, según el clima y el desarrollo económico de la región (Pedro-Monzonís et al., 2015; Adeyemi et al., 2017). Un aumento del riego para satisfacer la creciente demanda de alimentos podría afectar gravemente a la disponibilidad de agua para los ecosistemas naturales, e incluso para el abastecimiento humano (Cunningham et al., 2013; Mancosu et al., 2015). Por otro lado, debido a las prácticas de deforestación, la expansión agrícola es la segunda mayor amenaza del mundo para la conservación de la biodiversidad (Maxwell et al., 2016; Aznar-Sánchez et al., 2019a). En la actualidad, aproximadamente tres cuartas partes de los bosques del planeta se han perdido debido a las prácticas de expansión



agrícola (Kissinger et al., 2012). Además, la intensificación de la agricultura se está llevando a cabo mediante la aplicación de grandes cantidades de insumos, como fertilizantes o herbicidas, que tienen el potencial de afectar al medio ambiente y perjudicar la salud de la población local (Kirkhorn y Schenker, 2001; Tilman, 1999). Por otro lado, las consecuencias del cambio climático son uno de los principales factores a considerar en relación con la gestión agrícola. Estas consecuencias incluyen la alteración de los ciclos de precipitación, las sequías de larga duración y los desequilibrios en el suministro de agua; un clima extremo más frecuente y más intenso; y cambios en la humedad del suelo, los flujos de evapotranspiración y la escorrentía superficial (Pedro-Monzonís et al., 2015; Mancosu et al., 2015). Por último, el uso de prácticas agrícolas inadecuadas puede tener un impacto negativo en la erosión del suelo, contribuyendo a la expansión de la desertificación (Cunningham et al., 2013; Foucher et al., 2014). En este contexto, la aplicación de sistemas de gestión agrícola capaces de satisfacer las necesidades nutricionales de la población de forma sostenible se ha convertido en una prioridad urgente.

El término “sostenibilidad”, tal y como lo conocemos hoy, se forjó en el informe Brundtland de la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas en 1987, que definió el “desarrollo sostenible” como “un desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (Brundtland et al., 1987). Como concepto holístico, el desarrollo sostenible integra tres dimensiones, en referencia a los sistemas humano-naturales: social, medioambiental y económica (Meadowcroft, 2007). Para algunos autores, los términos “sostenibilidad” y “desarrollo sostenible” son intercambiables (Holden et al., 2014). Desde la aparición del término, se han sucedido otros hitos en la evolución de la sostenibilidad como paradigma: la Declaración de Río en 1992 (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 1992), el Protocolo de Kioto (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC, 2008), y los Objetivos de Desarrollo del Milenio de las Naciones Unidas (ONU, 2015), que proporcionaron directrices para mejorar los medios de vida y el medio ambiente a nivel mundial. En la actualidad, estamos inmersos en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas, en su Agenda 2030, el último gran hito para lograr un planeta sostenible.

Con respecto a la gestión de los sistemas agrícolas, la sostenibilidad se centra en la comprensión de la naturaleza esencial de las interacciones de los sistemas naturales-humanos-sociales, vista desde una amplia gama de campos de estudio académicos, para desarrollar una agricultura sostenible (Komiyama y Takeuchi, 2006; Yarime et al., 2010; Velasco-Muñoz et al., 2019a). De los 17 ODS, el desarrollo de la agricultura sostenible está incluido en la meta 2.4, enmarcada en el Objetivo 2 para la erradicación del hambre en el mundo. Esta meta pretende “garantizar la sostenibilidad de los sistemas de producción de alimentos y aplicar prácticas agrícolas resilientes que aumenten la productividad y la producción, contribuyan al mantenimiento de los ecosistemas, refuercen la resiliencia al cambio climático, a los fenómenos meteorológicos extremos, a las sequías, a las inundaciones y a otras catástrofes, y mejoren progresivamente la calidad de la tierra y del suelo” (ONU, 2020). En concreto, el indicador 2.4.1. se ha diseñado para medir el progreso hacia esta meta, como la proporción de la superficie agrícola en la que se practica una agricultura productiva y sostenible.

Desde las últimas décadas del siglo pasado, la sostenibilidad se definió como una característica para referirse a la capacidad de soportar el flujo de beneficios de los ecosistemas en una variedad de contextos (Becker, 1997). La agricultura sustenta una amplia gama de bienes y servicios, entre los que se incluyen bienes como los alimentos, la madera o la fibra, y servicios como la infiltración y el almacenamiento de aguas subterráneas, la conservación de hábitats para mantener la biodiversidad y el secuestro de carbono (MEA, 2005; Lahmar, 2010; Aznar-Sánchez et al., 2020). Por otra parte, las empresas agrícolas crean empleo, potencian el crecimiento económico y diversifican el sector de los servicios en las zonas industriales (Galdeano-Gómez et al., 2016; Du Pisani, 2006). Además, la agricultura es una actividad importante en las zonas rurales. En algunos casos, la agricultura es la única actividad y, por tanto, el motor de crecimiento de las economías de estas zonas (Dias et al., 2019; Velasco-Muñoz et al., 2019b).

México es una potencia agrícola en términos de superficie cultivada, producción y volumen de exportaciones y es uno de los principales proveedores de alimentos del mundo (Ochoa-Noriega et al., 2020). México cuenta con una superficie de 198 millones de hectáreas, de las cuales aproximadamente el 73% se destina a actividades agrícolas (FAO, 2019; SIAP, 2019).

De esta superficie, el 20,7% se dedica a la producción de cultivos, mientras que el 79,3% restante se destina a pastos. A pesar de su escasa participación en el Producto Nacional Bruto (PNB), de sólo el 4%, la agricultura es un componente esencial para el desarrollo del país por varias razones (OMC, 2019). La actividad agropecuaria i) es una herramienta útil para ayudar a garantizar la seguridad alimentaria, ii) es clave para fortalecer el desarrollo y el crecimiento de la producción, iii) contribuye a mejorar los niveles de vida, y iv) es un sector vital para las zonas rurales, donde vive la cuarta parte de la población del país, y representa el 50% de los ingresos de la población rural (Sosa-Baldivia y Ruíz-Ibarra, 2017; SIAP, 2019; Banco Mundial, 2021). En los últimos años, la participación de los productos agrícolas mexicanos en los mercados extranjeros ha aumentado, gracias a su calidad y diversidad y a las ventajas arancelarias derivadas del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN). Como resultado, ha desarrollado una fuerte especialización en la exportación de frutas y verduras, principalmente a Estados Unidos. La erradicación de la pobreza es otro argumento para reforzar la agricultura. Esto se debe principalmente a que se considera que alrededor del 20% de la población se encuentra en situación de pobreza alimentaria, y el 5% está catalogado como desnutrido (SIAP, 2019). Se estima que los niños de las zonas rurales tienen un 43,4% de retraso en el crecimiento, más del doble de la media nacional en México, con efectos negativos en el desarrollo motor y cognitivo; esto demuestra que la baja estatura no es una adaptación, sino una condición de vulnerabilidad que reduce el tamaño corporal y las capacidades de los sujetos que la presentan, ya que las funciones mentales (inteligencia, memoria y aprendizaje) afectan las capacidades de aprendizaje (Solovieva et al., 2006; Carrasco-Quintero et al., 2016).

Sin embargo, el desarrollo agrícola de México tiene ciertas limitaciones que ponen en riesgo la sostenibilidad del sector. En primer lugar, existen problemas de disponibilidad de agua para el riego en diferentes partes del país (Ochoa-Noriega et al., 2020). Por otro lado, los ecosistemas circundantes están siendo severamente degradados debido a la sobreexplotación de los recursos hídricos, particularmente en las cuencas hidrográficas y los acuíferos. De los 653 acuíferos existentes en México, un total de 105 están sobreexplotados, mientras que unas 69 de las 757 cuencas hidrográficas del país presentan un déficit de agua, ya que el caudal asignado es superior a la capacidad de recarga de los recursos hídricos renovables (Gómez-Merino y Hernández-Anguiano, 2013; Delgado-Carranza et al., 2017; SEMARNAT, 2019).

Además, el desarrollo desigual de las infraestructuras hídricas genera ineficiencias y desigualdades entre territorios (CONAGUA, 2018; SEMARNAT, 2019). Por lo tanto, en México es urgente desarrollar modelos de gestión en la agricultura que aseguren la estabilidad de un sector sensible para la economía, aumentando la producción de manera amigable con el medio ambiente y generando riqueza para la sociedad en su conjunto (Yarime et al., 2010; Velasco-Muñoz et al., 2019a; Arce-Romero et al., 2020).

Se ha publicado un número creciente de contribuciones que estudian la adopción de prácticas sostenibles en la agricultura mexicana. Sin embargo, hasta la fecha, ningún estudio ha analizado estas contribuciones de forma colectiva. El propósito de este capítulo, por tanto, es estudiar la evolución de la investigación sobre la sostenibilidad de la agricultura en México. Dada la naturaleza y los objetivos de este trabajo, se ha considerado que el análisis bibliométrico es la metodología más adecuada, por su capacidad de extraer información sintetizando datos de un gran número de fuentes bibliográficas (Durieux y Gevenois, 2010; Mongeon y Paul-Hus, 2016). Los resultados permitirán identificar los principales motores del conocimiento en estos campos y las líneas de investigación más significativas. Por último, dado que la extensa superficie de México cubre una gama diversa de zonas climáticas, los resultados del estudio sobre la agricultura mexicana podrían extrapolarse a otras regiones, incluyendo las zonas montañosas, las regiones con climas áridos o semiáridos o las de climas templados o tropicales (Govaerts et al., 2009; Riojas, 2011). A diferencia de los estudios anteriores, este trabajo es el primero que aplica el método bibliométrico para analizar las investigaciones sobre agricultura sostenible tomando a México como caso de estudio, ya que los trabajos anteriores se centran en diferentes aspectos específicos de la sostenibilidad agrícola y sus resultados representan principalmente a países desarrollados (Wezel y Soldat, 2009; Aznar-Sánchez et al., 2019a; El Chami et al., 2020; Rocchi et al., 2020), siendo esta su principal aportación.

## **2. Metodología**

Para cumplir el objetivo de este estudio, se utiliza un análisis bibliométrico de la literatura científica, basado principalmente en el enfoque tradicional del análisis de co-ocurrencia. Para evaluar la información relativa a los datos bibliométricos, se incluyen indicadores de

productividad, calidad y estructura (Durieux y Gevenois, 2010). En primer lugar, se identificaron los agentes más productivos (incluyendo autores, revistas, instituciones y países) en función de la cantidad de contribuciones y, en segundo lugar, se examinó el impacto de la investigación de estos autores. Este análisis se realizó de la misma manera para las revistas, las instituciones y los países. Esta información podría ser relevante para los investigadores a la hora de evaluar la pertinencia de los medios en los que publican sus resultados, los centros con los que colaborar o los países en los que investigar (Aznar-Sánchez et al., 2018,2019b). Por último, utilizamos técnicas de mapeo para analizar las tendencias de esta línea de investigación.

Se utilizó Scopus para recopilar los estudios que se iban a analizar. La razón principal para utilizar Scopus en lugar de Web of Sciences es que, según Mongeon y Paul-Hus (2016), el primero ofrece una cobertura más amplia de resúmenes y revistas. Por lo tanto, Scopus permite obtener una muestra más representativa de artículos del campo de estudio. Además, esta base de datos tiene una serie de ventajas sobre otros repositorios, como (i) es de fácil acceso, (ii) permite la visualización del análisis de los datos, y (iii) posibilita la descarga de datos en diferentes formatos para su posterior procesamiento mediante aplicaciones informáticas (Aznar-Sánchez et al., 2019c). Es muy habitual que los datos disponibles en las bases de datos estadísticas, o la valiosa literatura gris, se utilicen en estudios y se publiquen en forma de informes, artículos de conferencias y/o capítulos de libros. Por lo tanto, para evitar la duplicación de información, sólo se han incluido en la muestra artículos originales que, además, han sido sometidos a un proceso de revisión por pares, lo que demuestra la calidad de la información (Cossarini et al., 2014; Aznar-Sánchez et al., 2018).

Los parámetros de búsqueda se utilizaron en los motores de búsqueda a partir de las palabras clave, los títulos y los resúmenes. La intención de los autores al realizar este trabajo es centrarse en el ámbito de la sostenibilidad. Para ello, se han utilizado parámetros generales, que ya se emplean de forma similar en otros trabajos en los que sólo se utilizan términos derivados de la raíz *sustain\** (Velasco-Muñoz et al., 2018; Abad-Segura et al., 2021; Garrigós-Simón et al., 2021; Hernández-Díaz et al., 2021). Además, para incluir la perspectiva de la Agenda 2030, se han incluido términos extraídos de la definición de la meta de agricultura sostenible, contenida en el ODS 8. El periodo de estudio seleccionado ha sido

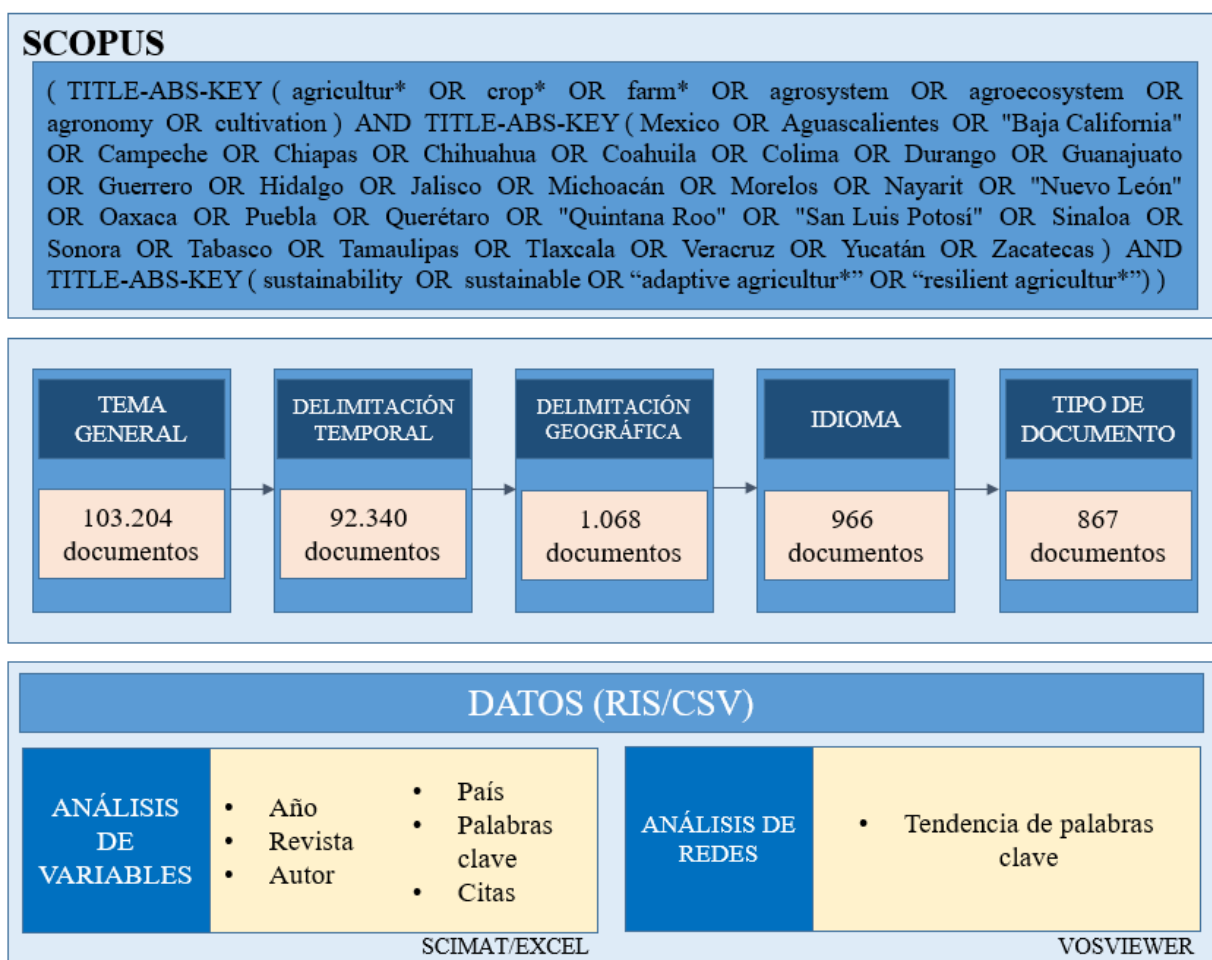
el comprendido entre 2000 y 2020, con el fin de evaluar la contribución realizada en este siglo hasta el momento, ya que el mayor desarrollo de este tema en este ámbito de estudio se ha producido en este periodo. Para comparar los períodos anuales completos, sólo se han incluido los documentos hasta 2020. Asimismo, para evitar duplicidades, la muestra sólo incluye artículos originales (Cogato et al., 2019; El Chami et al., 2020). La búsqueda se actualizó por última vez en febrero de 2021.

Para la selección de la muestra final de documentos se siguió un proceso secuencial, como se muestra en la Figura 1. De esta manera, para que un documento forme parte de la muestra a analizar, debe abordar un aspecto de la agricultura desde la perspectiva de la sustentabilidad y estar relacionado con el área geográfica de México (como parte del área de estudio de un análisis empírico o como área de referencia de un estudio de desarrollo de teoría). En resumen, los criterios de selección de la muestra introducidos son los siguientes (i) tema de estudio (agricultura sostenible), (ii) periodo de tiempo (de 2000 a 2020), (iii) ubicación geográfica (país de México como caso de estudio), (iv) idioma (inglés y español como idioma dominante en el ámbito de estudio, no encontrando sesgo entre ellos) y (v) tipo de documento (sólo artículos originales). La muestra de trabajos que finalmente se analizará en este estudio consta de 867 artículos. Paralelamente, también se realizó una búsqueda de artículos relacionados con la agricultura en México con las mismas restricciones para analizar la importancia relativa de la sostenibilidad en relación con el tema general (ver Figura 2). Hay que recordar que este estudio está condicionado por el proceso de selección de la muestra y que otros parámetros de búsqueda o bases de datos, u otra actualización posterior de la búsqueda, podrían generar resultados diferentes. La literatura sobre el tema es cada vez más específica y comienza a considerar otros posibles aspectos, que pueden o no mencionar la raíz “sostenible”, como la agricultura climáticamente inteligente, la resiliencia, la agroecología, los agroecosistemas o muchas de las palabras clave que se muestran en la Figura 3.

El número de artículos, el nombre de las revistas y el año en que se publicaron, los autores e instituciones y países de afiliación, el área temática en que Scopus clasifica los documentos y las palabras clave fueron las variables analizadas. La primera tarea fue descargar la información en los formatos adecuados. A continuación, se eliminaron las duplicidades que

podieran dar lugar a errores en el recuento de los datos. A continuación, se organizó la información filtrada en diferentes tablas y figuras y se analizaron los datos. Las diferentes herramientas utilizadas fueron Excel y SciMAT. Para crear los mapas de redes se seleccionó VOSviewer, ampliamente utilizado en este tipo de estudios (Ngwenya y Boshoff, 2020). Por último, para extraer las principales tendencias de la investigación, se realizó un análisis de palabras clave (Kumar et al., 2020).

**Figura 1.** Resumen de la metodología



### **3. Resultados y discusión**

#### *3.1. Investigación sobre la agricultura sostenible en México*

En la Tabla 1 se presentan los datos de las variables generales relativas a la investigación sobre Agricultura Sostenible en México (ASM) durante el periodo 2000-2020. El número de documentos publicados durante todo el periodo sobre este tema ascendió a 867, mientras que en el caso de la investigación sobre la Agricultura en México (AM), fueron 10.338. Esto indica que la investigación sobre sostenibilidad representó el 8,4% del total de la investigación sobre la agricultura mexicana. Hemos buscado esta información para otros países con el fin de comparar esta proporción. Hemos comprobado que este porcentaje es inferior a países como China (11,6%), España (10,4%) o Australia (9,7%); similar a otros, como el Reino Unido (8,6%); y superior a otros, como Estados Unidos (6,8%). El número de trabajos sobre ASM aumentó de 12 en 2000 a 109 en 2020.

La tasa de variación anual de la cantidad de documentos sobre investigación en AM y ASM se muestra en la figura 2. La variación media anual de los documentos de ASM fue del 11,7%, mientras que la de AM fue del 8,4%. Como podemos ver en la figura, la investigación sobre AM tuvo un mayor crecimiento en casi todo el periodo analizado hasta el año 2010, cuando la tendencia se invirtió. Esto nos lleva a afirmar que, en los últimos años, la investigación sobre ASM ha ido aumentando su protagonismo dentro de la investigación sobre AM.

En los 867 artículos analizados participaron un total de 3167 autores. A lo largo de los años, esta variable ha mostrado una tendencia de crecimiento continuo. La cantidad de autores ha pasado de 33 en 2000 a 540 en 2020. La cantidad media de investigadores por documento ha crecido de 2,7 a 5,1. Por tanto, el crecimiento medio anual de los autores ha sido del 15,1%. Del total de 3167 autores, el 88,3% sólo participó en uno de los artículos de la muestra analizada, mientras que menos del 1% participó en cinco o más artículos. Estos datos muestran que existe una elevada concentración de la investigación sobre la ASM en un grupo reducido de investigadores, que constituyen los principales impulsores de este tema de investigación.

En el año 2000, no se publicaron dos trabajos en la misma revista. Sin embargo, en 2020, los 109 trabajos sobre ASM se publicaron en un total de 71 revistas. El volumen medio de



documentos por revista se ha mantenido constante durante todo el periodo. En total, los 867 documentos sobre ASM se publicaron en 432 revistas diferentes. El crecimiento medio del número de revistas fue del 9,3% anual. De la muestra total de revistas, el 70,4% ha publicado un solo artículo sobre ASM, mientras que el 9,1% ha publicado cinco o más. De nuevo, podemos confirmar que la publicación de los artículos se concentró en un pequeño grupo de revistas.

Un total de 71 países participaron en la elaboración de los estudios. Estos países son México y 70 países colaboradores en la investigación sobre ASM. El número de estos países ha pasado de cuatro en el año 2000 a 35 en 2020. En concreto, el crecimiento medio del número de países que participan en la investigación sobre ASM ha sido del 11,5% anual.

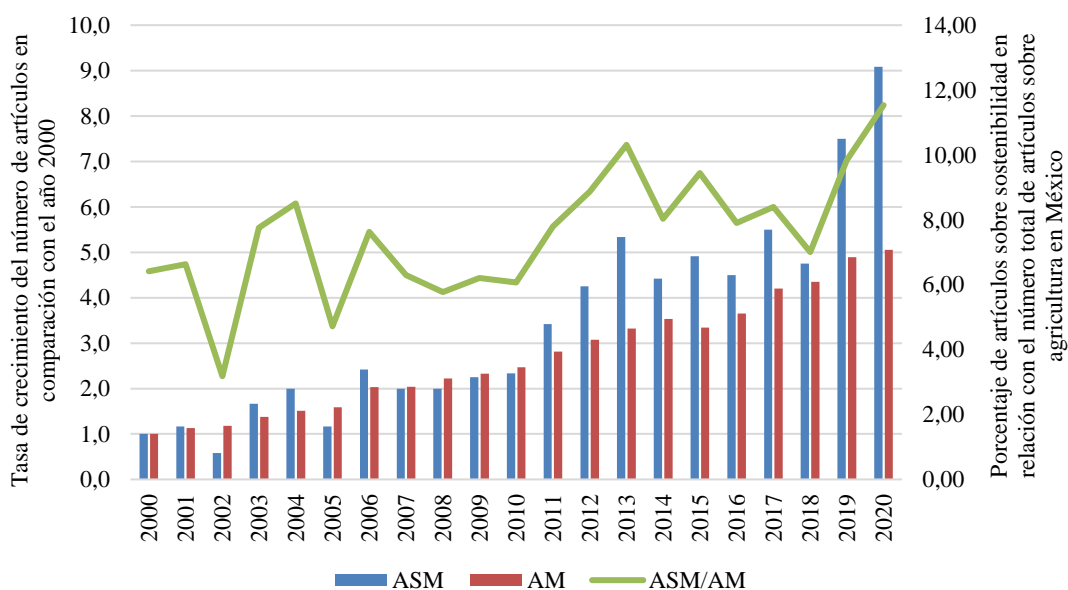
Los estudios sobre ASM en su conjunto obtuvieron un total de 12.787 citas entre 2000 y 2020. Las investigaciones sobre AM en su conjunto acumularon un total de 166.356 citas. Por lo tanto, la investigación sobre ASM representa el 7,7% del total de citas de la investigación sobre la agricultura mexicana. Esto se debe al desarrollo más tardío de la investigación sobre ASM con respecto a la AM. La cantidad de citas ha pasado de una en el año 2000 a 2504 en el 2020, lo que representa un incremento anual promedio de 47.9%. La media de citas conseguidas por artículo ha pasado de 0,1 en 2000 a 17,6 en 2020. En el caso de la investigación sobre AM, la media de citas por documento es de 16,1. Estos datos muestran que la investigación sobre ASM ha ido creciendo en importancia dentro de la investigación sobre AM en los últimos años, no sólo en cuanto al número de trabajos, sino también en cuanto a su protagonismo medido a través del cifrado de citas.

**Tabla 1.** Variables generales de la investigación de la Agricultura Sostenible en México (ASM)

Año	D	AU	J	C	TC	TC/CD
2000	12	33	12	4	1	0,1
2001	14	50	13	4	8	0,3
2002	7	17	7	3	16	0,8
2003	20	100	19	16	39	1,2
2004	24	67	20	11	78	1,8
2005	14	45	14	8	120	2,9
2006	29	81	26	12	125	3,2
2007	24	91	23	12	208	4,1
2008	24	80	24	8	308	5,4
2009	27	116	26	16	391	6,6
2010	28	113	28	10	445	7,8
2011	41	147	33	12	536	8,6
2012	51	201	43	24	706	9,5
2013	64	202	48	17	852	10,1
2014	53	224	47	19	1011	11,2
2015	59	214	49	13	1168	12,2
2016	54	289	44	26	1309	13,4
2017	66	279	57	19	1584	14,6
2018	57	363	45	20	1829	16,1
2019	90	421	70	22	2053	16,9
2020	109	540	71	35	2504	17,6

D: cantidad anual de documentos; AU: cantidad anual de autores; J: cantidad anual de revistas; C: cantidad anual de países; TC: cantidad anual de citas en documentos acumulados; TC/CD: citación anual por documentos acumulados

**Figura 2.** Evolución de la investigación sobre la Agricultura Sostenible en México (ASM) y la Agricultura en México (AM)



### 3.2. Área temática

La Tabla 2 muestra los datos de la clasificación en categorías temáticas establecidas por Scopus. Es importante destacar que un mismo documento puede ser clasificado simultáneamente en varias categorías. Tanto en los documentos de ASM como en los de AM, la categoría más popular es la de Ciencias Agrícolas y Biológicas, con cerca del 54% del total en ambos casos. En estas dos líneas de investigación, los dos siguientes temas destacados son las Ciencias Ambientales y las Ciencias Sociales. Atendiendo a los distintos campos incluidos dentro del concepto de sostenibilidad (medioambiental, económico y social), podemos observar ciertas diferencias notables. Si hablamos de la investigación en ASM, se observan valores más altos en las categorías de Medio Ambiente, Social y Económico, lo que demuestra la mayor importancia de estas áreas en esta línea de investigación. En concreto, la categoría de Ciencias Ambientales representa el 49,3% de los trabajos de ASM, mientras que sólo supone el 32,6% en los trabajos de AM. Del mismo modo, la categoría de Ciencias Sociales acumula el 25,5% en la línea ASM, mientras que sólo supone el 17,3% en la investigación AM. Los aspectos económicos (Economía, Econometría y Finanzas y Empresa, Gestión y Contabilidad) representan el 4,7% y el 3,5%, respectivamente, en el caso de ASM, y sólo el 3,4% y el 1,7% en el caso de la investigación sobre AM. Estos datos ponen de manifiesto dos realidades. Por un lado, como era de esperar, la investigación sobre ASM presta mayor atención a los diferentes aspectos relacionados con el ámbito medioambiental, social y económico, mientras que la investigación sobre AM se centra en diferentes aspectos técnicos y biológicos. Por otro lado, también revelan que en la investigación sobre la sostenibilidad siguen predominando los temas centrados en las cuestiones medioambientales y que aún quedan por desarrollar los temas relacionados con los aspectos sociales y económicos. Por lo tanto, es necesario ampliar la investigación desde estas perspectivas y realizar estudios holísticos que consideren las tres dimensiones de la sostenibilidad.

**Tabla 2.** Cantidad de documentos publicados por categoría temática

<b>Agricultura sostenible en México (ASM)</b>	<b>Tota</b>	<b>%</b>	<b>Agricultura en México (AM)</b>	<b>Tota</b>	<b>%</b>
<i>Agricultural and Biological Sciences</i>	468	54,	<i>Agricultural and Biological Sciences</i>	5613	54,
<i>Environmental Science</i>	427	49,	<i>Environmental Science</i>	3374	32,
<i>Social Sciences</i>	221	25,	<i>Social Sciences</i>	1786	17,
<i>Energy</i>	91	10,	<i>Biochemistry, Genetics and Molecular Biology</i>	1099	10,
<i>Earth and Planetary Sciences</i>	75	8,7	<i>Earth and Planetary Sciences</i>	1018	9,8
<i>Biochemistry, Genetics and Molecular Biology</i>	59	6,8	<i>Medicine</i>	778	7,5
<i>Economics, Econometrics and Finance</i>	41	4,7	<i>Arts and Humanities</i>	566	5,5
<i>Engineering</i>	37	4,3	<i>Veterinary</i>	448	4,3
<i>Business, Management and Accounting</i>	30	3,5	<i>Immunology and Microbiology</i>	430	4,2
<i>Medicine</i>	29	3,3	<i>Engineering</i>	360	3,5
			...		
			<i>Economics, Econometrics and Finance</i>	348	3,4
			<i>Business, Management and Accounting</i>	176	1,7

### 3.3. Revistas

La tabla 3 incluye datos sobre las revistas más prolíficas en ASM durante el periodo 2000-2020, en relación con los documentos que forman parte de la muestra analizada. La publicación en estas revistas es mucho más amplia y abarca una gran variedad de temas. Sin embargo, en este apartado queremos centrarnos en la relevancia de las publicaciones en ASM para estas revistas, medida por los diferentes indicadores que se muestran en la tabla. Este grupo está compuesto por revistas mexicanas y europeas, pero no destaca ninguna de Estados Unidos. Son muy diversas en cuanto al campo de especialización y al nivel de relevancia medido a través del impacto del Scimago Journal Rank (SJR 2020). Además, se observan grandes diferencias en cuanto a su incorporación a esta línea de publicación y a la fecha de publicación del último artículo sobre ASM. En conjunto, este conjunto de revistas ha aportado 177 artículos a la muestra, lo que supone un 20,4% del total de documentos publicados. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, con 39 artículos, es la revista que más ha contribuido a la publicación de ASM. Esta revista tiene un índice H de 4 (esto se refiere a los documentos incluidos en la muestra de ASM, y no al número total de documentos publicados por la revista), una cantidad total de 50 citas y una media de 1,3 citas por artículo. Además, tiene un factor SJR de 0.249 y comenzó a publicar en este campo en la última

década, con su primer artículo sobre ASM en 2011. A este le sigue el de Sostenibilidad con 29 artículos. Esta revista tiene un índice H de 5, un total de 82 citas y 2,8 citas por artículo, y su factor SJR es de 0.612. Esta revista fue una de las que llegó tarde a este campo, con su primer artículo publicado en 2015. Actualmente sigue publicando sobre el tema. Por su parte, *Wit Transactions on Ecology and the Environment* ocupa el tercer lugar con 18 documentos. Esta revista británica presenta un índice H de 2, un total de 12 citas, una media de 0,7 citas por documento y un factor SJR de 0.180. Con sólo 12 documentos sobre ASM, *Soil and Tillage Research* tiene el índice H más destacado con un valor de 12. Además, tiene el mayor número de citas totales y la mayor cantidad media de citas por documento, con 874 y 72,8 respectivamente. Además, *Soil and Tillage Research* es la revista más veterana en este campo, ya que publicó su primera contribución sobre ASM en el año 2000. Por el contrario, la revista que más recientemente ha comenzado a publicar en este campo es *Terra Latinoamericana*, publicando su primer artículo sobre este tema en 2016. Esta revista ha publicado un total de 10 documentos. Fue indexada en el SJR por primera vez en 2020. Tiene un índice H de 3, una cantidad total de 16 citas y un número promedio de 1,6 citas por artículo. Por último, la revista con mayor factor SJR es *Journal of Cleaner Production*, que ha publicado un total de nueve artículos sobre ASM.

**Tabla 3.** Principales variables de las revistas más relevantes en relación con los documentos analizados en la muestra sobre la investigación de ASM

Revista	D	SJR	Índice H	C	TC	TC/D	1st	Last
<i>Tropical and Subtropical Agroecosystems</i>	39	0.249 (Q3)	4	México	50	1,3	201	2020
<i>Sustainability</i>	29	0.612 (Q1)	5	Suiza	82	2,8	201	2020
<i>Wit Transactions on Ecology and the Environment</i>	18	0.180 (Q3)	2	Reino Unido	12	0,7	200	2019
<i>Forest Ecology and Management</i>	13	1.288 (Q1)	11	Holanda	551	42,4	200	2018
<i>Soil and Tillage Research</i>	12	1.708 (Q1)	12	Holanda	874	72,8	200	2016
<i>Investigaciones Geograficas</i>	10	0.290 (Q3)	3	España	22	2,2	200	2020
<i>Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine</i>	10	0.741 (Q1)	8	Reino Unido	156	15,6	201	2019
<i>Terra Latinoamericana</i>	10	0.150 (Q4)	3	México	16	1,6	201	2020
<i>Acta Horticulturae</i>	9	0.181 (Q4)	3	Bélgica	33	3,7	200	2017
<i>Environment, Development and Sustainability</i>	9	0.597 (Q2)	5	Holanda	196	21,8	200	2020
<i>Journal of Cleaner Production</i>	9	1.937 (Q1)	6	Holanda	125	13,9	201	2020
<i>Tecnología y Ciencias del Agua</i>	9	0.188 (Q4)	3	México	16	1,8	201	2017

D: cantidad anual de documentos; SJR: Scimago Journal Ranking 2020; Índice H: sólo se refería a los documentos de muestra; C: país; TC: cantidad anual de citas en documentos acumulados; TC/D: total de citas por documento; 1st D: primer documento por revista; Last D: último documento

### 3.4. Colaboración internacional

La Tabla 4 incluye información sobre las redes de colaboración que México ha establecido en la investigación en ASM y AM. El porcentaje medio de proyectos desarrollados mediante colaboración internacional es más importante en la investigación ASM que en la AM, con un 41,4% y un 34,3%, respectivamente. Sin embargo, la cantidad total de colaboradores internacionales es significativamente mayor en la investigación AM (103) que en la ASM (70). Dado que la investigación sobre sostenibilidad requiere un enfoque multidisciplinar, este campo de estudio también se considera más colaborativo. Sin embargo, los datos presentados aquí se explican por el estado incipiente de esta línea de investigación y el desigual número de publicaciones respecto a la línea general de investigación. En cuanto a los colaboradores más relevantes en cada una de las líneas de investigación, se pueden encontrar muchas similitudes. Sin embargo, en cuanto a la investigación en AM, encontramos a Australia y Brasil en el grupo de colaboradores principales, mientras que Bélgica y Arabia Saudí son más importantes en el caso de ASM. De acuerdo con el número de citas, los trabajos desarrollados a través de la colaboración internacional acumulan una cantidad mayor en ambas líneas de estudio, en promedio, que los documentos sin esta dimensión internacional. El número medio de citas por documento elaborado en colaboración es mayor en el caso de la investigación sobre ASM que en el de los documentos sobre AM (25,9 y 20,3, respectivamente).

**Tabla 4.** Principales variables relacionadas con la investigación mexicana sobre ASM y AM

Ámbito	IC (%)	NC	Principales colaboradores	TC/D	
				IC	NIC
ASM	41,4	70	USA, España, Alemania, Holanda, Reino Unido	25,9	6,6
AM	34,3	103	USA, España, Reino Unido, Canadá, Francia	20,3	8,1

IC: colaboraciones internacionales; NC: colaboradores internacionales; TC/D: total de citas por documento; NIC: no hay colaboraciones internacionales

### 3.5. Instituciones

La Tabla 5 ofrece información sobre las instituciones que más han contribuido a la investigación sobre ASM durante el periodo 2000-2020. Cabe señalar que todas estas instituciones pueden tener un historial de publicaciones mucho más largo. Sin embargo,

como se ha explicado anteriormente, en este trabajo nos centramos en la investigación realizada en el presente siglo. Por ejemplo, se pueden encontrar algunas publicaciones de 1997 de El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR, San Cristóbal de las Casas, México). Todas ellas son instituciones de nacionalidad mexicana. Con 86 contribuciones, la Universidad Nacional Autónoma de México ocupa el primer puesto de la tabla. Esta institución tiene el mayor índice H, que es de 19. Además, cuenta con un total de 1321 citas, y una media de 15,4 citas por documento. La institución que ocupa la segunda posición, con más contribuciones, es el Instituto Politécnico Nacional, con 38 documentos. Este centro ha conseguido un total de 261 citas, una media de 6,9 citas por documento y un índice H de 10. El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, con una cifra final de 35 documentos, es la afiliación que ocupa el tercer lugar de la tabla. Esta institución tiene un total de 571 citas, una media de 16,3 citas por documento y un índice H de 12. El Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo es la institución que ha obtenido el mayor reconocimiento a su investigación, utilizando la acumulación de citas como indicador, ya que ha logrado un total de 2020 citas y una media de 59,4 citas por documento. Esta institución, que ocupa la cuarta posición en cuanto a la cantidad de documentos, con 34, tiene el mayor índice H. Cabe señalar que este centro es una institución internacional que forma parte del Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (CGIAR). Sin embargo, dado que tiene su sede en Texcoco, y que aparece en Scopus como un centro afiliado a México para todos los efectos, se ha considerado oportuno mantenerlo como tal.

En referencia a la colaboración internacional, el porcentaje medio de documentos sobre ASM desarrollados por este grupo de afiliaciones es del 42,6%. En la tabla se observa que en todos los casos se obtiene una media de citas más alta en los proyectos realizados en colaboración, excepto en el caso del Instituto Politécnico Superior. Los que están por encima de la media son el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo con un 73,5% de sus publicaciones realizadas en colaboración, seguido del Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR, San Cristóbal de las Casas, México) con un 63,6%, y la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo con un 58,3%. Cabe destacar que las tres instituciones con mayor promedio de citas por documento coinciden con las que tienen mayor diferencia en las citas obtenidas en los trabajos desarrollados mediante colaboración internacional. El Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, en promedio, obtiene 61.5 citas más en los

estudios realizados en colaboración, y es la institución con mayor promedio de citas por documento en la tabla. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR, San Cristóbal de las Casas, México) es la segunda institución en relación a la cantidad promedio de citas por documento y, en promedio, obtiene 31,7 citas más en sus estudios en colaboración. El Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad es la tercera institución en cuanto a citas por artículo. En este caso, obtiene 59,9 citas más en los estudios realizados en colaboración. Por lo tanto, podemos concluir que el establecimiento de relaciones de colaboración de calidad influye positivamente en el número de citas alcanzadas por los estudios publicados. Sin embargo, la cantidad de estudios realizados mediante colaboración no está directamente relacionada con el número de citas obtenidas.

**Tabla 5.** Principales variables de las instituciones más destacadas en la investigación de la ASM

Institución	D	TC	TC/D	Índice H	IC (%)	TC/D	
						IC	NIC
Universidad Nacional Autónoma de México	86	1321	15,4	19	36,1	24,0	10,5
Instituto Politécnico Nacional	38	261	6,9	10	29,0	6,2	7,1
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias	35	571	16,3	12	42,9	29,1	6,7
Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo	34	2020	59,4	18	73,5	75,7	14,2
El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR, San Cristóbal de las Casas)	33	867	26,3	16	63,6	37,8	6,1
El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR, Tapachula)	31	500	16,1	11	41,9	31,3	5,2
Colegio de Postgraduados	30	338	11,3	7	30,0	29,8	3,3
Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad	28	575	20,5	15	10,7	74,0	14,1
Universidad Autónoma del Estado de México	25	191	7,6	8	40,0	9,4	6,5
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	24	210	8,8	10	58,3	13,6	1,9

D: cantidad anual de documentos; TC: cantidad anual de citas en documentos acumulados; TC/D: total de citas por documento; IC: colaboraciones internacionales; NIC: no hay colaboraciones internacionales

### 3.6. Autores

La tabla 6 incluye los autores más destacados en la investigación sobre ASM teniendo en cuenta la cantidad de contribuciones. En general, los investigadores de este grupo proceden de ocho instituciones mexicanas y tres internacionales, dos de ellas de Estados Unidos y una de Bélgica. Seis de las ocho instituciones mexicanas están también en la lista de instituciones más prolíficas. La razón que explica la aparición de nuevas instituciones en este apartado es el establecimiento de redes de colaboración entre los autores, lo que ayuda a posicionar a



algunos de ellos en puestos destacados. El autor más prolífico es Bram Govaerts, del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, con 18 trabajos. Este autor tiene la mayor cantidad de citas, con un total de 1.350, el mayor índice H con una cifra de 14, y una media de 75,1 citas por documento. Govaerts comparte autoría con otros autores destacados de la misma institución, como Kenneth D. Sayre y Nele Verhulst, que ocupan la cuarta y décima posición, con 13 y 7 artículos, respectivamente. Otros autores destacados en la tabla que comparten autoría son Luc Dendooven, del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, que comparte la décima posición, y Jozef A. Deckers, de la Universidad Católica de Lovaina, que ocupa la sexta. En segundo lugar, en cuanto al número de contribuciones, se encuentra Alejandro Casas, del Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, con un total de 17. Este autor es el que más tiempo lleva en el campo, publicando su primer artículo sobre ASM en 2001. Este autor tiene un total de 257 citas, una media de 15,1 citas por documento y un índice H de 9. En este campo temático, colabora principalmente con Ana I. Moreno-Calles de la Universidad Nacional Autónoma de México, con quien ha coescrito siete estudios, que también la sitúan en la tabla. José María Ponce-Ortega es el autor que ocupa el tercer lugar en relación al número de trabajos, con 16. Este investigador de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo ha conseguido 179 citas, una media de 11,2 citas por documento y un índice H de 9. Entre los que colaboran con este autor se encuentran Mahmoud M. El-Halwagi, de la Texas A&M University, y Fabricio Nápoles-Rivera, también de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Comparte nueve y siete artículos, respectivamente, con estos autores, que también se sitúan entre los más prolíficos en este campo.

**Tabla 6.** Principales variables de los autores más destacados en la investigación de la ASM

Autor	D	TC	TC/D	Índice H	C	Institución	1st D	Last D
Govaerts, B.	18	1350	75,1	14	México	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo	2005	2020
Casas, A.	17	257	15,1	9	México	Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad	2001	2020
Ponce-Ortega, J.M.	16	179	11,2	9	México	Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	2012	2020
Sayre, K.D.	13	1270	97,7	12	México	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo	2005	2011
Nahed-Toral, J.	12	159	13,3	5	México	ECOSUR, San Cristóbal de las Casas	2006	2020

Autor	D	TC	TC/D	Índice H	C	Institución	1st D	Last D
Arriaga-Jordán, C.M.	11	114	10,4	6	México	Universidad Autónoma del Estado de México	2013	2020
Deckers, J.	11	1231	111,9	11	Bélgica	Catholic University of Leuven	2005	2011
El-Halwagi, M.M.	9	161	17,9	8	USA	Texas A&M University	2012	2017
Diemont, S.A.W.	8	274	34,3	8	USA	SUNY College of Environmental Science and Forestry	2005	2016
Astier, M.	7	92	13,1	5	México	Universidad Nacional Autónoma de México	2006	2019
Dendooven, L.	7	545	77,9	6	México	Centro de Investigación y de Estudios Avanzados	2007	2019
Guevara-Hernández, F.	7	15	2,1	2	México	Universidad Autónoma de Chiapas	2010	2020
Moreno-Calles, A.I.	7	68	9,7	4	México	Universidad Nacional Autónoma de México	2013	2020
Nápoles-Rivera, F.	7	109	15,6	6	México	Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	2013	2017
Verhulst, N.	7	213	30,4	6	México	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo	2011	2019

D: cantidad anual de documentos; TC: cantidad anual de citas en documentos acumulados; TC/D: total de citas por documento; C: país; 1st D: primer documento por revista; Last D: último documento

### 3.7. Análisis de palabras clave

Las Figuras 3 y 4 ilustran los mapas de red de las palabras clave utilizadas en los documentos publicados en ASM en función de sus grupos de clusters y de su evolución en el tiempo, respectivamente. El tamaño de las etiquetas correspondientes a cada término (representado por un círculo) varía en función del número de veces que se repite. Así, los círculos más grandes representan términos que han sido utilizados en un mayor número de artículos y viceversa. En la Figura 3, los términos se han agrupado según el número de co-ocurrencias en los documentos de la muestra. Los clusters resultantes se han representado en diferentes colores para diferenciarlos. En la Figura 4, el color varía en función del momento de mayor uso de cada palabra clave, correspondiendo los tonos azules oscuros a períodos anteriores y los amarillos a momentos más recientes.

En la Figura 3, podemos observar seis grupos diferentes, que representan las distintas líneas de investigación que dominan este campo. Estos grupos se han obtenido mediante algoritmos disponibles en la aplicación informática, basados en la aplicación del índice de similitud de fuerza de asociación para la normalización de los valores de co-ocurrencia. El grupo rojo se centra en el desarrollo de modelos de agricultura sostenible en zonas rurales vulnerables. El objetivo general de esta línea de investigación es el desarrollo de modelos agrícolas que sirvan de base para el desarrollo rural de las zonas más desfavorecidas, donde no existen otras alternativas. Las prioridades son garantizar el suministro de alimentos y mantener la

población rural. Para ello, esta línea se basa en el conocimiento tradicional local y en la rica biodiversidad de México. En esta línea, Ubierno-Corvalán et al. (2020) documentaron la agrobiodiversidad vegetal comestible de los agroecosistemas de la zona indígena de maya-ch'ol en Chiapas. Castro-Sánchez et al. (2019) investigaron las relaciones de las comunidades nativas purépechas con los hongos comestibles y su entorno, el lugar de los hongos en la cosmovisión indígena y la estructura de clasificación, las formas de manejo y la problemática social y ambiental asociada a su uso. Moreno-Calles et al. (2016) analizaron la contribución de la etnoagrosilvicultura en el apoyo a la biodiversidad, incluyendo plantas y animales, ecosistemas y paisajes, como base para la suficiencia y soberanía alimentaria de las comunidades, regiones y el conjunto de la nación mexicana. En la Figura 4, podemos ver que este cluster corresponde a una línea de investigación reciente, dado que los tonos amarillos y verdes son predominantes entre las palabras clave. Los conceptos nuevos más destacados son seguridad alimentaria, conocimiento tradicional y conocimiento local. Dada su reciente incorporación, el número de estudios sobre estos aspectos es aún menor y, por tanto, los círculos son más pequeños. Si los tonos se vuelven más oscuros sin que aumente el número de publicaciones, podemos considerar que son términos que están en boga.

El grupo azul se refiere a la explotación sostenible de los sistemas agroforestales. Su objetivo es obtener una serie de productos, además de la madera, mediante el uso de prácticas tradicionales de sistemas mixtos de gestión con pastoreo y ganadería. Además, todo ello se realiza bajo la premisa de la conservación, basada en el uso de indicadores de sostenibilidad. Un ejemplo de estos sistemas es la ganadería bovina. Próspero-Bernal et al. (2020) analizaron la sustentabilidad de sistemas lecheros de pequeña escala que se basan en pastos convencionales de corte y acarreo con paja de cereales y concentrados alimenticios comerciales en el altiplano del centro de México. Espinoza-Guzmán et al. (2020) evaluaron la dinámica de los cambios en el agroecosistema de un cafetal de sombra en la cuenca alta del río La Antigua, Veracruz, considerado como uno de los principales sistemas de conservación de la biodiversidad. Albarrán-Portillo et al. (2019) analizaron las características socioeconómicas y productivas de los sistemas agrosilvopastoriles que comprenden diferentes elementos como cultivos, pastos, árboles y arbustos, y son vistos como una vía para satisfacer las necesidades futuras de diferentes productos básicos como alimentos, piensos, combustibles y otros productos, así como para proporcionar beneficios ambientales

y sociales. García-Pérez et al. (2018) estudiaron la *Chamaedorea hooperiana* como un cultivo alternativo en el bosque primario, capaz de proporcionar un rendimiento económico a la vez que contribuye a la sostenibilidad del bosque, en la Reserva de la Biosfera de Los Tuxtlas en Veracruz. Ferguson et al. (2013) compararon dos sistemas de ganadería mediante el uso de indicadores de sistema. Mientras que uno de ellos utilizaba el pastoreo extensivo, la quema anual de pastos y la aplicación regular de agroquímicos, poniendo en peligro la biodiversidad y la productividad a largo plazo, el otro empleaba una gestión holística con una cuidadosa planificación del uso de la tierra, el pastoreo rotativo, la diversificación del forraje y una menor cantidad de insumos adquiridos. En cuanto al uso de palabras clave a lo largo del tiempo, en la Figura 4 podemos ver cómo dentro de esta línea de investigación se ha producido una sustitución de términos a lo largo de los años. Durante la primera década, los términos dominantes eran conservación, silvicultura y café, y en la actualidad han evolucionado hacia los conceptos de conservación de la biodiversidad, sistemas agroforestales, ganado y pastoreo. De este modo, se aprecia una mayor precisión en los términos y una sustitución de otros, fruto del desarrollo de la investigación.

El grupo amarillo muestra una línea de investigación muy reciente, que surgió aproximadamente en 2013. Se especializa en el desarrollo de cultivos energéticos para diferentes usos. Junto con el abastecimiento de alimentos, la disponibilidad de recursos energéticos para las comunidades rurales es un reto apremiante en México. De acuerdo con la Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética, México tiene como objetivo alcanzar el uso del 35% de energías renovables para el año 2024. El desarrollo de modelos agrícolas que incluyan en sus objetivos la producción de energía a través de cultivos energéticos o mediante el aprovechamiento de excedentes de biomasa ha surgido como una alternativa sostenible. Dentro de este campo, podemos encontrar estudios como los de Molina-Guerrero et al. (2020), quienes analizaron la potencialidad de los residuos agrícolas generados por los principales cultivos de México para producir energía (entre ellos sorgo, caña de azúcar, maíz, trigo, cebada, frijol y café). Asimismo, di Bitonto et al. (2019) analizaron y caracterizaron otro grupo de residuos de biomasa mexicanos (que incluyen diferentes semillas y frutos como la jatrofa, el aguacate, la palma, el pimiento, el flamboyán, el coco y el nance) para obtener un aprovechamiento completo de su potencial energético. Medina-Santana et al. (2020) utilizaron un enfoque del

nexo agua-energía-alimentación para evaluar la sostenibilidad de un modelo agrícola multiobjetivo en una comunidad de Michoacán. Los resultados indican que la venta de bioetanol como actividad económica podría considerarse atractiva al aumentar ligeramente el precio del biocombustible y el rendimiento de la caña de azúcar.

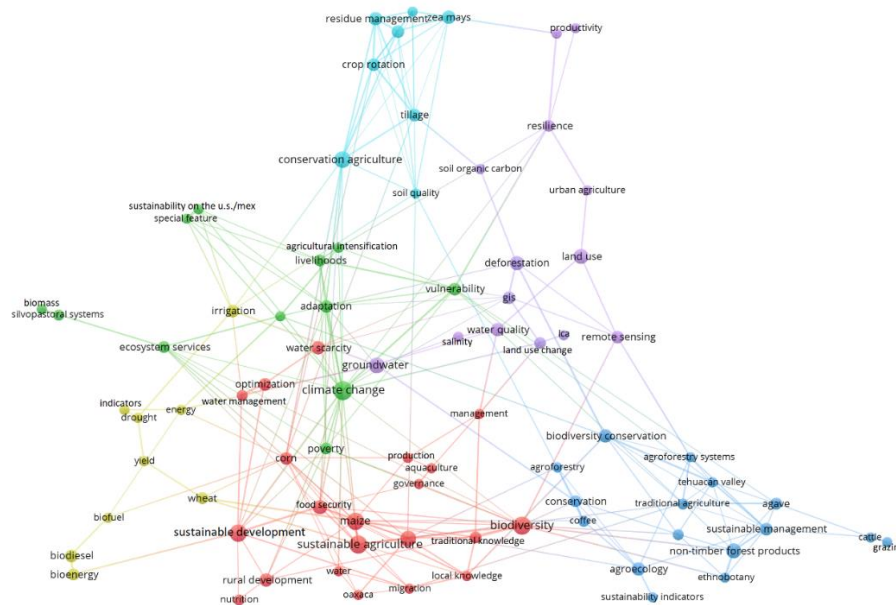
El grupo violeta combina dos temas prioritarios: la gestión de los recursos hídricos y el uso de la tierra y sus cambios. Dado que gran parte de la agricultura mexicana se desarrolla en climas áridos y semiáridos donde la disponibilidad de recursos hídricos es el principal factor limitante, el manejo sustentable de este recurso es una necesidad urgente (Ochoa-Noriega et al., 2020). La agricultura mexicana ha avanzado mucho en cuanto a la adopción de tecnología para mejorar la eficiencia en el uso del agua. Reyes-González et al. (2019) crearon mapas de evapotranspiración utilizando índices de vegetación de teledetección multispectral para cuantificar el consumo de agua de los cultivos de acuerdo con sus fases fisiológicas. López-Hernández et al. (2019) analizaron la relación productividad-evapotranspiración, concluyendo que la determinación de la productividad a través de la evapotranspiración tiene una relación directa con el rendimiento de los cultivos, ya que mejora la eficiencia del riego. Las modificaciones experimentadas en el uso de la tierra se han relacionado con los diferentes impactos ambientales, pero especialmente con la degradación de las masas de agua (Ochoa-Noriega et al., 2020). Vanderplank et al. (2014) reportaron que la intrusión de agua de mar en los acuíferos como resultado de la extracción insostenible, principalmente para el riego agrícola, causa impactos en los ecosistemas adyacentes, lo que resulta en la pérdida de más de veinte plantas nativas en el valle de San Quintín. Además, la calidad del agua subterránea también se ve afectada por la salinización y la contaminación como consecuencia del uso de aguas residuales para el riego agrícola y la fertilización (Marín-Celestino et al., 2019). Para resolver estos problemas se han propuesto diferentes alternativas. En primer lugar, la búsqueda de nuevas fuentes de agua seguras. González-Bravo et al. (2015), por ejemplo, propusieron el desarrollo de plantas desalinizadoras de agua de mar para contribuir a abastecer las crecientes necesidades de agua y luchar contra la degradación de las masas de agua sobreexplotadas. Estudios como los de Fernández et al. (2020) proponen el desarrollo de modelos agrícolas que contribuyan al abastecimiento de alimentos, sin modificar el medio natural y reutilizando recursos, como los sistemas de agricultura urbana.

El clúster de color azul claro corresponde a la línea más consolidada, dado que, en el mapa de la escala temporal, podemos ver cómo los tonos oscuros dominan en las palabras clave. El tema central de este cluster es la agricultura de conservación. Este tipo de sistema está constituido por un conjunto de técnicas que incluyen la labranza mínima, la cobertura permanente del suelo y la diversificación de cultivos, que tienen como finalidad básica la conservación de la implementación de un sistema más eficiente basado en un manejo integrado del suelo, el agua, los agentes biológicos y los insumos externos (Fonteyne et al., 2019). La implementación de la agricultura de conservación conjuntamente con un uso eficiente de los fertilizantes puede mejorar los rendimientos y la calidad de la producción de los cultivos (Santillano-Cázares et al., 2018). Fuentes et al. (2012) estudiaron el maíz y encontraron que la aplicación de la agricultura de conservación en este cultivo puede aumentar el contenido de carbono del suelo y reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Rivers et al. (2016) descubrieron que la agricultura de conservación puede ayudar a controlar las plagas al mejorar las características del suelo y reducir la erosión, creando un mejor hábitat para los organismos beneficiosos.

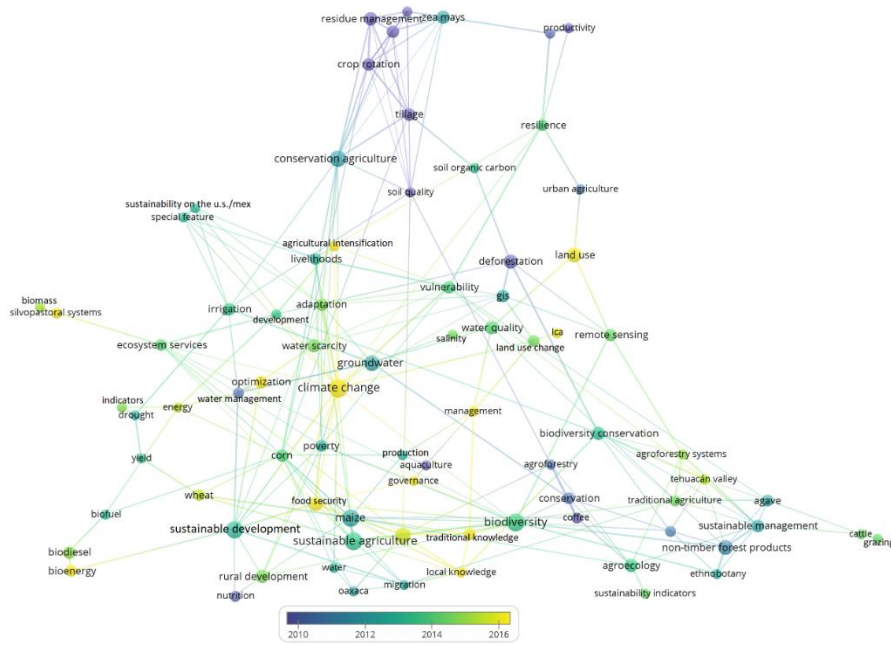
Por último, el clúster verde se centra en el cambio climático y el impacto de sus consecuencias en el flujo de servicios ecosistémicos derivados de los agroecosistemas. Este clúster ejemplifica cómo un nuevo tema puede convertirse en dominante dentro de un campo de estudio. En la Figura 4, podemos observar que el término cambio climático no es relevante hasta 2016; sin embargo, este concepto está representado con uno de los círculos más grandes. Esto indica que en poco tiempo ha despertado un gran interés en este campo de estudio. Uno de los impactos más claros del cambio climático es la disponibilidad de agua. Hernández-Bedolla et al. (2017) estimaron la disponibilidad de agua bajo diferentes escenarios de referencia, concluyendo que los principales factores que afectan a la disponibilidad de agua son la disminución de las precipitaciones y las altas temperaturas. Molina-Navarro et al. (2016) concluyeron que en la cuenca de Guadalupe la escorrentía puede reducirse entre un 45% y un 60%, mientras que la recarga de las aguas subterráneas puede disminuir hasta un 74% como consecuencia del cambio climático. Existe un grupo de estudios que analizan las características de los cultivos y del suelo bajo diferentes escenarios de cambio climático. Díaz-Garza et al. (2020) estudiaron la comunidad bacteriana ligada a las raíces de tres cultivos en ambientes semiáridos, bajo diferentes ciclos de crecimiento, para

conocer la composición de su comunidad microbiana durante la estación cálida en el noreste de México. Báez-González et al. (2020) se propusieron desarrollar cultivares de frijol ecoeficientes para ser plantados en altas densidades y así sostener la producción de frijol en un clima cambiante. Sin embargo, el impacto del cambio climático también puede dar lugar a consecuencias económicas y sociales, especialmente para los países más vulnerables como México, lo que representa importantes retos para su desarrollo y bienestar agrícola (Orduño-Torres et al., 2020). Otro grupo de estudios se centra en el impacto sobre las condiciones de vida y las percepciones de los agricultores. Orduño-Torres et al. (2020) analizaron las percepciones y preferencias medioambientales de los agricultores en relación con las acciones de adaptación y mitigación del cambio climático. Shinbrot et al. (2019) analizaron la importancia del contexto de vulnerabilidad, los activos de los medios de vida y las percepciones climáticas de los agricultores para adoptar estrategias de adaptación relacionadas con el clima.

**Figura 3.** Agrupación en las principales palabras clave relacionadas con la investigación de ASM



**Figura 4.** Tendencias de las principales palabras clave relacionadas con la investigación de ASM



#### 4. Conclusiones

El propósito de este capítulo es ofrecer un panorama del desarrollo de la investigación sobre agricultura sustentable en México durante el siglo XXI. Para ello, se realizó un análisis bibliométrico sobre una muestra de 867 documentos. Además, para comprobar la magnitud de la evolución de este campo de estudio, también se ha realizado una búsqueda paralela de la investigación general sobre agricultura en México. Posteriormente, se realizó un análisis de productividad a partir de la cantidad de documentos, revistas, categorías temáticas, autores, afiliaciones y colaboraciones, así como un estudio de los principales temas desarrollados a partir de las palabras clave utilizadas.

Los resultados indican que ambas líneas de investigación han aumentado su importancia en los últimos años. Sin embargo, aunque la investigación sobre la sustentabilidad en la agricultura en México ha surgido bastante recientemente, se ha convertido en una línea prioritaria en la última década. Este resultado es coherente con la tendencia observada a nivel mundial en la investigación en esta área, especialmente en relación con el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 promovidos por las Naciones Unidas. Así, tanto en la línea de investigación general como en la de sostenibilidad, las categorías temáticas dominantes fueron Ciencias Agrarias y Biológicas, Ciencias Ambientales y



Ciencias Sociales. En el caso de la investigación sobre ASM, se dio más énfasis a la serie de temas relacionados con el concepto de sostenibilidad que en la investigación sobre AM. Por lo tanto, es necesario fomentar los estudios sobre las perspectivas social y económica y realizar investigaciones que consideren las tres dimensiones de la sostenibilidad.

El examen de las redes de colaboración ha revelado que la cantidad de estudios internacionales en colaboración era mayor en el caso de la investigación sobre la sostenibilidad que en el de la sostenibilidad. Así, podemos observar que, en comparación con otras áreas de estudio, la sostenibilidad es más multidisciplinar, y también más ampliamente estudiada a través de la colaboración internacional entre instituciones. Entre las diferentes razones que explican el aumento de la colaboración internacional entre instituciones mexicanas y centros extranjeros se encuentra el gran número de iniciativas internacionales que promueven la creación de redes globales para el desarrollo sostenible en diferentes áreas, especialmente desde Naciones Unidas. Además, podemos comprobar que existe una relación directa entre la calidad de las relaciones de colaboración y la cantidad media de citas alcanzadas por los estudios. Sin embargo, no podemos determinar una relación directa entre la cantidad de los estudios realizados en colaboración y el número de citas.

El análisis de las palabras clave muestra seis clusters en la investigación sobre ASM, centrados en temas como el desarrollo de modelos agrícolas sostenibles en zonas rurales vulnerables, la explotación sostenible de sistemas agroforestales, el desarrollo de cultivos energéticos para diferentes usos, la gestión de los recursos hídricos y los usos del suelo y sus cambios, la agricultura de conservación y el cambio climático. Dentro de estos temas, hemos encontrado nuevos conceptos que pueden consolidarse y convertirse en los temas centrales, como es el caso del cambio climático, la seguridad alimentaria, la intensificación agrícola o el uso de la tierra; y otros como la agricultura, el café, la productividad o la silvicultura.

Los resultados de este estudio muestran que, durante las últimas décadas, la agricultura mexicana ha experimentado un fuerte proceso de modernización, situándose entre los principales productores y exportadores del mundo. Este proceso se ha basado principalmente en la adopción de nuevos modelos de gestión agrícola, el uso de innovaciones tecnológicas y la diversificación de cultivos para acceder a nuevos mercados. Estos avances han permitido a México pasar de una agricultura tradicional de subsistencia a una agricultura altamente

profesionalizada y productiva. Sin embargo, este proceso no se ha desarrollado de forma equilibrada. Una vez alcanzados los objetivos de producción y comercialización, México debe afrontar nuevos retos para lograr una agricultura plenamente sostenible.

Las principales áreas de trabajo, que constituyen las principales líneas de investigación propuestas, son las siguientes (i) desde el punto de vista medioambiental, se deben desarrollar modelos productivos más respetuosos con el conjunto de los ecosistemas del entorno, especialmente en lo que se refiere a las masas de agua que actualmente están sobreexplotadas; (ii) desde la perspectiva del ámbito económico, se debe promover el desarrollo de industrias auxiliares y de transformación, capaces de generar valor añadido para el país; y (iii) en cuanto al ámbito social, es aquí donde deben hacerse los mayores esfuerzos, dado que el modelo actual está aumentando la desigualdad entre los territorios del norte y del sur, entre las zonas rurales marginales y los centros urbanos, y entre los empresarios y los trabajadores.

## Bibliografía

- Abad-Segura, E.; Batlles-de-laFuente, A.; González-Zamar, M.D.; Belmonte-Ureña, L.J. Implications for Sustainability of the Joint Application of Bioeconomy and Circular Economy: A Worldwide Trend Study. *Sustainability* 2021, 13, 7182. <http://doi.org/10.3390/su13137182>.
- Adeyemi, O.; Grove, I.; Peets, S.; Norton, T. Advanced monitoring and management systems for improving sustainability in precision irrigation. *Sustainability* 2017, 9, 353. <http://doi.org/10.3390/su9030353>.
- Albarrán-Portillo, B.; García-Martínez, A.; Ortiz-Rodea, A.; Rojo-Rubio, R.; Vázquez-Armijo, J.F.; Arriaga-Jordán, C.M. Socioeconomic and productive characteristics of dual purpose farms based on agrosilvopastoral systems in subtropical highlands of central Mexico. *Agrofor. Syst.* 2019, 93, 1939–1947. <http://doi.org/10.1007/s10457-018-0299-2>.
- Alexandratos, N.; Bruinsma, J. *World Agriculture towards 2030/2050: The 2012 Revision*; FAO, ESA Working Paper 12-03: Rome, Italy, 2012. <http://www.fao.org/3/ap106e/ap106e.pdf>
- Arce-Romero, A.; Monterroso-Rivas, A.I.; Gómez-Díaz, J.D.; Palacios-Mendoza, M.A.; Navarro-Salas, E.N.; López-Blanco, J.; Conde-Álvarez, A.C. Crop yield simulations in Mexican agriculture for climate change adaptation. *Atmósfera* 2020, 33, 215–231. <http://doi.org/10.20937/ATM.52430>.
- Aznar-Sánchez, J.A.; Belmonte-Ureña, L.J.; Velasco-Muñoz, J.F.; Manzano-Agugliaro, F. Economic analysis of sustainable water use: A review of worldwide research. *J. Clean. Prod.* 2018, 198, 1120–1132. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.066>.
- Aznar-Sánchez, J.A.; Piquer-Rodríguez, M.; Velasco-Muñoz, J.F.; Manzano-Agugliaro, F. Worldwide research trends on sustainable land use in agriculture. *Land Use Pol.* 2019a, 67, 104069. <http://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104069>.
- Aznar-Sánchez, J.A.; Velasco-Muñoz, J.F.; Belmonte-Ureña, L.J.; Manzano-Agugliaro, F. Innovation and technology for sustainable mining activity: A worldwide research

- assessment. *J. Clean. Prod.* 2019b, 221, 38–54. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.243>.
- Aznar-Sánchez, J.A.; Velasco-Muñoz, J.F.; Belmonte-Ureña, L.J.; Manzano-Agugliaro, F. The worldwide research trends on water ecosystem services. *Ecol. Indic.* 2019c, 99, 310–323. <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.12.045>.
- Aznar-Sánchez, J.A.; Velasco-Muñoz, J.F.; López-Felices, B.; del Moral-Torres, F. Barriers and Facilitators for Adopting Sustainable Soil Management Practices in Mediterranean Olive Groves. *Agronomy* 2020, 10, 506. <http://doi.org/10.3390/agronomy10040506>.
- Báez-González, A.D.; Fajardo-Díaz, R.; Padilla-Ramírez, J.S.; Osuna-Ceja, E.S.; Kiniry, J.R.; Meki, M.N.; Acosta-Díaz, E. Yield performance and response to high plant densities of dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars under semi-arid conditions. *Agronomy* 2020, 10, 1684. <http://doi.org/10.3390/agronomy10111684>.
- Banco Mundial. <https://data.worldbank.org/indicator/SL.AGR.EMPL.ZS?end=2019&locations=MX&start=1991>
- Becker, B. Sustainability Assessment: A Review of Values, Concepts and Methodological Approaches; *Issues in Agriculture 10*; World Bank-Consultative Group on International Agriculture Research (CGIAR): Washington, DC, USA, 1997.
- Brundtland, G.; Khalid, M.; Agnelli, S.; Al-Athel, S.; Chidzero, B.; Fadika, L.; Hauff, V.; Lang, I.; Shijun, M.; de Botero, M.M.; et al. *Our Common Future* (Brundtland Report); Oxford University Press: Oxford, UK, 1987; p. 383. ISBN: 019282080X.
- Carrasco-Quintero, M.R.; Ortiz-Hernández, L.; Roldán-Amaro, J.A.; Chávez-Villasana, A. Malnutrition and cognitive development of infants in rural marginalized areas in Mexico. *Gac. Sanit.* 2016, 30, 304–307. <http://doi.org/10.1016/j.gaceta.2016.01.009>.
- Castro-Sánchez, E.I.; Moreno-Calles, A.I.; Meneses-Eternod, S.; Farfán-Heredia, B.; Blancas, J.; Casas, A. Management of wild edible fungi in the meseta Purépecha

- Region, Michoacán, México. *Sustainability* 2019, 11, 3779. <http://doi.org/10.3390/su11143779>.
- Cogato, A.; Meggio, F.; Migliorati, M.; Marinello, F. Extreme Weather Events in Agriculture: A Systematic Review. *Sustainability* 2019, 11, 2547. <http://doi.org/10.3390/su11092547>.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2018). Estadísticas del Agua en México, 2018ed; Conagua: Ciudad de México, México, 2018. [http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM\\_2018.pdf](http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf)
- Cossarini, D.M.; MacDonald, B.H.; Wells, P.G. Communicating marine environmental information to decision makers: Enablers and barriers to use of publications (grey literature) of the Gulf of Maine Council on the Marine Environment. *Ocean. Coast. Manag.* 2014, 96, 163–172.
- Cunningham, S.A.; Attwood, S.J.; Bawa, K.S.; Benton, T.G.; Broadhurst, L.M.; Didham, R.K.; McIntyre, S.; Perfecto, I.; Samways, M.J.; Tschardtke, T.; et al. To close the yield-gap while saving biodiversity will require multiple locally relevant strategies. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2013, 173, 20–27. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2013.04.007>.
- Delgado-Carranza, C.; Bautista, F.; Ihl, T.J.; Palma-López, D. Duración del periodo de lluvias y aptitud de tierras para la agricultura de temporal. *Ecosistemas Recur. Agropecu.* 2017, 4, 485. <http://doi.org/10.19136/era.a4n12.1320>.
- Di Bitonto, L.; Reynel-Avila, H.E.; Mendoza-Castillo, D.I.; Pastore, C.; Bonilla-Petriciolet, A. Mexican biomass wastes: Valorization for potential application in bioenergy. *Bulg. Chem. Commun.* 2019, 51, 99–102. <http://doi.org/10.34049/bcc.51.B.003>.
- Dias, C.S.L.; Rodrigues, R.G.; Ferreira, J.J. What's new in the research on agricultural entrepreneurship? *J. Rural. Stud.* 2019, 65, 99–115. <http://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2018.11.003>.
- Díaz-Garza, A.M.; Fierro-Rivera, J.I.; Pacheco, A.; Schüßler, A.; Gradilla-Hernández, M.S.; Senés-Guerrero, C. Temporal Dynamics of Rhizobacteria Found in Pequin Pepper,

- Soybean, and Orange Trees Growing in a Semi-arid Ecosystem. *Front. Sustain. Food Syst.* 2020, 4, 602283. <http://doi.org/10.3389/fsufs.2020.602283>.
- Du Pisani, J.A. Sustainable development—Historical roots of the concept. *J. Environ. Sci.* 2006, 3, 83–96. <http://doi.org/10.1080/15693430600688831>.
- Durieux, V.; Gevenois, P.A. Bibliometric Indicators: Quality Measurements of Scientific Publication. *Radiology* 2010, 255, 342. <http://doi.org/10.1148/radiol.09090626>.
- El Chami, D.; Daccache, A.; El Moujabber, M. How can sustainable agriculture increase climate resilience? A systematic review. *Sustainability* 2020, 12, 3119. <http://doi.org/10.3390/su12083119>.
- Ellis, E.C.; Ramankutty, N. Putting people in the map: Anthropogenic biomes of the world. *Front. Ecol. Environ.* 2008, 6, 439–447. <http://doi.org/10.1890/070062>.
- Ellis, E.C.; Haff, P.K. Earth science in the anthropocene: New epoch, new paradigm, new responsibilities. *EOS Trans. Am. Geophys. Union* 2009, 90, 473. <http://doi.org/10.1029/2009EO490006>.
- Espinoza-Guzmán, M.A.; Velásquez, L.R.S.; López, M.R.P.; Sánchez, F.J.S.; Borrego, D.A.; García, Z.F.R. Dynamics of changes in the agroecosystem of a shade-grown coffee plantation in the upper la antigua river basin, Veracruz. *Madera Bosques* 2020, 26, e2621974. <http://doi.org/10.21829/myb.2020.2621974>.
- Ferguson, B.G.; Diemont, S.A.W.; Alfaro-Arguello, R.; Martin, J.F.; Nahed-Toral, J.; Álvarez-Solís, D.; Pinto-Ruíz, R. Sustainability of holistic and conventional cattle ranching in the seasonally dry tropics of Chiapas, Mexico. *Agric. Syst.* 2013, 120, 38–48. <http://doi.org/10.1016/j.agsy.2013.05.005>.
- Fernández, K.G.; Moreno-Calles, A.I.; Casas, A.; Blancas, J. Contributions of urban collective gardens to local sustainability in Mexico City. *Sustainability* 2020, 12, 7562. <http://doi.org/10.3390/su12187562>.
- Foley, J.A.; Ramankutty, N.; Brauman, K.A.; Cassidy, E.S.; Gerber, J.S.; Johnston, M.; Mueller, N.D.; O'Connell, C.; Ray, D.K.; West, P.C.; et al. Solutions for a cultivated planet. *Nature* 2011, 478, 337–342. <http://doi.org/10.1038/nature10452>.

- Fonteyne, S.; Gamiño, M.M.; Tejeda, A.S.; Verhulst, N. Conservation Agriculture Improves Long-term Yield and Soil Quality in Irrigated Maize-oats Rotation. *Agronomy* 2019, 9, 845. <http://doi.org/10.3390/agronomy9120845>.
- Forouzani, M.; Karami, E. Agricultural water poverty index and sustainability. *Agron. Sustain. Dev.* 2011, 31, 415–432. <http://doi.org/10.1051/agro/2010026>.
- Foucher, A.; Salvador-Blanes, S.; Evrard, O.; Simonneau, A.; Chapron, E.; Courp, T.; Cerdan, O.; Lefèvre, I.; Adriaensen, H.; Lecompte, F.; et al. Increase in soil erosion after agricultural intensification: Evidence from a lowland basin in France. *Anthropocene* 2014, 7, 30–41. <http://doi.org/10.1016/j.ancene.2015.02.001>.
- Fu, H.Z.; Wang, M.H.; Ho, Y.S. Mapping of drinking water research: A bibliometric analysis of research output during 1992–2011. *Sci. Total Environ.* 2013, 443, 757–765. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.11.061>.
- Fuentes, M.; Hidalgo, C.; Etchevers, J.; León, F.; Guerrero, A.; Dendooven, L.; Verhulst, N.; Govaerts, B. Conservation agriculture, increased organic carbon in the top-soil macro-aggregates and reduced soil CO emissions. *Plant. Soil* 2012, 355, 183–197. <http://doi.org/10.1007/s11104-011-1092-4>.
- Galdeano-Gómez, E.; Pérez-Mesa, J.C.; Aznar-Sánchez, J.A. Internationalisation of SMEs and simultaneous strategies of cooperation and competition: An exploratory analysis. *J. Bus. Econ. Manag.* 2016, 17, 1114–1132. <http://doi.org/10.3846/16111699.2014.959040>.
- García-Pérez, J.A.; Barois, I.; Alarcón-Gutiérrez, E. Growth and survival of the Mayan palm *Chamaedorea hooperiana* in two villages of Los Tuxtlas Biosphere Reserve, Veracruz, Mexico: A comparison between primary and secondary forests. *Agrofor. Syst.* 2018, 92, 1237–1252. <http://doi.org/10.1007/s10457-016-0064-3>.
- Garrigós-Simón, F.; Sanz-Blas, S.; Narangajavana, Y.; Buzova, D. The Nexus between Big Data and Sustainability: An Analysis of Current Trends and Developments. *Sustainability* 2021, 13, 6632. <http://doi.org/10.3390/su13126632>.

- Gómez-Merino, F.C.; Hernández-Anguiano, A.M. El Contexto del Sector Agroalimentario en México. In *Líneas Prioritarias de Investigación. Informe de Gestión 2009–2011*; Hernández-Anguiano, A.M., Gómez-Merino, F.C., Pérez-Hernández, L.M., Villanueva-Jiménez, J.A., Eds.; Colegio de Postgraduados: Estado de México, México, 2013. ISBN: 978-607-715-135-7.
- González-Bravo, R.; Nápoles-Rivera, F.; Ponce-Ortega, J.M.; El-Halwagi, M.M. Involving integrated seawater desalination-power plants in the optimal design of water distribution networks. *Resour. Conserv. Recycl.* 2015, 104, 181–193. <http://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.08.010>.
- Govaerts, B.; Sayre, K.D.; Goudeseune, B.; De Corte, P.; Lichter, K.; Dendooven, L.; Deckers, J. Conservation agriculture as a sustainable option for the central Mexican highlands. *Soil Tillage Res.* 2009, 103, 222–230. <http://doi.org/10.1016/j.still.2008.05.018>.
- Hernández-Bedolla, J.; Solera, A.; Paredes-Arquiola, J.; Pedro-Monzonís, M.; Andreu, J.; Sánchez-Quispe, S.T. The Assessment of Sustainability Indexes and Climate Change Impacts on Integrated Water Resource Management. *Water* 2017, 9, 213. <http://doi.org/10.3390/w9030213>.
- Hernández-Díaz, P.M.; Polanco, J.A.; Escobar-Sierra, M.; Filho, W.L. Holistic integration of sustainability at universities: Evidences from Colombia. *J. Clean. Prod.* 2021, 305, 127145. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127145>.
- Holden, E.; Linnerud, K.; Banister, D. Sustainable development: Our common future revisited. *Glob. Environ. Change Hum. Policy Dimens.* 2014, 26, 130–139. <http://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.006>.
- Kirkhorn, S.; Schenker, M.B. Human Health Effects of Agriculture: Physical Diseases and Illnesses; National Agriculture Safety Database: Washington, DC, USA, 2001; p. 18.
- Kissinger, G.; Herold, M.; De, V.; Angelsen, A.; Bietta, F.; Bodganski, A.; Boucher, D.; Boyle, T.; Brickell, E.; Defries, R.; et al. Drivers of Deforestation and Forest



- Degradation: A Synthesis Report for REDD + Policy Makers; Lexeme Consulting: Vancouver, BC, Canada, 2012.
- Komiyama, H.; Takeuchi, K. Sustainability science: Building a new discipline. *Sustain. Sci.* 2006, 1, 1–6. <http://doi.org/10.1007/s11625-006-0007-4>.
- Kumar, A.; Mallick, S.; Swarnakar, P. Mapping Scientific Collaboration: A Bibliometric Study of Rice Crop Research in India. *J. Sci. Res.* 2020, 9, 29–39. <http://doi.org/10.5530/jscires.9.1.4>.
- Lahmar, R. Adoption of conservation agriculture in Europe: Lessons of the KASSA project. *Land Use Pol.* 2010, 27, 4–10. <http://doi.org/10.1016/j.landusepol.2008.02.001>.
- Laurett, R.; Paço, A.; Mainardes, E.W. Sustainable Development in Agriculture and its Antecedents, Barriers and Consequences—An Exploratory Study. *Sustain. Prod. Consum.* 2021, 27, 298–311. <http://doi.org/10.1016/j.spc.2020.10.032>.
- López-Hernández, M.; Arteaga-Ramírez, R.; Ruiz-García, A.; Vázquez-Peña, M.A.; López-Resano, J.I. Productividad del agua normalizada para el cultivo de maíz (*Zea mays*) en Chapingo, México. *Agrociencia* 2019, 53, 811–820.
- Mancosu, N.; Snyder, R.L.; Kyriakakis, G.; Spano, D. Water scarcity and future challenges for food production. *Water* 2015, 7, 975–992. <http://doi.org/10.3390/w7030975>.
- Marín-Celestino, A.E.; Ramos-Leal, J.A.; Martínez-Cruz, D.A.; Tuxpan-Vargas, J.; De Lara-Bashulto, J.; Morán-Ramírez, J. Identification of the Hydrogeochemical Processes and Assessment of Groundwater Quality, Using Multivariate Statistical Approaches and Water Quality Index in a Wastewater Irrigated Region. *Water* 2019, 11, 1702. <http://doi.org/10.3390/w11081702>.
- Maxwell, S.L.; Fuller, R.A.; Brooks, T.M.; Watson, J.E.M. Biodiversity: The ravages of guns, nets and bulldozers. *Nature* 2016, 536, 143–145. <http://doi.org/10.1038/536143a>.

- Meadowcroft, J. Who is in charge here? Governance for sustainable development in a complex world. *J. Environ. Policy Plan.* 2007, 9, 299–314. <http://doi.org/10.1080/15239080701631544>.
- Medina-Santana, A.A.; Flores-Tlacuahuac, A.; Cárdenas-Barrón, L.E.; Fuentes-Cortés, L.F. Optimal design of the water-energy-food nexus for rural communities. *Comput. Chem. Eng.* 2020, 143, 107120. <http://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2020.107120>.
- Millennium Ecosystem Assessment, (MEA, 2005). *Ecosystems and Human Well-Being; Current State and Trends* Island Press: Washington, DC, USA, 2005; p. 137.
- Molina-Guerrero, C.E.; Sanchez, A.; Vázquez-Núñez, E. Energy potential of agricultural residues generated in Mexico and their use for butanol and electricity production under a biorefinery configuration. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2020, 27, 28607–28622. <http://doi.org/10.1007/s11356-020-08430-y>.
- Molina-Navarro, E.; Hallack-Alegría, M.; Martínez-Pérez, S.; Ramírez-Hernández, J.; Mungaray-Moctezuma, A.; Sastre-Merlín, A. Hydrological modeling and climate change impacts in an agricultural semiarid region. Case study: Guadalupe River basin, Mexico. *Agric. Water Manag.* 2016, 175, 29–42. <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.10.029>.
- Mongeon, P.; Paul-Hus, A. The journal coverage of Web of Science and Scopus: A comparative analysis. *Scientometrics* 2016, 106, 213–228. <http://doi.org/10.1007/s11192-015-1765-5>.
- Moreno-Calles, A.I.; Casas, A.; Rivero-Romero, A.D.; Romero-Bautista, Y.A.; Rangel-Landa, S.; Fisher-Ortíz, R.A.; Alvarado-Ramos, F.; Vallejo-Ramos, M.; Santos-Fita, D. Ethnoagroforestry: Integration of biocultural diversity for food sovereignty in Mexico. *J. Ethnobiol. Ethnomed.* 2016, 12, 54. <http://doi.org/10.1186/s13002-016-0127-6>.
- Ngwenya, S.; Boshoff, N. Participation of ‘international national organisations’ in Africa’s research: A bibliometric study of agriculture and health in Zimbabwe. *Scientometrics* 2020, 124, 533–553. <http://doi.org/10.1007/s11192-020-03480-y>.

- Ochoa-Noriega, C.A.; Aznar-Sánchez, J.A.; Velasco-Muñoz, J.F.; Álvarez-Bejar, A. The Use of Water in Agriculture in Mexico and Its Sustainable Management: A Bibliometric Review. *Agronomy* 2020, 10, 1957. <http://doi.org/10.3390/agronomy10121957>.
- Orduño-Torres, M.A.; Kallas, Z.; Ornelas-Herrera, S.I. Farmers' environmental perceptions and preferences regarding climate change adaptation and mitigation actions; towards a sustainable agricultural system in México. *Land Use Pol.* 2020, 99, 105031. <http://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105031>.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2019). World Population. Prospects 2019: Highlights (ST/ESA/SER.A/423); Department of Economic and Social Affairs, Population Division: San Francisco, CA, USA, 2019. [https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019\\_Highlights.pdf](https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf)
- Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2020). The Sustainable Development Goals Report 2020; United Nations Publications: New York, NY, USA, 2020. ISBN: 978-92-1-101425-9.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAOSTAT, 2010). Base de datos estadísticos. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, 2010. <http://www.fao.org/faostat/en/#home>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2019). El sistema Alimentario en México—Oportunidades Para el Campo Mexicano en la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible; FAO: Ciudad de México, Mexico, 2019. <http://www.fao.org/3/CA2910ES/ca2910es.pdf>
- Organización Mundial del Comercio (OMC, 2019). World Trade Statistical Review 2019; World Trade Organization: Geneva, Switzerland, 2019. [https://www.wto.org/english/res\\_e/statis\\_e/wts2019\\_e/wts19\\_toc\\_e.htm](https://www.wto.org/english/res_e/statis_e/wts2019_e/wts19_toc_e.htm)
- Pedro-Monzonís, M.; Solera, A.; Ferrer, J.; Estrela, T.; Paredes-Arquiola, J. A review of water scarcity and drought indexes in water resources planning and management. *J. Hydrol.* 2015, 527, 482–493. <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.05.003>.

- Próspero-Bernal, F.; López-González, F.; Martínez-García, C.G.; Arriaga-Jordán, C.M. Assessment of the sustainability between 2010 and 2015 of small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico. *ITEA* 2020, 116, 41–56. <http://doi.org/10.12706/itea.2019.017>.
- Reyes-González, A.; Reta-Sánchez, D.G.; Sánchez-Duarte, J.I.; Ochoa-Martínez, E.; Rodríguez-Hernández, K.; Preciado-Rangel, P. Estimation of evapotranspiration of forage corn supported with remote sensing and in situ measurements. *Terra Latinoam.* 2019, 37, 279-290. <http://doi.org/10.28940/terra.v37i3.485>.
- Riojas, C. La naturaleza de las articulaciones regionales en México a través del tiempo. *Amerika* 2011, 4. <http://doi.org/10.4000/amerika.2259>.
- Rivers, A.; Barbercheck, M.; Govaerts, B.; Verhulst, N. Conservation agriculture affects arthropod community composition in a rainfed maize-wheat system in central Mexico. *Appl. Soil Ecol.* 2016, 100, 81–90. <http://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.12.004>.
- Rocchi, L.; Boggia, A.; Paolotti, L. Sustainable agricultural systems: A bibliometrics analysis of ecological modernization approach. *Sustainability* 2020, 12, 9635. <http://doi.org/10.3390/su12229635>.
- Santillano-Cázares, J.; Núñez-Ramírez, F.; Ruíz-Alvarado, C.; Cárdenas-Castañeda, M.E.; Ortiz-Monasterio, I. Assessment of Fertilizer Management Strategies Aiming to Increase Nitrogen Use Efficiency of Wheat Grown Under Conservation Agriculture. *Agronomy* 2018, 8, 304. <http://doi.org/10.3390/agronomy8120304>.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2019). Programa Nacional Hídrico 2019–2014; Comisión Nacional del Agua (CONAGUA): Copilco el Bajo, México, 2019. <http://187.191.71.192/portales/resumen/48732>
- Servicio de Información Alimentaria, Agrícola y Pesquera (SIAP, 2019). 2019 Panorama de la alimentación y la agricultura; SIAP: México, México, 2019. [https://nube.siap.gob.mx/gobmx\\_publicaciones\\_siap/pag/2019/Agricultural-Atlas-2019](https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2019/Agricultural-Atlas-2019)

- Shinbrot, X.A.; Jones, K.W.; Rivera-Castañeda, A.; López-Báez, W.; Ojima, D.S. Smallholder Farmer Adoption of Climate-Related Adaptation Strategies: The Importance of Vulnerability Context, Livelihood Assets, and Climate Perceptions. *Environ. Manag.* 2019, 63, 583–595. <http://doi.org/10.1007/s00267-019-01152-z>.
- Smith, P.; Gregory, P.J.; van Vuuren, D.; Obersteiner, M.; Havlík, P.; Rounsevell, M.; Woods, J.; Stehfest, E.; Bellarby, J. Competition for land. *Philos. Trans. R. Soc. B* 2010, 365, 2941–2957. <http://doi.org/10.1098/rstb.2010.0127>.
- Solovieva, Y.; Quintanar, R.; Lázaro, G. Efectos socioculturales sobre el desarrollo psicológico y neurológico en niños preescolares. *Cuad. Hispanoam. Psicol. México* 2006, 6, 9–20.
- Sosa-Baldivia, A.; Ruíz-Ibarra, G. Food availability in Mexico: An analysis of agricultural production over the last 35 years and its projection for 2050. *Pap. Poblac.* 2017, 23, 207–230. <https://rppoblacion.uaemex.mx/article/view/9111>
- Springmann, M.; Clark, M.; Mason-D’Croz, D.; Wiebe, K.; Bodirsky, B.L.; Lassaletta, L.; De Vries, W.; Vermeulen, S.J.; Herrero, M.; Carlson, K.M.; et al. Options for keeping the food system within environmental limits. *Nature* 2018, 562, 519–525. <http://doi.org/10.1038/s41586-018-0594-0>.
- Tilman, D. Global environmental impacts of agricultural expansion: The need for sustainable and efficient practices. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 1999, 96, 5995–6000. <http://doi.org/10.1073/pnas.96.11.5995>.
- Tilman, D.; Balzer, C.; Hill, J.; Befort, B.L. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 2011, 108, 20260–20264. <http://doi.org/10.1073/pnas.1116437108>.
- Ubierno-Corvalán, P.A.; Rodríguez-Galván, M.G.; Zaragoza-Martínez, M.L.; Ponce-Díaz, P.; Casas, A.; Mariaca-Méndez, R. Agrobiodiversity of edible vegetable in the indigenous territory maya-ch’ol Chiapas, Mexico. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 2020, 23, 46. <http://www.revista.ccba.uady.mx/urn:ISSN:1870-0462-tsaes.v23i2.3192>

- Vanderplank, S.; Ezcurra, E.; Delgadillo, J.; Felger, R.; McDade, L.A. Conservation challenges in a threatened hotspot: Agriculture and plant biodiversity losses in Baja California, Mexico. *Biodivers. Conserv.* 2014, 23, 2173–2182. <http://doi.org/10.1007/s10531-014-0711-9>.
- Velasco-Muñoz, J.F.; Aznar-Sánchez, J.A.; Belmonte-Ureña, L.J.; Román-Sánchez, I.M. Sustainable Water Use in Agriculture: A Review of Worldwide Research. *Sustainability* 2018, 10, 1084. <http://doi.org/10.3390/su10041084>.
- Velasco-Muñoz, J.F.; Aznar-Sánchez, J.A.; Batlles de la Fuente, A.; Fidelibus, M.D. Sustainable Irrigation in Agriculture: An Analysis of Global Research. *Water* 2019a, 11, 1758. <http://doi.org/10.3390/w11091758>.
- Velasco-Muñoz, J.F.; Aznar-Sánchez, J.A.; Batlles-delaFuente, A.; Fidelibus, M.D. Rainwater Harvesting for Agricultural Irrigation: An Analysis of Global Research. *Water* 2019b, 11, 1320. <http://doi.org/10.3390/w11071320>.
- Wezel, A.; Soldat, V. A quantitative and qualitative historical analysis of the scientific discipline of agroecology. *Int. J. Agric. Sustain.* 2009, 7, 3–18. <http://doi.org/10.3763/ijas.2009.0400>.
- Yarime, M.; Takeda, Y.; Kajikawa, Y. Towards institutional analysis of sustainability science: A quantitative examination of the patterns of research collaboration. *Sustain. Sci.* 2010, 5, 115–125. <http://doi.org/10.1007/s11625-009-0090-4>.



# CAPÍTULO 3. GESTIÓN SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA AGRICULTURA MEXICANA

---

Artículo 2: The Use of Water in Agriculture in Mexico and Its  
Sustainable Management: A Bibliometric Review

*Agronomy*, 2020, 10(12), 1957

Factor de impacto 3.417 y cuartil Q1 en 2020 en Journal  
Citation Reports- Thomson Reuters





# GESTIÓN SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA AGRICULTURA MEXICANA

---

## 1. Introducción

La sociedad actual debe afrontar una serie de retos para garantizar la supervivencia de una población que crece a un ritmo constante, asegurando las mismas oportunidades para generaciones futuras, en base al principio de sostenibilidad (Fróna et al., 2019; Oberle et al., 2019). Entre ellos, se incluyen el abastecimiento de agua y alimentos, la erradicación del hambre y la pobreza, y la conservación de un entorno natural saludable (Ceratti, 2016; Aznar-Sánchez et al., 2019). Estos retos están estrechamente relacionados entre ellos, y cobran especial relevancia en aquellas regiones más desfavorecidas. La agricultura es una actividad económica prioritaria que conecta los distintos objetivos planteados. Es el principal proveedor de alimentos a nivel mundial, por lo que juega un papel fundamental en el abastecimiento alimentario (FAO, 2009). Adicionalmente, la agricultura es una de las principales actividades en las zonas rurales, siendo en algunos casos la única actividad posible, y, por lo tanto, el único motor para el desarrollo de los pueblos (Baguma y Loiskandl, 2010; Dias et al., 2019). Por otra parte, esta actividad es el principal consumidor de recursos hídricos, por lo que tiene una repercusión directa sobre la disponibilidad de agua (Foley et al., 2011; Velasco-Muñoz et al., 2018a). Así mismo, la agricultura es una fuente de contaminación ambiental, y responsable de la sobreexplotación y degradación de fuentes de agua (Cunningham et al., 2013; Mancosu et al., 2015).

La agricultura mexicana es un ejemplo paradigmático de la relevancia de este sector. Según datos de la FAO, México cuenta con un territorio nacional de 198 millones de hectáreas, de las cuales 145 millones se dedican a la actividad agropecuaria (FAO, 2019; SIAP, 2019). Esta superficie se reparte entre casi 30 millones de hectáreas para tierras de cultivo y 115 millones para agostadero. Aunque la participación en el PIB nacional es apenas del 4%, la agricultura es una base importante para el desarrollo del país, ya que funciona como una herramienta que ayuda a fomentar la seguridad alimentaria (Sosa-Baldivia y Ruíz-Ibarra, 2017; OMC, 2019). Asimismo, constituye la base para potenciar el progreso y el crecimiento

productivo, susceptible de mejorar las condiciones de vida, así como la capacidad productiva de los sectores rurales. La agricultura mexicana es una actividad fundamental para el medio rural, alcanzando a 24 millones de mexicanos, una cuarta parte de la población nacional, llegando a representar el 50% de los ingresos para dicha población (Sosa-Baldivia y Ruíz-Ibarra, 2017; SIAP, 2019; Banco Mundial, 2020).

La extensa superficie de México comprende una gran diversidad de áreas climáticas (Riojas, 2011). En general, se pueden distinguir dos zonas claramente diferenciadas. Por un lado, dos terceras partes del territorio del país presentan climas de tipo árido y semiárido, mientras que las zonas de la mitad sur tienen un clima tropical templado (FAO, 2019). En conjunto, México cuenta con 451.585 millones de metros cúbicos de agua dulce renovable, teniendo en cuenta las precipitaciones, la evapotranspiración y los flujos de salida y entrada de agua con los países vecinos (CONAGUA, 2018). El sector agrícola es el principal consumidor de agua con un 76% del consumo total. El 63,6% del agua para uso agrícola proviene de fuentes superficiales y el 36,4% de fuentes subterráneas. El Plan Nacional Hídrico 2019-2024 identifica el uso ineficiente del agua como uno de los principales problemas en relación con los recursos hídricos, especialmente en el ámbito agrícola en el que se producen pérdidas de agua superiores al 40% (SEMARNAT, 2019).

Si se considera globalmente, México presenta un nivel bajo de presión sobre sus recursos hídricos al ser del 19,5% (CONAGUA, 2018). Sin embargo, dos terceras partes de su territorio son zonas áridas o semiáridas (zonas norte, centro y noroeste), con unas precipitaciones anuales inferiores a los 500 mm (Gómez-Merino y Hernández-Anguiano, 2013). En estas regiones, se presentan altos grados de presión que oscilan entre el 40% y el 100% (CONAGUA, 2018; SEMARNAT, 2019). Además, 105 de los 653 acuíferos con los que cuenta México se encuentran sobreexplotados, 32 presentan suelos salinos y agua salobre, y 18 están afectados por la intrusión marina (Delgado-Carranza et al., 2017; SEMARNAT, 2019). Por otro lado, aproximadamente 69 de las 757 cuencas hidrológicas existentes presentan una situación de déficit, pues el caudal concedido o asignado supera al del agua renovable (Delgado-Carranza et al., 2017; SEMARNAT, 2019). Adicionalmente, los posibles efectos derivados del cambio climático pueden impactar significativamente sobre los recursos hídricos en todo el territorio mexicano, al incrementar la temperatura y

alterar los patrones de las precipitaciones. Se estima, por ejemplo, que para finales de siglo las lluvias disminuirán hasta un 30% (SEMARNAT, 2019). Por otra parte, uno de los principales problemas destacados por los agricultores en relación con el desarrollo de la actividad agrícola es la pérdida de la cosecha por causas climáticas, especialmente debido a las sequías (ENA, 2017). Las zonas más afectadas por la sequía durante los últimos años son Baja California, Sonora y Sinaloa (CONAGUA, 2018).

En los últimos años, el país está potenciando la actividad agrícola, situándose entre los principales productores a nivel mundial (FAO, 2019; Arce-Romero et al., 2020). Esto es debido al aumento de la presencia de los productos mexicanos en los mercados exteriores, impulsada por la calidad y la variedad de productos con los que cuenta. Además, surge la necesidad de alimentar a la creciente población mexicana, que se estima que aumentará en un 17% para 2050 (Sosa-Baldivia y Ruíz-Ibarra, 2017). La lucha para la erradicación de la pobreza es otro motor para potenciar la agricultura, dado que casi el 20% de la población se encuentra por debajo de la línea nacional de pobreza alimentaria, y el 5% de la población se sitúa en el rango de prevalencia de subalimentación (SIAP, 2019). Aún así, el margen para mejorar el aprovechamiento de los recursos naturales en México todavía es amplio y podría incrementar los niveles efectivos de producción y productividad agrícola (García-Hernández et al., 2018). Sin embargo, esta apuesta por el sector puede poner en riesgo la disponibilidad de recursos hídricos a medio y largo plazo (Bonilla-Moheno et al., 2013; Gómez-Merino y Hernández-Anguiano, 2013). Ante este escenario, surge una necesidad urgente de desarrollar modelos de gestión del agua destinada al riego agrícola orientados a garantizar la sostenibilidad de un sector estratégico para la economía mexicana, incrementando la producción y asegurando el abastecimiento de los recursos hídricos (Komiyama y Takeuchi, 2006; Yarime et al., 2010; Aznar-Sánchez et al., 2020).

En este contexto se ha publicado un número creciente de aportaciones que estudian el uso del agua en la agricultura de México, sin embargo, hasta el momento no existe ningún estudio en el que se hay analizado de manera conjunta estas aportaciones. Por ello, el objetivo de este trabajo es analizar la dinámica que ha seguido la investigación sobre la gestión del agua para uso agrícola en México y su gestión sostenible. La metodología seleccionada para la consecución de este objetivo ha sido el análisis bibliométrico. Y los resultados obtenidos

permitirán identificar a los principales agentes impulsores del conocimiento en este ámbito, así como las líneas de investigación más relevantes.

## **2. Metodología**

### *2.1. Análisis bibliométrico*

Esta metodología fue desarrollada a mediados del siglo pasado, con la finalidad de identificar, organizar y evaluar los elementos constitutivos de un campo de estudio específico (Garfield y Sher, 1963). Actualmente, el análisis bibliométrico se ha convertido en una de las principales herramientas para la revisión de la gran cantidad de literatura existente en cualquier disciplina científica (Huang et al., 2014; Aznar-Sánchez et al., 2018a,2018b). Gran parte de su éxito se debe a la disponibilidad de técnicas cartográficas para representar la información bibliográfica almacenada en las distintas bases de datos, y de métodos estadísticos y matemáticos para determinar las tendencias en un campo de investigación (Albort-Morant et al., 2017; Opejin et al., 2020). Según Durieux y Gevenois (2010), el análisis bibliométrico puede apoyarse en tres tipos distintos de indicadores: indicadores de cantidad, que miden la productividad; indicadores de relevancia, que muestran el impacto de las publicaciones; e indicadores estructurales, que analizan las conexiones entre los diferentes elementos de un mismo campo de investigación. Robinson et al. (2013) distinguen tres enfoques tradicionales para bordar el estudio bibliométrico de la literatura científica: el análisis de co-ocurrencia, la co-citación y el análisis de acoplamiento bibliográfico. En este estudio se analizan los tres tipos de indicadores y se aplica el enfoque tradicional basado en la co-ocurrencia.

### *2.2. Selección de la muestra*

La base de datos Scopus ha sido la elegida para la selección de la muestra de trabajos a analizar en esta revisión. Entre las razones que justifican esta elección estarían que es la mayor base de datos de resúmenes y citas de la literatura revisada por pares, es la más accesible, la que presenta más prestaciones de procesamiento, y es la más utilizada en los estudios bibliométricos sobre agricultura y recursos hídricos (Dias et al., 2019; Figueroa-

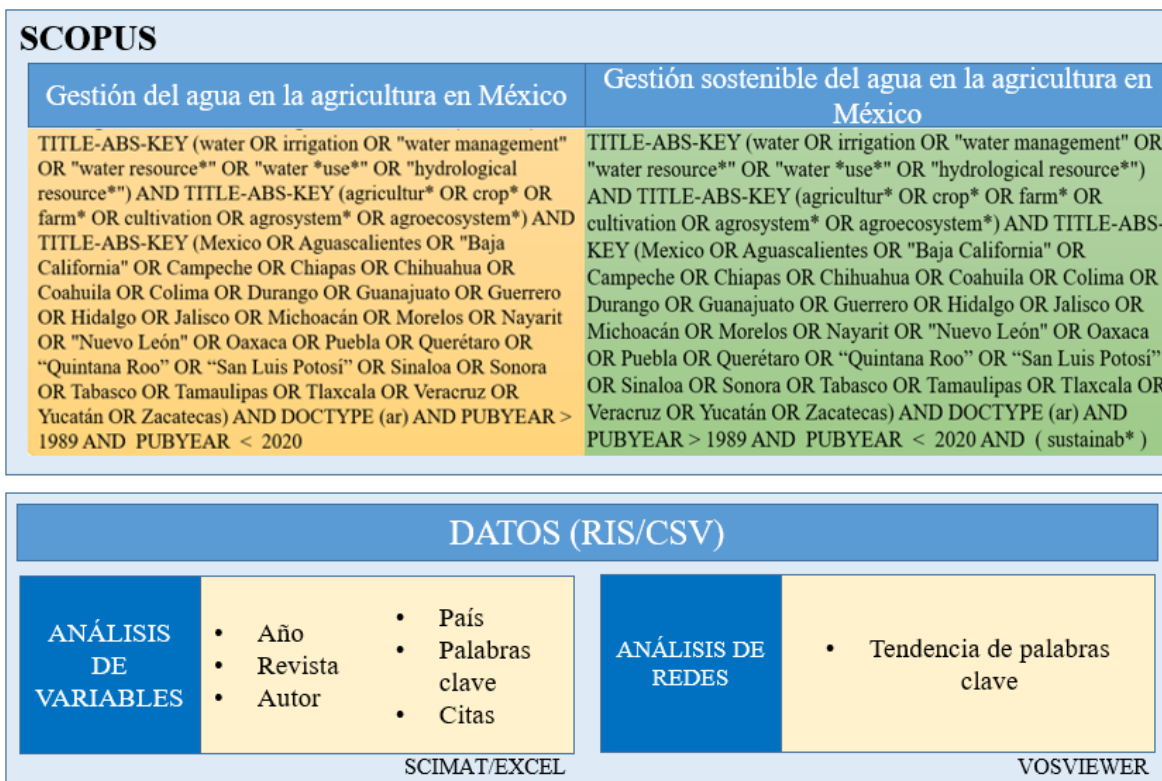
Rodríguez et al., 2019; Kumar et al., 2020). Por lo tanto, esta base de datos fue para la realización de este trabajo se han seleccionado dos muestras de trabajos, una general sobre el uso del agua en la agricultura de México, y otra centrada su gestión sostenible. Ambas búsquedas tuvieron unas restricciones comunes. La búsqueda fue realizada para el período 1990-2019. No se incluyeron los documentos publicados en 2020 para poder comparar períodos anuales completos (Velasco-Muñoz et al., 2019a). A fin de evitar duplicaciones, sólo se incluyeron en la muestra artículos (Ngwenya y Boshoff, 2020). Los parámetros utilizados para la selección de la muestra de documentos sobre el uso del agua en agricultura en México fueron: TITLE-ABS-KEY (water OR irrigation OR "water management" OR "water resource\*" OR "water \*use\*" OR "hydrological resource\*") AND TITLE-ABS-KEY (agricultur\* OR crop\* OR farm\* OR cultivation OR agrosystem\* OR agroecosystem\*) AND TITLE-ABS-KEY (Mexico OR Aguascalientes OR "Baja California" OR Campeche OR Chiapas OR Chihuahua OR Coahuila OR Colima OR Durango OR Guanajuato OR Guerrero OR Hidalgo OR Jalisco OR Michoacán OR Morelos OR Nayarit OR "Nuevo León" OR Oaxaca OR Puebla OR Querétaro OR "Quintana Roo" OR "San Luis Potosí" OR Sinaloa OR Sonora OR Tabasco OR Tamaulipas OR Tlaxcala OR Veracruz OR Yucatán OR Zacatecas). Para obtener la segunda muestra, a los parámetros utilizados en la primera se les añadió: TITLE-ABS-KEY (sustainab\*). Como resultado se obtuvo una muestra final de 1.490 artículos sobre el uso del agua en la agricultura de México, y de 436 artículos para el caso de la gestión sostenible. La selección de la muestra fue realizada en el mes de mayo de 2020.

### *2.3. Procesamiento de datos*

Tras la selección de las muestras de artículos se procedió a la descarga de la información. Previamente a su análisis, los datos fueron preparados. Para ello, se eliminaron duplicaciones, omisiones y errores fueron corregidos y se buscó la información que estaba incompleta (Velasco-Muñoz et al., 2018b). A partir de ahí se comenzó con la fase de análisis. En primer lugar, se analizó la evolución del número de artículos, así como de las áreas temáticas en las que se clasifican los documentos en la base de datos Scopus. Seguidamente, se identificaron las revistas, las instituciones, y los autores que más han publicado sobre la temática objeto de estudio, así como las principales colaboraciones internacionales en la realización de los

trabajos. Como indicador de productividad se utilizó el recuento de trabajos. Para evaluar el impacto de las publicaciones se seleccionaron los siguientes indicadores de calidad: el recuento de citas, el índice H y el factor de impacto de las revistas del SCImago Journal Rank (SJR). El índice H muestra el número h de un total de N documentos que incluyen al menos h citas en cada uno de ellos (Alonso et al., 2009). El SJR muestra una ponderación del número de citas recibidas, teniendo en cuenta el material y el prestigio de la revista en la que se realiza la cita (Falagas et al., 2008). Por último, se usaron técnicas de cartografía para visualizar la red de co-ocurrencia de palabras clave para determinar las tendencias de investigación (Velasco-Muñoz et al., 2019b). Las herramientas utilizadas fueron Excel (versión 2016, Microsoft, Redmond, DC, EE.UU.), SciMaT (v1.1.04, Soft Computing and Intelligent Information Systems research group, Universidad de Granada, Granada, España), y VOSviewer (versión 1.6.5., Universidad de Leiden, Leiden, Países Bajos). En la Figura 1 se muestra una visión general de la metodología aplicada en este estudio.

**Figura 1.** Resumen de la metodología



### **3. Resultados y discusión**

#### *3.1. Evolución general de la investigación sobre gestión del agua en la agricultura en México*

La Tabla 1 muestra la evolución de las principales variables en relación con la investigación sobre gestión del agua en la agricultura en México (GAM) y la gestión sostenible del agua en la agricultura en México (GSAM) en el período 1990-2019. El número total de artículos publicados en este período ha ascendido a 1490, en el caso de la investigación sobre GAM, y a 436 en el de GSAM. La investigación sobre GSAM ha representado un 29,3% de la investigación general sobre GAM. El número de artículos sobre GAM ha pasado de 3 en el año 1990 a 129 en el año 2019. En el caso de los artículos sobre GSAM, en 1990 se publicó un único artículo, mientras que en 2019 esta cifra ascendió a 55. Ambas líneas de investigación han ido ganando importancia en los últimos años, pues el 63,6% de los artículos sobre GAM y el 73,8% sobre GSAM se han publicado en los últimos diez años. A partir del año 2000 se puede encontrar un punto de inflexión, en el que la investigación sobre GSAM empezó a ganar relevancia dentro de la investigación sobre GAM. Figure 2 muestra la tasa de variación anual del número de artículos publicados en ambas líneas de investigación, tomando como referencia el primer año del periodo analizado. El crecimiento medio anual de los artículos sobre GSAM fue del 14,8%, mientras que el de los artículos sobre GAM fue de 13,9%. Tal y como se puede comprobar en la figura, la investigación sobre GAM ha tenido un crecimiento mayor en casi todo el periodo analizado hasta el año 2016, cuando esta tendencia se revierte. Esto permite afirmar que la línea sobre GSAM está ganando relevancia dentro de la investigación general sobre GAM en los últimos años.

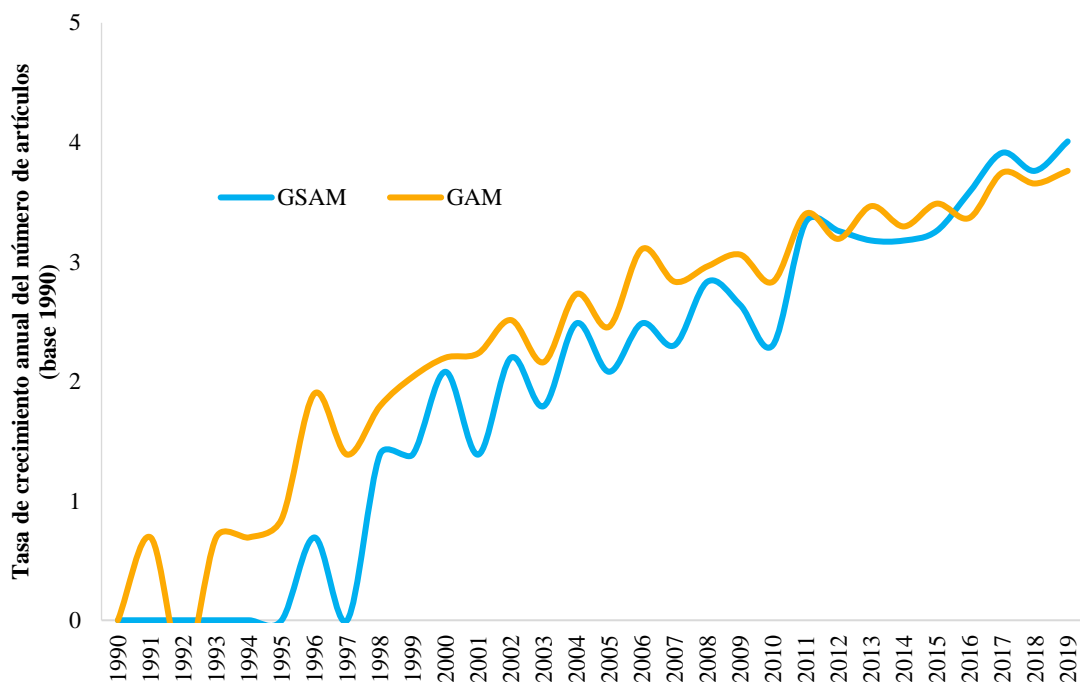
Durante todo el periodo analizado, un total de 5.314 autores han participado en los 1.490 artículos sobre GAM. En el caso de la investigación sobre GSAM, 1.759 autores han colaborado en los 436 artículos publicados sobre esta temática. En ambos casos, esta variable ha experimentado un gran crecimiento. Concretamente, el número de autores ha pasado de 7 en 1990 a 651 en 2019 en el caso de la investigación sobre GAM, y de 1 a 295 en el caso de la investigación sobre GSAM. El promedio de autores por artículo ha aumentado de 2,3 a 5,0 en la investigación sobre GAM, y de 1 a 5,3 en el de GSAM. En total, los 1490 artículos sobre GAM se han publicado en 541 revistas diferentes, mientras que los 436 artículos sobre



GSAM se han publicado en 226 revistas. El número medio de artículos por revista se ha mantenido prácticamente constante durante todo el periodo en torno a 1 en el caso de la investigación sobre GSAM y 1,2 en el caso de la investigación sobre GAM. En cuanto a los países que han participado en la elaboración de los artículos, durante todo el periodo analizado se han contabilizado un total de 54 para GAM y 35 para GSAM. El número de países ha pasado de 3 a 25 para GAM y de 1 a 14 para GSAM.

En el caso de las citas, el conjunto de trabajos sobre GAM ha obtenido un total de 20.874 citas en todo el periodo analizado, mientras que en el caso de GSAM esta cifra ha sido de 5.229. Las citas sobre GSAM representan en torno al 25% de las citas totales obtenidas en la temática general. El número de citas ha pasado de 1 en 1992 para ambas líneas de investigación, a 2.782 y 833 en 2019 para los artículos sobre GAM y SWMM respectivamente. El número medio de citas obtenidas por artículo ha pasado de 0,1 a 14,1 en la investigación sobre GAM, y de 0,5 a 12,2 en el caso de GSAM.

**Figura 2.** Comparación de las tendencias en la investigación sobre GSAM y GAM



**Tabla 1.** Principales características de la investigación sobre la gestión del agua en la agricultura en México (GAM) y la gestión sostenible del agua en la agricultura en México (GSAM)

Año	A		AU		J		C		TC		TC/CA	
	GSAM	GAM	GSAM	GAM	GSAM	GAM	GSAM	GAM	GSAM	GAM	GSAM	GAM
1990	1	3	1	7	1	3	1	3	0	0	0,0	0,0
1991	1	6	1	21	1	6	1	3	0	0	0,0	0,0
1992	0	2	0	7	0	2	0	3	1	1	0,5	0,1
1993	1	6	1	13	1	5	1	3	0	1	0,3	0,1
1994	0	6	0	20	0	6	0	4	2	4	1,0	0,3
1995	0	7	0	13	0	6	0	1	0	12	1,0	0,6
1996	2	20	7	60	2	18	3	9	0	19	0,6	0,7
1997	1	12	4	46	1	11	1	3	0	31	0,5	1,1
1998	4	18	11	64	4	17	1	5	7	71	1,0	1,7
1999	4	23	16	81	4	22	2	6	11	78	1,5	2,1
2000	8	27	25	92	7	26	4	7	13	104	1,5	2,5
2001	4	28	22	110	4	21	5	6	14	117	1,8	2,8
2002	9	37	22	136	7	29	5	12	21	164	2,0	3,1
2003	6	26	17	89	5	20	4	7	31	197	2,4	3,6
2004	12	46	48	174	10	33	9	13	43	225	2,7	3,8
2005	8	35	32	145	7	30	4	10	49	300	3,1	4,4
2006	12	67	41	293	11	56	4	10	68	379	3,6	4,6
2007	10	51	38	240	9	37	7	12	106	585	4,4	5,4
2008	17	58	67	259	15	49	4	10	119	652	4,9	6,2
2009	14	64	63	275	11	52	8	18	203	812	6,0	6,9
2010	10	51	48	242	9	41	3	9	178	889	7,0	7,8
2011	28	90	111	380	22	60	9	14	235	1023	7,2	8,3
2012	26	73	106	312	24	60	11	18	271	1210	7,7	9,1
2013	24	96	109	422	21	67	8	20	365	1334	8,6	9,6
2014	24	81	104	413	22	63	7	21	431	1617	9,6	10,5
2015	26	98	121	490	24	75	10	21	453	1789	10,4	11,3
2016	36	87	161	412	30	69	13	15	512	1941	10,9	12,1
2017	50	127	236	601	43	86	13	21	564	2107	10,9	12,6
2018	43	116	315	676	34	73	9	14	699	2430	11,5	13,3
2019	55	129	295	651	45	95	14	25	833	2782	12,2	14,1

A: El número anual de artículos totales; AU: el número anual de autores; J: el número anual de revistas; C: el número anual de países; TC: el número anual de citas en artículos acumulados; TC/CA: total anual de citas por artículo acumulado

### *3.2. Evolución de la investigación por áreas temáticas*

La Tabla 2 muestra el número de artículos publicados durante todo el periodo analizado en ambas líneas de investigación, clasificados en función de las categorías temáticas establecidas por Scopus. Es necesario tener en cuenta que el mismo artículo puede estar clasificado en más de una categoría al mismo tiempo. Como se puede comprobar, en ambas líneas de investigación, las categorías con mayor número de artículos son Ciencias Ambientales, Ciencias Agrícolas y Biológicas y Ciencias de la Tierra y Planetarias. En el período 1990-2019, se publicaron un 54,4% de los artículos sobre GAM bajo la categoría Ciencias Ambientales, un 49,6% en la categoría Ciencias Agrícolas y Biológicas y un 16,3% en la de Ciencias de la Tierra y Planetarias. En el caso de la investigación sobre GSAM, estos porcentajes suponen el 62,2%, 47,5%, y 15,1% respectivamente. En general, en ambas líneas de investigación, predominan las categorías relacionadas con los ámbitos ambiental y técnico.

La sostenibilidad abarca tres ámbitos: ambiental, económico y social. En el caso de la investigación sobre GSAM se encuentran porcentajes más altos en las categorías de los ámbitos social y económico, mostrando la mayor importancia que estas áreas tienen en esta línea de investigación. En concreto, la categoría Ciencias Sociales representa un 14,7% en el caso de GSAM, mientras que es de tan solo un 8,1% en GAM. En cuanto a las categorías de tipo económico (Economía, Econometría y Finanzas, y Empresa, Gestión y Contabilidad) representan un 4,2% en el caso de GSAM, y solo un 1,9% en el caso de la investigación sobre GAM. Así pues, a pesar de que los ámbitos social y económico tienen una mayor relevancia en el caso de la investigación vinculada a la sostenibilidad, el carácter aún incipiente de esta línea hace que aún no hayan alcanzado valores similares a los de la rama ambiental. Por tanto, aún es necesario ampliar las investigaciones desde los ámbitos social y económico, así como las de carácter holístico que tengan en cuenta los tres ámbitos de la sostenibilidad conjuntamente.

**Tabla 2.** Número de artículos publicados por categoría temática

<b>GAM</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>	<b>GSAM</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>
Ciencias Ambientales	810	54,4	Ciencias Ambientales	271	62,2
Ciencias Agrícolas y Biológicas	724	49,6	Ciencias Agrícolas y Biológicas	207	47,5
Ciencias de la Tierra y Planetarias	243	16,3	Ciencias de la Tierra y Planetarias	66	15,1
Ingeniería	144	10,7	Ciencias Sociales	64	14,7
Bioquímica, Genética y Biología Molecular	123	8,3	Ingeniería	45	10,3
Ciencias Sociales	121	8,1	Bioquímica, Genética y Biología Molecular	39	9,9
Medicina	79	5,3	Energía	28	6,4
Inmunología y microbiología	62	4,2	Ingeniería Química	11	2,5
Farmacología, Toxicología y Farmacia	60	4,0	Medicina	11	2,5
...			...		
Empresa, Administración y Contabilidad	15	1,0	Empresa, Administración y Contabilidad	9	2,1
Economía, Econometría y Finanzas	13	0,9	Economía, Econometría y Finanzas	9	2,1

### 3.3. *Revistas más relevantes*

Las Tablas 3 y 4 muestran las revistas más prolíficas sobre GAM y GSAM en el período 1990-2019, y las principales características de sus artículos. Si comparamos ambas tablas, podemos observar que sólo cinco revistas han publicado sobre ambas temáticas (Tecnología y Ciencias del Agua, Agrociencia, Revista Internacional de Contaminación Ambiental, Science of the Total Environment, and Soil and Tillage Research). Además, en ambos casos la revista con mayor número de artículos publicados es Tecnología y Ciencias del Agua. Si analizamos la Tabla 3, encontramos que las principales revistas en el caso de la investigación sobre GAM pertenecen a 5 países diferentes, tres son europeos (Reino Unido, España y Países Bajos) y dos americanos (México y USA). En total, este grupo de revistas ha publicado 336 artículos dentro de la muestra, que representan un 22,6% del total. Estos datos nos permiten confirmar que no existe un núcleo central de revistas que lidere esta línea de publicación. Tecnología y Ciencias del Agua, con un total de 102 artículos, es la revista que más artículos ha publicado sobre GAM. Esta revista tiene un índice H de 6, un total de 165 citas y una media de 1,6 citas por artículo. Además, cuenta con un factor de impacto del Scimago Journal Rank (SJR) de 0.195, y lleva publicando sobre GAM desde el año 2000. Le siguen, con casi la mitad de artículos, las revistas Agrociencia y Revista Internacional de

Contaminación Ambiental, que cuentan con un total de 46 artículos cada una. Agrociencia tiene un índice H de 7, un total de 155 citas y 3,4 citas por artículo, y su factor de impacto SJR es de 0.181. Por su parte, Revista Internacional de Contaminación Ambiental presenta un índice H de 8, un total de 211 citas, una media de citas por artículo de 4,6, y un SJR de 0.190. La revista Soil and Tillage Research, a pesar de haber publicado tan sólo 16 artículos sobre esta temática, cuenta con el mayor índice H de toda la tabla (12). Además, tiene los valores más altos del total de citas y promedio de citas por artículo, con 557 y 34,8, respectivamente. La revista más veterana es Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, ya que publicó su primer artículo sobre esta temática en 1993 y continúa en la actualidad publicando en esta línea de investigación.

**Tabla 3.** Principales características de las revistas más prolíficas relacionadas con la investigación de la GAM

Revista	A	SJR	Índice H	C	TC	TC/A	1st A	Last A
Tecnología y Ciencias del Agua*	102	0.195(Q3)	6	México	165	1,6	2000	2019
Agrociencia	46	0.181(Q3)	7	México	155	3,4	2004	2019
Revista Internacional de Contaminación Ambiental	46	0.190(Q4)	8	México	211	4,6	1998	2019
Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology	24	0.515(Q2)	11	USA	306	12,8	1993	2019
Water Science and Technology	20	0.471(Q2)	11	Reino Unido	341	17,1	1995	2016
Investigaciones Geográficas	18	0.190(Q3)	4	España	48	2,7	2004	2017
Agricultural Water Management	16	1.369(Q1)	10	Holanda	289	18,1	1999	2018
Environmental Monitoring and Assessment	16	0.571(Q2)	9	Holanda	144	9,0	2000	2019
Science of the Total Environment	16	1.661(Q1)	9	Holanda	295	18,4	2006	2019
Soil and Tillage Research	16	1.791(Q1)	12	Holanda	557	34,8	2000	2018
Wit Transactions on Ecology and the Environment	16	0.142(Q4)	2	Reino Unido	14	0,9	2006	2019

A: el número anual de artículos totales; SJR: Scimago Journal Ranking; C: país; TC: el número anual de citas en el total de artículos; TC/A: total de citas por artículo; 1st A: primer artículo de investigación de GAM por revista; Last A: último artículo

\*Incluye Ingeniería Hidráulica en México. Esta revista cambia de nombre en 2009. En 2010 es Tecnología y Ciencias del Agua

Por su parte, si analizamos la investigación sobre GSAM, encontramos que las principales revistas pertenecen sólo a 4 países, tres europeos (Países Bajos, Suiza y Alemania) y México. En este caso, el total de artículos publicados por estas revistas durante el periodo analizado representan un 26,6% del total. Tecnología y Ciencias del Agua también es la revista con el mayor número de artículos publicados, con un total de 29. Además, esta revista presenta un índice H de 3, un total de 48 citas, una media de 1,7 citas por artículo. Esta revista comenzó

a publicar sobre GAM en el año 2000 mientras que sobre GSAM lo hizo en el año 2004. La Revista Internacional de Contaminación Ambiental es la segunda con mayor número de artículos, con un total de 12. Tiene un índice H de 4 y 38 citas en total. Esta revista ha obtenido 3,2 citas por artículo. Esta revista comenzó a publicar sobre GAM en 1998, mientras que el primer artículo sobre GSAM lo publicó en 2011. Las revistas Soil and Tillage Research y Water, le siguen con 11 artículos cada una. Soil and Tillage Research cuenta con el mayor índice H del grupo (10) y también el mayor número promedio de citas por artículo (43,4 citas por artículo). En el caso de Water, su índice H es de 4, tiene un total de 39 citas y una media de 3,5 citas por artículo. En la investigación sobre GSAM, la revista más veterana de la tabla es Agriculture, Ecosystems and Environment, que publicó su primer artículo sobre esta temática en 1991, aunque sólo ha publicado un total de 7 artículos.

**Tabla 4.** Principales características de las revistas más prolíficas relacionadas con la investigación de la GSAM

Revista	A	SJR	Índice H	C	TC	TC/A	1st A	Last A
Tecnología y Ciencias del Agua*	29	0.195(Q3)	3	México	48	1,7	2004	2019
Revista Internacional de Contaminacion Ambiental	12	0.190(Q4)	4	México	38	3,2	2011	2018
Soil and Tillage Research	11	1.791(Q1)	10	Holanda	477	43,4	2000	2018
Water	11	0.657(Q1)	4	Suiza	39	3,5	2012	2019
Agrociencia	10	0.181(Q3)	2	México	13	1,3	2007	2019
Sustainability	8	0.581(Q2)	3	Suiza	21	2,6	2015	2019
Agriculture Ecosystems and Environment	7	1.719(Q1)	6	Holanda	235	33,6	1991	2018
Ecological Engineering	7	1.122(Q1)	4	Holanda	37	5,3	2013	2019
Environmental Earth Sciences	7	0.604(Q2)	5	Alemania	50	7,1	2010	2019
Field Crops Research	7	1.767(Q1)	5	Holanda	349	49,9	2002	2018
Science of the Total Environment	7	1.661(Q1)	5	Holanda	45	6,4	2012	2019

A: el número anual de artículos totales; SJR: Scimago Journal Ranking; C: país; TC: el número anual de citas en el total de artículos; TC/A: total de citas por artículo; 1st A: primer artículo de investigación de GSAM por revista; Last A: último artículo

\*Incluye Ingeniería Hidráulica en México. Esta revista cambia de nombre en 2009. En 2010 es Tecnología y Ciencias del Agua

### 3.4. Colaboración internacional

La Tabla 5 muestra los resultados del análisis de las redes de colaboración establecidas entre México y sus principales colaboradores en la investigación sobre GAM and GSAM. El porcentaje promedio de trabajos realizados mediante colaboración internacional es más alto

en la investigación sobre GSAM que, en el caso de la GAM, con un 41,3% y 35,5% respectivamente. Estas diferencias vendrían explicadas porque la investigación sobre sostenibilidad es considerada más multidisciplinar y, por tanto, más colaborativa. En la tabla se muestran también los principales colaboradores internacionales en ambos casos, siendo la mayoría de ellos comunes. Si se analizan las diferencias, en el caso de la investigación sobre GAM encontramos Italia y Chile en el grupo de principales colaboradores, mientras que en el caso de la investigación sobre GSAM se incorpora Arabia Saudí. Siete de los principales colaboradores en el caso de la investigación sobre GSAM, se encuentran entre los países más prolíficos en la investigación a nivel mundial sobre GSAM (USA, España, Alemania, Francia, Australia, Reino Unido y Países Bajos) (Velasco-Muñoz et al., 2018b). Destaca el hecho de que siendo China el país más importante en la investigación a nivel mundial sobre GSAM, no aparezca entre los colaboradores más importantes en el caso de la investigación sobre México. En cuanto al número de citas, los artículos realizados a través de colaboración internacional presentan una media mayor en ambas líneas de investigación que los artículos realizados sin colaboración internacional.

**Tabla 5.** Principales características de la colaboración internacional de México relacionada con la investigación de la GAM y la GSAM

	IC (%)	NC	Principales colaboradores	TC/A	
				IC	NIC
GAM	35,5	59	USA, España, Alemania, Francia, Canadá, Reino Unido, Australia, Bélgica, Italia, Chile, Holanda	22,7	9,2
GSAM	41,3	36	USA, España, Alemania, Canadá, Francia, Bélgica, Australia, Reino Unido, Holanda, Arabia Saudí	19,7	6,6

IC: colaboraciones internacionales; NC: número total de colaboradores internacionales; TC/A: total de citas por artículo; NIC: no hay colaboraciones internacionales

### 3.5. Instituciones más relevantes

Las Tablas 6 y 7 muestran las instituciones más prolíficas sobre GAM and GSAM en el periodo 1990-2019, y las principales características de sus artículos. En ambos casos todas las instituciones pertenecen a México, menos la University of Arizona de USA. La mayor parte de las instituciones han publicado en ambas líneas de investigación a excepción de Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Universidad Autónoma de Chapingo,

Universidad de Sonora, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, y Tecnológico de Monterrey.

En la investigación sobre GAM, en el primer puesto está la Universidad Nacional Autónoma de México con 338 artículos, que tiene el mayor número total citas con 5.723 citas, una media de 16,9 citas por artículo y un índice H de 40. A continuación está el Colegio de Postgraduados con 122 artículos, 1.378 citas en total, una media de 11,3 citas por artículo y un índice H de 14. Le sigue el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias con 117 artículos, un total de 1.118 citas, un promedio de 9,6 citas por artículo y un índice H de 15. El Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, que ocupa la quinta posición en número de artículos con un total de 74, es la institución con el mayor número promedio de citas por artículo con 61,9. Además, cuenta con un número total de citas de 4.583, y un índice H de 36. Con respecto a la colaboración internacional de estas instituciones, la media de artículos llevados a cabo mediante colaboración es de 39,1%. En este sentido, la University of Arizona muestra un 100% de colaboración, dado que el conjunto de la muestra ha contado con la participación de alguna institución mexicana. El Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, con un 82,4%, es la institución mexicana con mayor porcentaje de colaboración internacional. El número medio de citas en los artículos escritos mediante colaboración internacional fue de 20,7, mientras que para el resto de artículos fue de 12,3.

**Tabla 6.** Principales características de las instituciones más activas relacionadas con la investigación de la GAM

Institución	C	A	TC	TC/	Índice	IC	TC/A	
				A	H	(%)	IC	NIC
Universidad Nacional Autónoma de México	México	33	5723	16,9	40	28,4	23,6	14,3
Colegio de Postgraduados	México	12	1378	11,3	14	26,2	32,7	3,7
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales,	México	11	1118	9,6	15	33,3	20,1	4,3
Instituto Politécnico Nacional	México	97	877	9,0	17	18,6	12,9	8,2
Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo	México	74	4583	61,9	36	82,4	61,3	64,8
Centro de Investigaciones Biológicas Del Noroeste	México	65	732	11,3	16	24,6	8,4	12,2
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	México	64	363	5,7	13	23,4	3,7	6,3
Universidad Autónoma de Chapingo	México	60	347	5,8	9	25,0	12,8	3,4
Universidad de Sonora	México	49	530	10,8	15	30,6	12,3	10,1



Institución	C	A	TC	TC/A	Índice H	IC (%)	TC/A IC	NIC
University of Arizona	USA	48	992	20,7	16	100,0	20,7	0,0
Instituto de Ecología, A.C.	México	48	577	12,0	14	37,5	18,9	7,9

C: país; A: el número anual de artículos totales; TC: el número anual de citas en el total de artículos; TC/A: total de citas por artículo; IC: colaboraciones internacionales; NIC: no hay colaboraciones internacionales

En el caso de la investigación sobre GSAM, el primer puesto también lo ocupa la Universidad Nacional Autónoma de México con 82 artículos. Además, tiene un índice H de 17 y un total de 969 citas. La segunda institución con mayor número de artículos es el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo con 32 artículos. Esta institución cuenta con 1.337 citas, y el mayor índice H del grupo con 22. Esta institución cuenta también con el mayor promedio de citas por artículo (41,8). A continuación, se sitúa el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, que cuenta con 29 artículos, 436 citas y un índice H de 9. El número medio de citas de los artículos escritos mediante colaboración internacional en este grupo de instituciones fue de 17,8, frente a las 7,7 del resto.

**Tabla 7.** Principales características de las instituciones más activas relacionadas con la investigación de GSAM

Institución	C	A	TC	TC/A	Índice H	IC (%)	TC/A	
							IC	NIC
Universidad Nacional Autónoma de México	México	82	969	11,8	17	29,3	10,9	12,2
Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo	México	32	1337	41,8	22	81,3	43,8	33,2
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias	México	29	436	15,0	9	48,3	23,4	7,3
Colegio de Postgraduados	México	28	304	10,9	6	35,7	26,2	2,3
Instituto Politécnico Nacional	México	27	184	6,8	9	18,5	4,6	7,3
University of Arizona	USA	23	383	16,7	10	100,0	16,7	0,0
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	México	22	71	3,2	4	31,8	4,7	2,5
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	México	19	153	8,1	7	42,1	15,0	3,0
Instituto de Ecología, A.C.	México	18	183	10,2	8	33,3	15,8	7,3
Tecnológico de Monterrey	México	17	155	9,1	7	47,1	16,8	2,3

C: país; A: el número anual de artículos totales; TC: el número anual de citas en el total de artículos; TC/A: total de citas por artículo; IC: colaboraciones internacionales; NIC: no hay colaboraciones internacionales

### 3.6. Autores más relevantes

Las Tablas 8 y 9 incluyen los autores más productivos en la investigación sobre GAM y GSAM, y muestran las características más destacadas de sus artículos. En general, estos grupos de autores se encuentran afiliados a nueve instituciones distintas de tres países. Como cabía esperar, la mayoría de los autores están afiliados a una institución mexicana, de manera que solo hay dos autores afiliados a una entidad de USA y otro a una de Bélgica. La mayoría de los autores ha publicado en ambas líneas de investigación. En el caso de la investigación sobre GAM, el autor con mayor número de artículos es Federico Páez-Osuna, con un total de 28. Este autor es, además, el que más tiempo lleva publicando sobre esta temática, pues su primer artículo se publicó en 1993, y continúa publicando actualmente. Sus artículos han recibido un total de 753 citas, un promedio de citas por artículo de 26,9, y cuenta con índice H de 15. Le sigue Christina D. Siebe con 26 artículos. Tiene además un total de 807 citas, 31,1 citas por artículo y un índice H de 16. A continuación, encontramos a Bram Govaerts con 19 artículos. Este autor acumula 675 citas, lo que hace un promedio de 35,5 citas por artículo y tiene un índice H de 13. Este autor es el único que no pertenece a una institución mexicana. Por su parte, Matthew P. Reynolds es el autor que cuenta con el mayor número de citas totales, con 1.723, y el mayor promedio de citas por artículo, con 95,7.

**Tabla 8.** Principales características de los autores más activos relacionados con la investigación de la GAM

Autor	A	TC	TC/A	Índice H	C	Afiliación	1st A	Last A
Páez-Osuna, Federico	28	753	26,9	15	México	Universidad Nacional Autónoma de México	1993	2019
Siebe, Christina D.	26	807	31,1	16	México	Universidad Nacional Autónoma de México	1995	2019
Govaerts, Bram	19	675	35,5	13	USA	Cornell University	2006	2018
Dendooven, Luc	18	529	29,4	13	México	Centro de Investigación y de Estudios Avanzados	2002	2019
Reynolds, Matthew P.	18	1723	95,7	16	México	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo	1996	2016
Verhulst, Nele	15	303	20,2	9	México	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo	2011	2019
Ruiz-Fernández, Ana C.	14	496	35,4	11	México	Universidad Nacional Autónoma de México	1997	2016

Autor	A	TC	TC/A	Índice H	C	Afiliación	1st A	Last A
Sayre, Kenneth D.	14	1195	85,4	14	México	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo	1998	2012
López-López, Eugenia	13	227	17,5	8	México	Instituto Politécnico Nacional	1998	2018
Mahlknecht, Jürgen	13	340	26,2	9	México	Tecnológico de Monterrey	2004	2019

A: el número anual de artículos totales; TC: número total de citas en el total de artículos; TC/A: total de citas por artículo; C: país

En la investigación sobre GSAM, encontramos que el autor más prolífico, con 17 artículos, es Bram Govaerts. Además, este autor cuenta con el mayor número de citas, con un total de 650, y el índice H más alto (12). El promedio de citas por artículos de este autor es mayor en el caso de la investigación sobre GSAM que en la investigación general (38,2 y 35,5, respectivamente). A continuación, encontramos a Nele Verhulst con 13 artículos. Este autor tiene un total de 278 citas y un índice H de 8. La media de citas por artículo que ha obtenido este autor en el caso de la investigación sobre GSAM es de 21,4, frente a 20,2 de la investigación general. Le sigue José María Ponce-Ortega con 11 artículos. Este autor acumula 116 citas, tiene un promedio de 10,5 citas por artículo, y un índice H de 6. Jozef A. Deckers, afiliado a una institución de Bélgica, es el autor que cuenta con el mayor promedio de citas por artículo (75,3). Por su parte, el autor más veterano es también en este caso Federico Páez-Osuna, que comenzó a publicar sobre GSAM en 1998 y lo sigue haciendo actualmente.

**Tabla 9.** Principales características de los autores más activos relacionados con la investigación de la GSAM

Autor	A	TC	TC/A	Índice H	C	Afiliación	1st A	Last A
Govaerts, Bram	17	650	38,2	12	USA	Cornell University	2006	2018
Verhulst, Nele	13	278	21,4	8	México	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo	2011	2019
Ponce-Ortega, José María	11	116	10,5	6	México	Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	2012	2019
Sayre, Kenneth D.	9	535	59,4	9	México	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo	2006	2012
Páez-Osuna, Federico	7	189	27,0	6	México	Universidad Nacional Autónoma de México	1998	2019

Autor	A	TC	TC/ A	Índice H	C	Afiliación	1st A	Last A
Siebe, Christina D.	7	149	21,3	5	México	Universidad Nacional Autónoma de México	2012	2019
Deckers, Jozef A.	6	452	75,3	6	Bélgica	University of Leuven	2006	2011
Dendooven, Luc	6	221	36,8	5	México	Centro de Investigación y de Estudios Avanzados	2009	2019
El-Halwagi, Mahmoud M.	6	109	18,2	5	USA	Texas A&M University	2012	2017
Mahlknecht, Jürgen	6	80	13,3	5	México	Tecnológico de Monterrey	2008	2019

A: el número anual de artículos totales; TC: número total de citas en el total de artículos; TC/A: total de citas por artículo; C: país

### 3.7. Análisis de palabras clave

Las Figuras 3 y 4 muestran los mapas de las redes de palabras clave en las distintas líneas de investigación sobre GAM y GSAM. El tamaño del círculo varía en función del número de veces que el término ha sido utilizado, mientras que el color representa el grupo en el que se incluye la palabra clave según el número de co-ocurrencias.

Como era de esperar, en la Figura 3 se pueden encontrar gran número de clústeres diferentes (un total de 9), reflejando la diversidad de temáticas dentro de la investigación general. El cluster rojo se centra en la contaminación de las masas de agua. En México, más de la mitad de las aguas residuales no reciben ningún tratamiento (Robledo-Zacarías et al., 2017). El vertido incontrolado de aguas reutilizadas sin tratamiento puede generar efectos negativos derivados de la contaminación de las masas de agua y los suelos agrícolas (Gilabert-Alarcón et al., 2018). Pérez-Castresana et al. (2018) determinaron, por ejemplo, que el agua del río Atoyac, del que dependen en gran medida las actividades agrícolas de la zona de Puebla, ha visto mermada su calidad debido al vertido de grandes cantidades de aguas residuales mal tratadas. Por su parte, la aplicación de fertilizantes también ha demostrado ser una causa de contaminación del agua y de los suelos agrícolas (Rodríguez-Aguilar et al., 2019). García-Hernández et al. (2018) analizaron la investigación sobre el efecto del uso de plaguicidas en México, demostrando que han causado impactos negativos sobre los ecosistemas terrestres y costeros, así como sobre la salud de los trabajadores agrícolas y sus familias.

El cluster verde se centra en los efectos del cambio climático sobre la disponibilidad y gestión del agua. Hernández-Bedolla et al. (2017) desarrollaron índices para evaluar la disponibilidad de agua bajo diferentes escenarios, concluyendo que los principales factores que afectan a su disponibilidad son la disminución de las precipitaciones y las altas temperaturas. Un estudio sobre los posibles efectos del cambio climático en la cuenca del río Guadalupe, en el norte de México, mostró que la esorrentía del mismo puede reducirse entre un 45 y un 60%, mientras que la recarga de las aguas subterráneas puede disminuir hasta 74% (Molina-Navarro et al., 2016). La escasez de recursos hídricos como consecuencia de los efectos del cambio climático pone en peligro la supervivencia del sector agrícola y, por consiguiente, la capacidad de alimentar a la población. Por ejemplo, en México se estima que la producción de trigo, que actualmente asciende a entorno 3,3 millones de toneladas, disminuirá como consecuencia del cambio climático (Hernández-Ochoa et al., 2019).

El cluster azul se centra en la calidad del agua ya que la extensión de determinadas actividades antropogénicas está provocando que los recursos hídricos se vean sometidos a un proceso de contaminación. Esto puede generar problemas de abastecimiento de agua adecuada para consumo humano, así como para riego agrícola. De Oca et al. (2019) determinaron que los cambios en la composición fisicoquímica derivada de las acciones humanas y los cambios en los usos de la tierra han dado lugar a una disminución de los nutrientes esenciales del agua, lo que puede impactar sobre la salud de los consumidores. En el ámbito agrícola, Saldaña-Robles et al. (2018) concluyeron que el riego con agua contaminada con arsénico hace que éste se acumule en el suelo y se incremente su concentración en los cultivos, afectando a su crecimiento y rendimiento.

El cluster amarillo se centra en el uso de sensores remotos e imágenes procedentes de satélites para estimar los rendimientos y el consumo de agua de los cultivos. Por ejemplo, estas tecnologías se utilizan para calcular la evapotranspiración de los cultivos de maíz forrajero, lo que permite planificar de forma más eficiente el uso de los recursos hídricos, especialmente en aquellas zonas áridas y semiáridas, donde el agua se presenta como un factor limitante para la producción agrícola (Reyes-González et al., 2019). Reyes-González et al. (2018) desarrollaron mapas de evapotranspiración a partir de índices de vegetación multiespectral de detección remota para cuantificar el consumo de agua de los cultivos en función de su

etapa de crecimiento. López-Hernández et al. (2019) mostraron que la determinación de la productividad a través de la evapotranspiración puede ayudar a aumentar los rendimientos de los cultivos, ya que permite aplicar el riego de forma eficiente en función de sus necesidades. Palacios-Vélez et al. (2019) utilizaron las imágenes de satélite para estimar el Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) y la evapotranspiración con el objetivo de llevar a cabo una estimación anticipada del rendimiento del cultivo de trigo.

El cluster morado se centra en la investigación sobre los efectos que los cambios en los usos de la tierra y la contaminación pueden generar sobre la biodiversidad y la conservación de los espacios naturales y las masas de agua. La pérdida de pastizales provocada por la expansión de las tierras de cultivo de regadío está poniendo en peligro la supervivencia de numerosas especies al transformar su hábitat (Pool et al., 2014). Andrade-Herrera et al. (2019) concluyeron que la intensificación de la actividad agrícola y el mayor uso de plaguicidas ha supuesto una pérdida de biodiversidad como consecuencia de la contaminación de los suelos. Vanderplank et al. (2014) determinaron que la intrusión de agua salada en los acuíferos como consecuencia de la extracción insostenible, principalmente para riego agrícola, ha provocado efectos indirectos en los ecosistemas adyacentes, provocando la pérdida de más de una veintena de plantas nativas en el valle de San Quintín.

El cluster celeste se centra en la erosión, que es una de las principales causas de degradación del suelo, y que depende de numerosos factores como la tipología del terreno y del suelo, el uso que se hace de la tierra o el clima (Estrada-Herrera et al., 2017). Silva-García et al. (2017) realizaron un estudio para determinar la pérdida de suelo como consecuencia de la erosión hídrica en la cuenca del lago de Chapala, concluyendo que se produce principalmente en los cultivos estacionales y que la materia orgánica es el componente que sufre mayores pérdidas. Por su parte, López-Santos et al. (2017) determinaron que el desarrollo de acciones para controlar la erosión del suelo, tales como la correcta gestión del agua de lluvia o la incorporación de materia orgánica, es aún limitada entre los agricultores.

El cluster marrón muestra una línea de investigación que tiene como base dos cultivos que son fundamentales en la dieta mexicana: el maíz (*Zea mays*) y el trigo (*Triticum aestivum*) (Sosa-Baldivia et al., 2017). En esta línea de investigación se estudian determinadas prácticas agronómicas que pueden mejorar la eficiencia en el uso del agua y reducir la contaminación

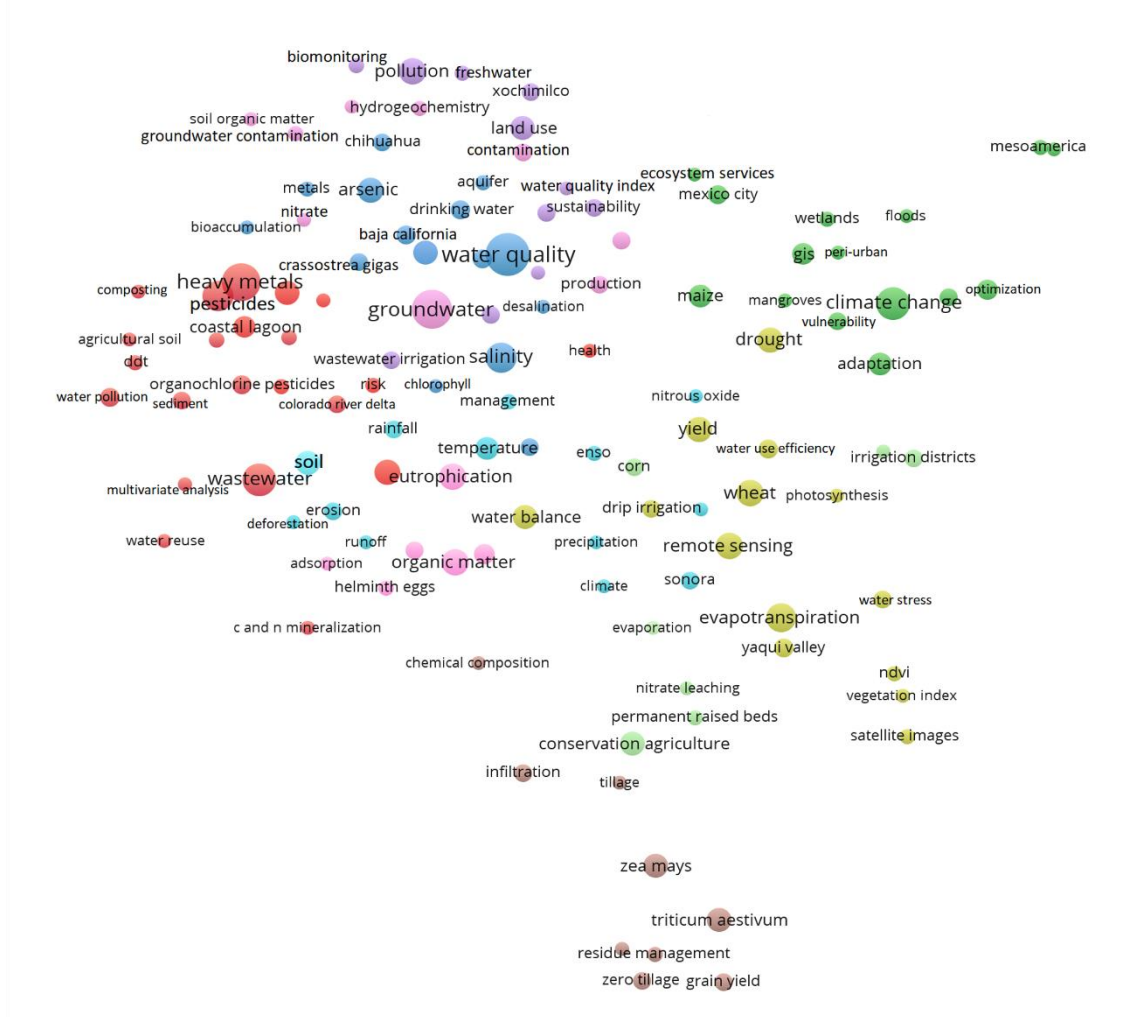
de la misma. Paquini-Rodríguez et al. (2016) realizaron un ensayo con variedades de trigo en diferentes escenarios y determinaron que utilizando una menor cantidad de agua podrían obtenerse los mismos rendimientos. Honsdorf et al. (2018) llevaron a cabo un estudio con trigo bajo distintos entornos agronómicos, labranza convencional y lechos elevados permanentes, para determinar la importancia de la labranza en los cultivos. Rangel-Fajardo et al. (2019) analizaron veinticinco variedades de maíz con el objetivo de identificar su tolerancia al estrés hídrico durante la germinación. Grahmann et al. (2018) determinaron que es necesario promover prácticas que reduzcan la contaminación por nitratos, pues los resultados de su estudio mostraron que el 19% del nitrato aplicado en un cultivo de trigo y el 34% en un cultivo de maíz se perdía por lixiviación.

El clúster rosa se centra en las aguas subterráneas. Gran parte del territorio mexicano es árido o semiárido, lo que ha hecho que muchas zonas dependan en gran medida de fuentes de agua subterránea que están sometidas a sobreexplotación. Por ello, se hace necesario llevar a cabo acciones que permitan controlar y revertir esta situación. Por ejemplo, Saiz-Rodríguez et al. (2019) llevaron a cabo un estudio para identificar posibles ubicaciones de recarga artificial de los acuíferos en el Valle de Guadalupe (Baja California), mientras que González-Trinidad et al. (2017) lo hicieron en el estado de Zacatecas. Por otra parte, en lo que a la actividad agrícola se refiere, incorporar prácticas de conservación e incrementar la materia orgánica del suelo pueden favorecer la infiltración del agua de lluvia y aumentar la productividad del suelo, reduciendo las necesidades de agua de los cultivos (Aguilar-García y Ortega-Guerrero, 2017). Además, la calidad de las aguas subterráneas también se está viendo afectada por la salinización y la contaminación como consecuencia del uso de aguas residuales para riego agrícola, así como de fertilizantes (Marín-Celestino et al., 2019). Por ello, es necesario llevar a cabo una planificación del uso de los acuíferos y elaborar planes de actuación que permitan revertir los procesos de salinización a los que se encuentran sometidos los acuíferos y así evitar situaciones de colapso en el largo plazo (Mahlknecht et al., 2017).

El cluster verde claro se centra en la agricultura de conservación, que comprende un conjunto de técnicas como la labranza mínima, la cobertura permanente del suelo y la diversificación de los cultivos, que permiten hacer un uso más eficiente de los recursos naturales (Fonteyne et al., 2019). La aplicación de la agricultura de conservación junto con la gestión eficaz de

fertilizantes puede incrementar el rendimiento y la calidad de la producción de los cultivos (Santillano-Cázares et al., 2018). Fuentes et al. (2012) llevaron a cabo un estudio del cultivo de maíz y concluyeron que la aplicación de la agricultura de conservación puede aumentar el contenido de carbono del suelo y reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. Así pues, la agricultura de conservación también puede favorecer un mejor control de las plagas, ya que mejora la calidad y disminuye la erosión del suelo, creando un hábitat idóneo para los organismos (Rivers et al., 2016).

**Figura 3.** Tendencias de las principales palabras clave relacionadas con la investigación sobre GAM



Si analizamos la investigación sobre GSAM, encontramos cuatro clústeres diferenciados (Figura 4), tres que se centran en los ámbitos de la sostenibilidad y un cuarto que muestra una perspectiva más técnica de la investigación.



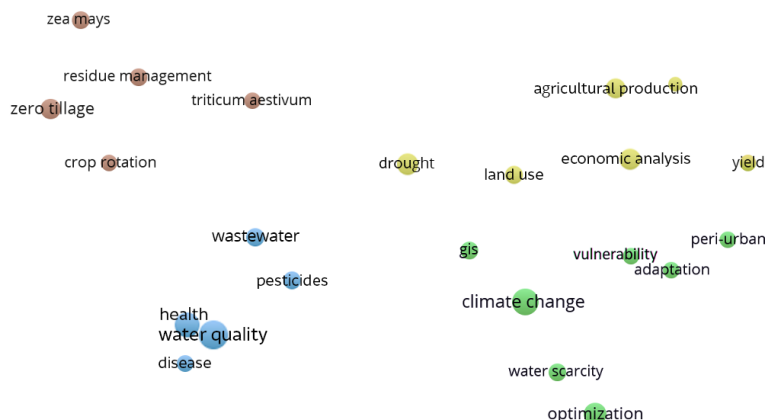
El cluster verde se centra en el ámbito ambiental de la sostenibilidad. Está centrado en la investigación de los efectos del cambio climático sobre la disponibilidad y gestión de los recursos hídricos. Esto confirma que la perspectiva ambiental de la sostenibilidad recibe una mayor atención que el resto de ámbitos. En este sentido, los agricultores deberán tener en cuenta las variaciones climáticas como parte de su sistema de producción para garantizar la supervivencia de su actividad económica, así como la seguridad alimentaria (Paredes-Tavares et al., 2018). Además, también será necesario identificar y estudiar las áreas agrícolas más susceptibles a las variaciones para poder elaborar planes de adaptación específicos que minimicen su vulnerabilidad al cambio climático (Ahumada-Cervantes et al., 2017).

El cluster azul se centra en el ámbito social, especialmente en lo que a la salud se refiere. Los cambios en los usos de la tierra y la extensión de determinadas prácticas antropogénicas han provocado la contaminación de los recursos naturales, lo que puede impactar sobre la calidad de vida y la salud de las personas. Se ha detectado la presencia de contaminantes emergentes (esteroles fecales, alquifenoles y plaguicidas) en los pozos de las zonas agrícolas y urbanas (González-Acevedo et al., 2019). Contreras et al. (2018) llevaron a cabo un estudio en el que compararon la incidencia de las enfermedades diarreicas en niños menores de cinco años en las zonas que utilizan aguas residuales sin tratar para riego y en las que utilizan agua de pozo, concluyendo que la diarrea era más frecuente en los casos en los que se usa agua residual. La acumulación de metales pesados en el suelo puede poner en peligro la salud pública debido a que estos elementos se concentran en las fuentes de agua y son absorbidos por las plantas, afectando a la calidad y seguridad de los alimentos (Castro-González et al., 2019).

El cluster amarillo se centra en el ámbito económico, pues el aumento en la demanda de agua y los posibles efectos derivados del cambio climático pueden poner en peligro la supervivencia de la agricultura (Duchin y López-Morales, 2012). Por ejemplo, Bautista-Capetillo et al. (2016) determinaron que las sequías han supuesto pérdidas para la región de Zacatecas por valor de 478 millones de dólares en un período de 10 años. Granados et al. (2017) realizaron un estudio en Guanajuato en el que concluyeron que la variabilidad de las precipitaciones ha supuesto una pérdida de productividad de los cultivos de maíz y frijol, lo que ha provocado una reducción en los ingresos y la calidad de vida de la zona.

En el caso del cluster marrón, se centra en el estudio de las prácticas agronómicas más idóneas en el cultivo del maíz y trigo para mejorar la producción y la eficiencia en el uso del agua como forma de garantizar la sostenibilidad de estos cultivos.

**Figura 4.** Tendencias de las principales palabras clave relacionadas con la investigación sobre GSAM



#### 4. Conclusiones

El objetivo de este trabajo ha sido analizar la dinámica que ha seguido la investigación sobre el uso del agua en la agricultura de México en general, y sobre su gestión sostenible en particular. Para ello, se ha realizado un análisis bibliométrico sobre una muestra de 1.490 artículos en la investigación sobre GAM y 436 artículos en el caso de la investigación sobre GSAM. Para cada una de las líneas de investigación, se ha desarrollado un análisis de productividad en base al número de artículos, las revistas, las categorías temáticas, los autores, la afiliación y las relaciones de colaboración. También se han analizado las principales temáticas desarrolladas en cada una de ellas en función de las palabras clave utilizadas.

Los resultados muestran que ambas líneas de investigación han ido ganando importancia durante los últimos años. A pesar de que la investigación sobre el uso del agua en la agricultura de México con un enfoque sostenible no ha aparecido hasta fechas muy recientes, se ha convertido en una línea prioritaria. Este resultado es consistente con la tendencia observada a nivel mundial sobre la investigación en esta temática, especialmente vinculada con la consecución de algunos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas. En ambos casos las principales categorías temáticas fueron Ciencias Ambientales,

Ciencias Agrícolas y Biológicas y Ciencias de la Tierra y Planetarias. Esto permite afirmar que en ambos casos predomina la investigación con enfoque técnico y ambiental. En el caso de la investigación sobre GSAM, los ámbitos social y económico de la sostenibilidad recibieron una mayor atención que en el caso de la investigación sobre GAM. No obstante, es necesario impulsar las investigaciones desde estos dos ámbitos, así como aquellas en las que se tengan en cuenta los tres ámbitos de la sostenibilidad de manera conjunta.

El análisis de las redes de colaboración establecidas por México ha permitido determinar que el número de trabajos llevados a cabo mediante colaboración internacional es superior en el caso de la investigación sobre GSAM que en la investigación general sobre GAM. De esta forma se comprueba que, al igual que ocurre en otros campos de estudio, el ámbito de la sostenibilidad no solo es más multidisciplinar, sino que se estudia en mayor medida a través de la colaboración internacional entre instituciones.

El análisis de las palabras clave ha mostrado nueve clústeres en la temática general, centrados en temas como la contaminación de las masas de agua, el cambio climático, la calidad del agua, la aplicación de la tecnología para hacer un uso más eficiente del agua, la biodiversidad, la erosión, las prácticas agronómicas que permiten reducir el consumo de agua, las aguas subterráneas y la agricultura de conservación. En el caso de la investigación sobre GSAM, se han encontrado tres clústeres centrados en los tres ámbitos de la sostenibilidad, y un cuarto en los aspectos más técnicos del ámbito agrícola. Los temas sobre el cambio climático y los aspectos técnicos para mejorar la eficiencia del agua son comunes en ambas líneas de investigación.

## **Bibliografía**

- Aguilar-García, R.; Ortega-Guerrero, M.A. Analysis of the water dynamics in the unsaturated zone, in a soil subject to conservation practices: implications for aquifer management and adaptation to climatic change. *Rev. Mex. Cienc. Geol.* 2017, 34(2), 91-104.
- Ahumada-Cervantes, R.; Velázquez-Angulo, G.; Rodríguez-Gallegos, H.B.; Flores-Tavizón, E.; Félix-Gastélum, R.; Romero-González, J.; Granados-Olivas, A. An indicator tool for assessing local vulnerability to climate change in the Mexican agricultural sector. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang.* 2017, 22, 137–152. <https://doi.org/10.1007/s11027-015-9670-z>
- Albort-Morant, G.; Henseler, J.; Leal-Millán, A.; Cepeda-Carrión, G. Mapping the field: A bibliometric analysis of green innovation. *Sustainability* 2017, 9, 1011. <https://doi.org/10.3390/su9061011>
- Alonso, S.; Cabrerizo, F.J.; Herrera-Viedma, E.; Herrera, F. h-Index: A review focused in its variants, computation and standardization for different scientific fields. *J. Informetr.* 2009, 3(4), 273-289. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2009.04.001>
- Andrade-Herrera, M.; Escalona-Segura, G.; González-Jáuregui, M.; Reyna-Hurtado, R.A.; Vargas-Contreras, J.A.; Rendón-von Osten, J. Presence of Pesticides and Toxicity Assessment of Agricultural Soils in the Quintana Roo Mayan Zone, Mexico Using Biomarkers in Earthworms (*Eisenia fetida*). *Water Air Soil Pollut.* 2019, 230(3), 59. <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4105-1>
- Arce-Romero, A.; Monterroso-Rivas, A.I.; Gómez-Díaz, J.D.; Palacios-Mendoza, M.A.; Navarro-Salas, E.N.; López-Blanco, J. Conde-Álvarez, A.C. Crop yield simulations in Mexican agriculture for climate change adaptation. *Atmósfera* 2020, 33(3), 215-231. <http://doi.org/10.20937/ATM.52430>
- Aznar-Sánchez, J.A.; Velasco-Muñoz, J.F.; García-Gómez, J.J.; López-Serrano, M.J. The Sustainable Management of Metals: An Analysis of Global Research. *Metals* 2018a, 8, 805. <https://doi.org/10.3390/met8100805>

- Aznar-Sánchez, J.A.; Belmonte-Ureña, L.J.; López-Serrano, M.J.; Velasco-Muñoz, J.F. Forest Ecosystem Services: An Analysis of Worldwide Research. *Forests* 2018b, 9, 453. <https://doi.org/10.3390/f9080453>
- Aznar-Sánchez, J.A.; Piquer-Rodríguez, M.; Velasco-Muñoz, J.F.; Manzano-Agugliaro, F. Worldwide research trends on sustainable land use in agriculture. *Land Use Pol.* 2019, 67, 104069. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104069>
- Aznar-Sánchez, J.A.; Velasco-Muñoz, J.F.; López-Felices, B.; Román-Sánchez, I.M. An Analysis of Global Research Trends on Greenhouse Technology: Towards a Sustainable Agriculture. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2020, 17, 2, 664. <http://doi.org/10.3390/ijerph17020664>
- Baguma, D.; Loiskandl, W. Rainwater harvesting technologies and practises in rural Uganda: A case study. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang.* 2010, 15, 355–369. <https://doi.org/10.1007/s11027-010-9223-4>
- Banco Mundial, 2020. <https://data.worldbank.org/indicator/SL.AGR.EMPL.ZS?end=2019&locations=MX&start=1991>
- Bautista-Capetillo, C.; Carrillo, B.; Picazo, G.; Júnez-Ferreira, H. Drought Assessment in Zacatecas, Mexico. *Water* 2016, 8(10), 416. <https://doi.org/10.3390/w8100416>
- Bonilla-Moheno, M.; Redo, D.J.; Aide, T.M.; Clark, M.L.; Grau, H.R. Vegetation change and land tenure in Mexico: A country-wide analysis. *Land Use Pol.* 2013, 30(1), 355–364. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.04.002>
- Castro-González, N.P.; Calderón-Sánchez, F.; Moreno-Rojas, R.; Tamariz-Flores, J.V.; Reyes-Cervantes, E. Heavy metals pollution level in wastewater and soils in the alto balsas sub-basin in Tlaxcala and Puebla, Mexico. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 2019, 35(2), 335-348. <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.02.06>
- Ceratti, M. Dos planetas más para poder vivir en este. World Bank, August 2016. <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2016/08/09/objetivo-desarrollo-sostenible-ods-12-consumo>

- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2018). Estadísticas del Agua en México, edición 2018. Conagua: Ciudad de México, México, 2018. [http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM\\_2018.pdf](http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf)
- Contreras, J.D.; Meza, R.; Siebe, C.; Rodríguez-Dozal, S.; López-Vidal, Y.; Castillo-Rojas, G.; Amieva, R.I.; Solano-Gálvez, S.G.; Mazari-Hiriart, M.; Silva-Magaña, M.A.; et al. Health risks from exposure to untreated wastewater used for irrigation in the Mezquital Valley, Mexico: A 25-year update. *Water Res.* 2018, 123, 834–850. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.06.058>
- Cunningham, S.A.; Attwood, S.J.; Bawa, K.S.; Benton, T.G.; Broadhurst, L.M.; Didham, R.K.; McIntyre, S.; Perfecto, I.; Samways, M.J.; Tschardtke, T.; et al. To close the yield-gap while saving biodiversity will require multiple locally relevant strategies. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2013, 173, 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.04.007>
- De Oca, R.M.G.F.; Ramos-Leal, J.A.; Solache-Ríos, M.J.; Martínez-Miranda, V.; Fuentes-Rivas, R.M. Modification of the Relative Abundance of Constituents Dissolved in Drinking Water Caused by Organic Pollution: a Case of the Toluca Valley, Mexico. *Water Air Soil Pollut.* 2019, 230(7), 171. <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4210-1>
- Delgado-Carranza, C.; Bautista, F.; Ihl, T.J.; Palma-López, D. Duración del periodo de lluvias y aptitud de tierras para la agricultura de temporal. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 2017, 4(12). <http://dx.doi.org/10.19136/era.a4n12.1320>
- Dias, C.S.L.; Rodrigues, R.G.; Ferreira, J.J. What's new in the research on agricultural entrepreneurship? *J. Rural Stud.* 2019, 65, 99–115. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2018.11.003>
- Duchin, F.; López-Morales, C. Do water-rich regions have a comparative advantage in food production? Improving the representation of water for agriculture in economic models. *Econ. Syst. Res.* 2012, 24, 371–389. <https://doi.org/10.1080/09535314.2012.714746>

- Durieux, V.; Gevenois, P.A. Bibliometric indicators: Quality measurements of scientific publication. *Radiology* 2010, 55, 342–351. <https://doi.org/10.1148/radiol.09090626>
- Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA, 2017). <https://www.inegi.org.mx/programas/ena/2017/>
- Estrada-Herrera, I.R.; Hidalgo-Moreno, C.; Guzmán-Plazola, R.; Almaraz Suárez, J.J.; Navarro-Garza, H.; Etchevers-Barra, J.D. Soil quality indicators to evaluate soil fertility. *Agrociencia* 2017, 51(8), 813-831.
- Falagas, M.E.; Kouranos, V.D.; Arencibia-Jorge, R.; Karageorgopoulos, D.E. Comparison of SCImago journal rank indicator with journal impact factor. *FASEB Journal* 2008, 22(8), 2623-2628. <https://doi.org/10.1096/fj.08-107938>
- Figuroa-Rodríguez, K.A.; Álvarez-Ávila, M.D.C.; Castillo, F.H.; Rindermann, R.S.; Figuroa-Sandoval, B. Farmers' market actors, dynamics, and attributes: A bibliometric study. *Sustainability* 2019, 11(3), 745. <https://doi.org/10.3390/su11030745>
- Foley, J.A.; Ramankutty, N.; Brauman, K.A.; Cassidy, E.S.; Gerber, J.S.; Johnston, M.; Balzer, C. Solutions for a cultivated planet. *Nature* 2011, 478, 337–342. <https://doi.org/10.1038/nature10452>
- Fonteyne, S.; Gamiño, M.M.; Tejeda, A.S.; Verhulst, N. Conservation Agriculture Improves Long-term Yield and Soil Quality in Irrigated Maize-oats Rotation. *Agronomy* 2019, 9, 845. <https://doi.org/10.3390/agronomy9120845>
- Fróna, D.; Szenderák, J.; Harangi-Rákos, M. The Challenge of Feeding the World. *Sustainability* 2019, 11, 5816. <https://doi.org/10.3390/su11205816>
- Fuentes, M.; Hidalgo, C.; Etchevers, J.; León, F.; Guerrero, A.; Dendooven, L.; Verhulst, N.; Govaerts, B. Conservation agriculture, increased organic carbon in the top-soil macro-aggregates and reduced soil CO emissions. *Plant. Soil* 2012, 355, 183–197. <https://doi.org/10.1007/s11104-011-1092-4>

- García-Hernández, J.; Leyva-Morales, J.B.; Martínez-Rodríguez, I.E.; Hernández-Ochoa, M.I.; Aldana-Madrid, M.L.; Rojas-García, A.E.; Betancourt-Lozano, M.; Pérez-Herrera, N.E.; Perera-Ríos, J.H. Estado actual de la investigación sobre plaguicidas en México. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 2018, 34, 29-60. <http://dx.doi.org/10.20937/RICA.2018.34.esp01.03>
- Garfield, E.; Sher, I.H. New factors in the evaluation of scientific literature through citation indexing. *Am. Doc.* 1963, 14, 195–201. <https://doi.org/10.1002/asi.5090140304>
- Gilabert-Alarcón, C.; Salgado-Méndez, S.O.; Daesslé, L.W.; Mendoza-Espinosa, L.G.; Villada-Canela, M. Regulatory Challenges for the Use of Reclaimed Water in Mexico: A Case Study in Baja California. *Water* 2018, 10, 1432. <https://doi.org/10.3390/w10101432>
- Gómez-Merino, F.C.; Hernández-Anguiano, A.M. El Contexto del Sector Agroalimentario en México. In *Líneas Prioritarias de Investigación. Informe de Gestión 2009-2011*. Edited by Hernández-Anguiano A.M.; Gómez-Merino F.C.; Pérez-Hernández L.M.; Villanueva-Jiménez J.A. Colegio de Postgraduados: Estado de México, México, 2013. ISBN 978-607-715-135-7
- González-Acevedo, Z.I.; García-Zarate, M.A.; Flores-Lugo, I.P. Emerging contaminants and nutrients in a saline aquifer of a complex environment. *Environ. Pollut.* 2019, 244, 885-897. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.104>
- González-Trinidad, J.; Júnez-Ferreira, H.E.; Pacheco-Guerrero, A.; Olmos-Trujillo, E.; Bautista-Capetillo, C.F. Dynamics of land cover changes and delineation of groundwater recharge potential sites in the Aguanaval aquifer, Zacatecas, México. *Appl. Ecol. Environ. Res.* 2017, 15(3), 387-402. [https://doi.org/10.15666/aeer/1503\\_387402](https://doi.org/10.15666/aeer/1503_387402)
- Grahmann, K.; Verhulst, N.; Palomino, L.M.; Bischoff, W.A.; Govaerts, B.; Buerkert, A. Ion exchange resin samplers to estimate nitrate leaching from a furrow irrigated wheat-maize cropping system under different tillage-straw systems. *Soil Tillage Res.* 2018, 175, 91–100. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.08.013>



- Granados, R.; Soria, J.; Cortina, M. Rainfall variability, rainfed agriculture and degree of human marginality in North Guanajuato, Mexico. *Singap. J. Trop. Geogr.* 2017, 38, 153–166. <https://doi.org/10.1111/sjtg.12191>
- Hernández-Bedolla, J.; Solera, A.; Paredes-Arquiola, J.; Pedro-Monzonís, M.; Andreu, J.; Sánchez-Quispe, S.T. The Assessment of Sustainability Indexes and Climate Change Impacts on Integrated Water Resource Management. *Water* 2017, 9, 213. <https://doi.org/10.3390/w9030213>
- Hernández-Ochoa, I.M.; Pequeño, D.N.; Reynolds, M.; Babar, M.A.; Sonder, K.; Milan, A.M.; Hoogenboom, G.; Robertson, R.; Gerber, S.; Rowland, D.L.; et al. Adapting irrigated and rainfed wheat to climate change in semi-arid environments: Management, breeding options and land use change. *Eur. J. Agron.* 2019, 109, 125915. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.125915>
- Honsdorf, N.; Mulvaney, M.J.; Singh, R.P.; Ammar, K.; Burgueño, J.; Govaerts, B.; Verhulst, N. Genotype by tillage interaction and performance progress for bread and durum wheat genotypes on irrigated raised beds. *Field Crops Res.* 2018, 216, 42–52. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.11.011>
- Huang, L.; Zhang, Y.; Guo, Y.; Zhu, D.; Porter, A.L. Four dimensional science and technology planning: A new approach based on bibliometrics and technology roadmapping. *Technol. Forecast. Soc. Chang.* 2014, 81, 39–48. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.09.010>
- Komiyama, H.; Takeuchi, K. Sustainability science: Building a new discipline. *Sustain. Sci.* 2006, 1, 1–6. <http://doi.org/10.1007/s11625-006-0007-4>
- Kumar, A.; Mallick, S.; Swarnakar, P.; Kumar, A. Mapping scientific collaboration: A bibliometric study of rice crop research in India. *J. Scientometric Res.* 2020, 9(1), 29-39. <http://doi.org/10.5530/jscires.9.1.4>
- López-Hernández, M.; Arteaga-Ramírez, R.; Ruiz-García, A.; Vázquez-Peña, M.A.; López-Resano, J.I. Productividad del agua normalizada para el cultivo de maíz (*Zea mays*) en Chapingo, México. *Agrociencia* 2019, 53(6), 811-820.

- López-Santos, A.; Bueno-Hurtado, P.; Arreola-ávila, J.G.; Emmanuel Pérez-Salinas, J. Conservation activities of soils identified through indices kappa indices in northeast of Durango, Mexico. *Agrociencia* 2017, 51(6), 591-605.
- Mahlknecht, J.; Merchán, D.; Rosner, M.; Meixner, A.; Ledesma-Ruiz, R. Assessing seawater intrusion in an arid coastal aquifer under high anthropogenic influence using major constituents, Sr and B isotopes in groundwater. *Sci. Total Environ.* 2017, 587–588, 282–295. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.137>
- Mancosu, N.; Snyder, R.L.; Kyriakakis, G.; Spano, D. Water scarcity and future challenges for food production. *Water* 2015, 7, 975–992. <http://doi.org/10.3390/w7030975>
- Marín-Celestino, A.E.; Ramos-Leal, J.A.; Martínez-Cruz, D.A.; Tuxpan-Vargas, J.; De Lara-Bashulto, J.; Morán-Ramírez, J. Identification of the Hydrogeochemical Processes and Assessment of Groundwater Quality, Using Multivariate Statistical Approaches and Water Quality Index in a Wastewater Irrigated Region. *Water* 2019, 11, 1702. <https://doi.org/10.3390/w11081702>
- Molina-Navarro, E.; Hallack-Alegría, M.; Martínez-Pérez, S.; Ramírez-Hernández, J.; Mungaray-Moctezuma, A.; Sastre-Merlín, A. Hydrological modeling and climate change impacts in an agricultural semiarid region. Case study: Guadalupe River basin, Mexico. *Agric. Water Manag.* 2016, 175, 29–42. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.10.029>
- Ngwenya, S.; Boshoff, N. Participation of ‘international national organisations’ in Africa’s research: a bibliometric study of agriculture and health in Zimbabwe. *Scientometrics* 2020, 124, 533–553. <https://doi.org/10.1007/s11192-020-03480-y>
- Oberle, B.; Bringezu, S.; Hatfield-Dodds, S.; Hellweg, S.; Schandl, H.; Clement, J. Global resources outlook 2019: natural resources for the future we want. International Resource Panel, United Nations Environment Programme, 2019.
- Opejin, A.K.; Aggarwal, R.M.; White, D.D.; Jones, J.L.; Maciejewski, R.; Mascaro, G.; Sarjoughian, H.S. A Bibliometric Analysis of Food-Energy-Water Nexus Literature. *Sustainability* 2020, 12, 1112. <https://doi.org/10.3390/su12031112>

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2009). High Level Expert Forum—How to Feed the World in 2050; Office of the Director, Agricultural Development Economics Division: Rome, Italy, 2009.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2019). El sistema alimentario en México - Oportunidades para el campo mexicano en la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible; FAO: Ciudad de México, 2019. <http://www.fao.org/3/CA2910ES/ca2910es.pdf>
- Organización Mundial del Comercio (OMC, 2019). World Trade Statistical Review 2019. [https://www.wto.org/english/res\\_e/statis\\_e/wts2019\\_e/wts19\\_toc\\_e.htm](https://www.wto.org/english/res_e/statis_e/wts2019_e/wts19_toc_e.htm)
- Palacios-Vélez, E.; Palacios-Sánchez, L.; Espinosa-Espinosa, J.L. Early estimation of the wheat crop yield in irrigation district 038, Río Mayo, Sonora, México. *Tecnol. Cienc. Agua* 2019, 10(2), 225-240. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-02-08>
- Paquini-Rodríguez, S.L.; Benítez-Riquelme, I.; Villaseñor-Mir, H.E.; Muñoz-Orozco, A.; Vaquera-Huerta, H. Gains in yield and its components under normal and limited irrigation of Mexican wheat cultivars. *Rev. Fitotec. Mex.* 2016, 39(4), 367-378.
- Paredes-Tavares, J.; Gómez-Albores, M.A.; Mastachi-Loza, C.A.; Díaz-Delgado, C.; Becerril-Piña, R.; Martínez-Valdés, H.; Bâ, K.M. Impacts of Climate Change on the Irrigation Districts of the Rio Bravo Basin. *Water* 2018, 10, 258. <https://doi.org/10.3390/w10030258>
- Pérez-Castresana, G.; Tamariz-Flores, V.; López-Reyes, L.; Hernández-Aldana, F.; Castelán-Vega, R.; Morán-Perales, J.L.; García-Suastegui, W.A.; Díaz-Fonseca, A.; Handal-Silva, A. Atoyac River Pollution in the Metropolitan Area of Puebla, México. *Water* 2018, 10, 267. <https://doi.org/10.3390/w10030267>
- Pool, D.B.; Panjabi, A.O.; Macias, D.; Solhjem, M. Rapid Expansion of Croplands in Chihuahua, Mexico Threatens Declining North American Grassland Bird Species. *Biol. Conserv.* 2014, 170, 274–281. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.12.019>
- Rangel-Fajardo, M.A.; Gómez-Montiel, N.; Tucuch-Haas, J.I.; de la Cruz Basto-Barbudo, D.; Villalobos-González, A.; Burgos-Díaz, J.A. Polyethylene glycol 8000 to identify

- corn tolerant to water stress during germination. *Agron. Mesoam.* 2019, 30(1), 255-266. <https://doi.org/10.15517/am.v30i1.34198>
- Reyes-González, A.; Kjaersgaard, J.; Trooien, T.; Hay, C.; Ahiablame, L. Estimation of Crop Evapotranspiration Using Satellite Remote Sensing-Based Vegetation Index. *Adv. Meteorol.* 2018, 4525021. <https://doi.org/10.1155/2018/4525021>
- Reyes-González, A.; Reta-Sánchez, D.G.; Sánchez--Duarte, J.I.; Ochoa-Martínez, E.; Rodríguez-Hernández, K.; Preciado-Rangel, P. Estimation of evapotranspiration of forage corn supported with remote sensing and in situ measurements. *Terra Latinoamericana* 2019, 37(3), 279-290. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i3.485>
- Riojas, C. La naturaleza de las articulaciones regionales en México a través del tiempo. *Amerika* 2011, 4. <https://doi.org/10.4000/amerika.2259>
- Rivers, A.; Barbercheck, M.; Govaerts, B.; Verhulst, N. Conservation agriculture affects arthropod community composition in a rainfed maize-wheat system in central Mexico. *Appl. Soil Ecol.* 2016, 100, 81-90. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.12.004>
- Robinson, D.K.; Huang, L.; Guo, Y.; Porter, A.L. Forecasting Innovation Pathways (FIP) for new and emerging science and technologies. *Technol. Forecast. Soc. Chang.* 2013, 80, 267–285. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2011.06.004>
- Robledo-Zacarías, V.H.; Velázquez-Machuca, M.A.; Montañez-Soto, J.L.; Pimentel-Equihua, J.L.; Vallejo-Cardona, A.A.; López-Calvillo, M.D.; Venegas-González, J. Hydrochemistry and emerging contaminants in industrial urban wastewater in Morelia, Michoacán, Mexico. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 2017, 33(2) 221-235. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.02.04>
- Rodríguez-Aguilar, B.A.; Martínez-Rivera, L.M.; Peregrina-Lucano, A.A.; Ortiz-Arrona, C.I.; Cárdenas-Hernández, O.G. Analysis of pesticide residues in the surface water of the Ayuquila-Armeria River watershed, Mexico. *Terra Latinoamericana* 2019, 37(2), 151-161. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i2.462>

- Saíz-Rodríguez, J.A.; Lomeli Banda, M.A.; Salazar-Briones, C.; Ruiz-Gibert, J.M.; Mungaray-Moctezuma, A. Allocation of Groundwater Recharge Zones in a Rural and Semi-Arid Region for Sustainable Water Management: Case Study in Guadalupe Valley, Mexico. *Water* 2019, 11, 1586. <https://doi.org/10.3390/w11081586>
- Saldaña-Robles, A.; Abraham-Juárez, M.R.; Saldaña-Robles, A.L.; Saldaña-Robles, N.; Ozuna, C.; Gutiérrez-Chávez, A.J. The Negative Effect of Arsenic in Agriculture: Irrigation Water, Soil and Crops, State of the Art. *Appl. Ecol. Environ. Res.* 2018, 16, 1533–1551. [https://doi.org/10.15666/aeer/1602\\_15331551](https://doi.org/10.15666/aeer/1602_15331551)
- Santillano-Cázares, J.; Núñez-Ramírez, F.; Ruíz-Alvarado, C.; Cárdenas-Castañeda, M.E.; Ortiz-Monasterio, I. Assessment of Fertilizer Management Strategies Aiming to Increase Nitrogen Use Efficiency of Wheat Grown Under Conservation Agriculture. *Agronomy* 2018, 8, 304. <https://doi.org/10.3390/agronomy8120304>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2019). Programa Nacional Hídrico 2019-2014. 2019. <http://187.191.71.192/portales/resumen/48732>
- Servicio de Información Alimentaria, Agrícola y Pesquera (SIAP, 2019). 2019 Panorama de la alimentación y la agricultura. SIAP: Mexico, 2019. [https://nube.siap.gob.mx/gobmx\\_publicaciones\\_siap/pag/2019/Agricultural-Atlas-2019](https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2019/Agricultural-Atlas-2019)
- Silva-García, J.T.; Cruz-Cárdenas, G.; Ochoa-Estrada, S.; Estrada-Godoy, F.; Nava-Velázquez, J.; Álvarez-Bernal, D. Loss of soil from water erosion in the basin Chapala Lake, Michoacan, Mexico. *Tecnología y Ciencias del Agua* 2017, 8(6), 117-128. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-06-08>
- Sosa-Baldivia, A.; Ruíz-Ibarra, G. Food availability in Mexico: an analysis of agricultural production over the last 35 years and its projection for 2050. *Papeles de Población* 2017, 23(93), 207-230. <https://rppoblacion.uaemex.mx/article/view/9111>
- Vanderplank, S.; Ezcurra, E.; Delgadillo, J.; Felger, R.; McDade, L.A. Conservation challenges in a threatened hotspot: agriculture and plant biodiversity losses in Baja

- California, Mexico. *Biodivers. Conserv.* 2014, 23(9), 2173–2182. <https://doi.org/10.1007/s10531-014-0711-9>
- Velasco-Muñoz, J.F.; Aznar-Sánchez, J.A.; Belmonte-Ureña, L.J.; López-Serrano, M.J. Advances in water use efficiency in agriculture: A bibliometric analysis. *Water* 2018a, 10, 377. <https://doi.org/10.3390/w10040377>
- Velasco-Muñoz, J.V.; Aznar-Sánchez, J.A.; Belmonte-Ureña, L.J.; Román-Sánchez, I.M. Sustainable water use in agriculture: A review of worldwide research. *Sustainability* 2018b, 10, 1084. <http://doi.org/10.3390/su10041084>
- Velasco-Muñoz, J.F.; Aznar-Sánchez, J.A.; Batlles-de-laFuente, A.; Fidelibus, M.D. Rainwater Harvesting for Agricultural Irrigation: An Analysis of Global Research. *Water* 2019a, 11, 1320. <https://doi.org/10.3390/w11071320>
- Velasco-Muñoz, J.F.; Aznar-Sánchez, J.A.; Batlles de la Fuente, A.; Fidelibus, M.D. Sustainable Irrigation in Agriculture: An Analysis of Global Research. *Water* 2019b, 11, 1758. <http://doi.org/10.3390/w11091758>
- Yarime, M.; Takeda, Y.; Kajikawa, Y. Towards institutional analysis of sustainability science: A quantitative examination of the patterns of research collaboration. *Sustain. Sci.* 2010, 5, 115–125. <http://doi.org/10.1007/s11625-009-0090-4>



# **CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE LA ADOPCIÓN DE PRÁCTICAS SOSTENIBLES DEL AGUA EN LA AGRICULTURA INTENSIVA DE LA COSTA DE HERMOSILLO**

---

**Artículo 3: Analysis of the Acceptance of Sustainable  
Practices in Water Management for the Intensive  
Agriculture of the Costa de Hermosillo (Mexico)**

**Agronomy, 2022, 12(1), 154**

**Factor de impacto 3.417 y cuartil Q1 en 2020 en Journal  
Citation Reports- Thomson Reuters**





# ANÁLISIS DE LA ADOPCIÓN DE PRÁCTICAS SOSTENIBLES DEL AGUA EN LA AGRICULTURA INTENSIVA DE LA COSTA DE HERMOSILLO

---

## 1. Introducción

De los objetivos incluidos en la Agenda 2030 de las Naciones Unidas, la erradicación de la pobreza y el hambre y el acceso al agua potable son los más urgentes para la supervivencia de gran parte de la población (Koren et al., 2021). Estos objetivos están estrechamente relacionados y su cumplimiento se ve amenazado por diferentes factores. En primer lugar, la población está creciendo mucho más rápido que la capacidad de respuesta de los productores de alimentos (Oberle et al., 2019). Se calcula que la población pasará de 7.700 a 9.700 millones de personas en 2050 (UNDESA, 2019). Además, el desarrollo económico mundial ha dado lugar a la expansión del segmento de población clasificado como clase media, que tiene un mayor nivel de ingresos, lo que genera una modificación de los patrones de consumo debido a la evolución de los estilos de vida globales (Oberle et al., 2019). En consecuencia, las preferencias de los consumidores exigen un mayor uso de recursos, lo que amenaza la sostenibilidad del sistema productivo. Se estima que para satisfacer la demanda global para el año 2050, en base a los actuales patrones de consumo, serían necesarios recursos equivalentes a los de tres planetas tierra (Ceratti, 2016). Sólo en la producción de alimentos, se ha estimado que para el año 2050 se requerirá un aumento de la producción de entre el 25 y el 110%, dependiendo de los diferentes escenarios posibles (Hunter et al., 2017; Laurett et al., 2021).

Como principal proveedor, no sólo de alimentos sino también de una amplia gama de materias primas, la agricultura desempeña un papel destacado a la hora de garantizar la seguridad alimentaria (Velasco-Muñoz et al., 2016). Además de satisfacer la creciente demanda, los sistemas de producción agrícola deben adaptarse a las consecuencias del cambio climático global (Velasco-Muñoz et al., 2021). Estas consecuencias incluyen la alteración de los ciclos pluviométricos, largos periodos de sequía y desequilibrios en el suministro de agua; fenómenos meteorológicos más frecuentes y más imprevisibles y

extremos; y cambios en la humedad del suelo, los flujos de evapotranspiración y la escorrentía superficial (Mancosu et al., 2015; Pedro-Monzonís et al., 2015). La expansión e intensificación de la agricultura en las últimas décadas ha permitido un crecimiento sin precedentes de la producción de alimentos. Sin embargo, ha tenido un grave impacto en los sistemas forestales y acuáticos (Aznar-Sánchez et al., 2019a). Las prácticas de deforestación relacionadas con la agricultura son la segunda mayor amenaza del mundo en términos de conservación de la biodiversidad (Maxwell et al., 2016; Kissinger et al., 2012), dado que aproximadamente tres cuartas partes de los bosques del mundo se han perdido debido a esta actividad (Forouzani y Karami, 2011).

El principal factor que limita la expansión e intensificación de la agricultura es la disponibilidad de agua (Velasco-Muñoz et al., 2019a). Además, como principal consumidor de recursos hídricos a nivel mundial, la agricultura ha reducido la calidad y la cantidad de agua disponible a nivel global en las últimas décadas (Aznar-Sánchez et al., 2019a, 2019b). La agricultura utiliza entre el 60 y el 90% del agua disponible, dependiendo del clima y del desarrollo económico de la región (Adeyemi et al., 2017; Aznar-Sánchez et al., 2018). El aumento del riego para satisfacer la creciente demanda de alimentos afectará gravemente a la disponibilidad de agua para los ecosistemas naturales e incluso para el abastecimiento humano (Cunningham et al., 2013; Fu et al., 2013). Según el informe de las Naciones Unidas de 2020 sobre los recursos hídricos, actualmente hay 2.200 millones de personas en todo el mundo que tienen un acceso limitado al agua potable (UNESCO, 2020).

México se ha convertido en una potencia agrícola en términos de superficie cultivada, producción y volumen de exportaciones (Ochoa-Noriega et al., 2021). También es uno de los principales proveedores de alimentos del mundo (Ochoa-Noriega et al., 2020). El país cuenta con una superficie de 198 millones de hectáreas, de las cuales aproximadamente el 73% se destina a actividades agrícolas (FAO, 2019; SIAP, 2019). La agricultura representa aproximadamente el 4% del Producto Nacional Bruto (PNB) (OMC, 2019). En los últimos años, la participación de los productos agrícolas mexicanos en los mercados extranjeros ha aumentado, gracias a su calidad y variedad y a las ventajas arancelarias derivadas del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) (Dyer et al., 2018). Además, la actividad agrícola ha jugado un papel fundamental en el desarrollo regional de México (Garduño-

Rivera, 2021). Aproximadamente el 20% de la población del país se encuentra en situación de pobreza alimentaria y el 5% está clasificado como desnutrido (SIAP, 2019). Esta situación es aún más crítica en el medio rural, donde la agricultura representa el 50% de los ingresos de la familia (Sosa-Baldivia y Ruíz-Ibarra, 2017; Banco Mundial, 2021). Según el informe de 2018 sobre la evolución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), el 58,2% de la población rural mexicana vivía en situación de pobreza (Oficina de la Presidencia de la República y Secretario Ejecutivo del Consejo Nacional de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, 2018). Esta cifra llega al 71,9% entre la población indígena (un total de doce millones de personas) (Oficina de la Presidencia de la República y Secretario Ejecutivo del Consejo Nacional de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, 2018). Se estima que los niños que viven en las zonas rurales tienen un retraso en el crecimiento de 43,4%, más del doble que el promedio nacional de México, con efectos negativos en el desarrollo motor y cognitivo (Solovieva et al., 2006; Carrasco-Quintero et al., 2016).

México es un ejemplo paradigmático de un país que ha experimentado un exitoso proceso de desarrollo regional basado en la evolución de los modelos agrícolas tradicionales hacia sistemas agrícolas modernos (Garduño-Rivera, 2021). Sin embargo, este desarrollo se ha producido de forma no planificada y presenta deficiencias en términos de sostenibilidad (Ochoa-Noriega et al., 2020; Oficina de la Presidencia de la República y Secretario Ejecutivo del Consejo Nacional de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, 2018). Por su ubicación y condiciones climáticas, la agricultura mexicana es particularmente sensible al problema del agua. Algunas de las principales regiones agrícolas sufren graves problemas de déficit en sus cuerpos de agua. Además, este país se encuentra en una zona particularmente vulnerable a los impactos del cambio climático global, sobre todo en lo que respecta a los recursos hídricos y la gestión agrícola (SIAP, 2019; UNESCO, 2020). Además, este desarrollo se ha basado en el uso de malas prácticas de gestión ambiental, fundamentalmente en lo que se refiere a la gestión de los recursos hídricos y a la desigual distribución de la tierra y las infraestructuras (Sosa-Baldivia y Ruíz-Ibarra, 2017; Ochoa-Noriega et al., 2020). Por ello, este país es un laboratorio perfecto para estudiar el desarrollo agrícola que experimentan los países en vías de desarrollo. Por ello, el objetivo de este estudio es analizar una de las regiones mexicanas (Costa de Hermosillo) que ha experimentado un proceso de modernización agrícola más intenso, basado en la sobreexplotación de sus recursos hídricos

subterráneos. Además, busca identificar las principales barreras y facilitadores para obtener la sostenibilidad en la gestión de los recursos hídricos en esta región. Finalmente, se intenta encontrar una serie de medidas que contribuyan a la adopción de prácticas sostenibles en la gestión del agua en la región agrícola estudiada.

El estado de Sonora ocupa el tercer lugar en cuanto al valor de la producción agrícola nacional, con más de 15.327 millones de pesos (748 millones de dólares), representando el 13,7% del total nacional y una superficie cultivada de 411.090 hectáreas. La Costa de Hermosillo representa el 12% de la superficie total con 49.524 hectáreas y el 23,2% del valor total de la producción con 3.556 millones de pesos (173 millones de dólares) (CONAGUA, 2019). La agricultura de la Costa de Hermosillo ha evolucionado de los sistemas tradicionales de producción basados en los cultivos de maíz, trigo y algodón a un modelo agrícola intensivo basado en el uso de nuevas tecnologías y procesos de innovación en la producción, almacenamiento y distribución (Bracamonte et al., 2007; SAGHARPA, 2016). Esta transformación comenzó con la entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) en 1994 (Dyer et al., 2018). Actualmente, los cultivos predominantes son el tomate, la calabaza, el espárrago, el chile verde, el melón, los cítricos, el pepino, la sandía, la uva y la nuez, que se exportan principalmente. El estado cuenta con una amplia infraestructura hidráulica compuesta por un sistema de presas y tuberías para el riego, que se realiza principalmente por gravedad e inundación (Camarena-Gómez et al., 2014).

El Decreto de Colonización de 1949 establece tres formas de propiedad de la tierra: pequeños propietarios, colonos y ejidatarios (Bravo-Pérez et al., 2013). Esta estructura de propiedad dio lugar a una concentración del agua como resultado de la concentración previa de la tierra (Bravo-Pérez et al., 2013). Los pequeños propietarios tienen la propiedad privada de una finca para la cual el volumen de agua subterránea utilizada para el riego no puede exceder de 100 ha con base en la cláusula XV del artículo 27 constitucional. En la práctica, esta condición no se cumple (Martínez-Peralta y Moreno-Vázquez, 2016). Los pequeños propietarios tienen explotaciones de entre 200 y 400 ha. Además, diferentes miembros de una misma familia son propietarios de explotaciones, lo que da lugar a la formación de grandes explotaciones familiares con miles de hectáreas (Moreno-Vázquez, 2005). El sector de los colonos está formado por 66 asociaciones de colonos, fruto de la migración desde otras

regiones. A estas asociaciones se les concedió el derecho a cultivar colectivamente las tierras de baja calidad cercanas a la costa, que se vieron afectadas por la salinización debida a la intrusión de agua de mar en el acuífero (Martínez-Peralta, 2014). En la actualidad, estas tierras han sido abandonadas y los colonos trabajan como jornaleros para los pequeños propietarios o han emigrado, principalmente a Estados Unidos (Martínez-Peralta, 2014). Finalmente, el sector ejidal está conformado por 28 poblados rurales dispersos que se establecieron a partir de 1964 (Pérez-López, 2011). La superficie de cultivo de los ejidos es de baja calidad y se arrienda a los pequeños propietarios o se utiliza para la producción de subsistencia en pequeñas granjas de los ejidatarios, que venden sus productos directamente a los consumidores (Martínez-Peralta y Moreno-Vázquez, 2016).

El uso y explotación de las aguas subterráneas se regula a través de la Ley de Aguas Nacionales de 1992 (LAN). El artículo 3 de esta ley permite la explotación de los acuíferos para el aprovechamiento de los recursos a través de una licencia o concesión individual otorgada a los particulares por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la cual debe ser inscrita en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) (Diario Oficial de México, 1992). El artículo 4 establece que la autoridad y la administración del acuífero corresponden al Organismo Ejecutivo Federal, el cual ejerce estas responsabilidades directamente o a través de la CONAGUA que, a su vez, debe estar integrada por un consejo técnico y debe tener una estrecha vinculación con los Consejos de Cuenca del respectivo organismo de cuenca encargados de vigilar, administrar o gestionar el uso de los recursos hídricos (Diario Oficial de México, 1992).

La Tabla 1 presenta una selección de la literatura previa sobre la adopción de prácticas sostenibles en la agricultura mexicana. Entre estos trabajos se destaca el estudio de la conservación del suelo y la gestión de los recursos hídricos como temas prioritarios. De particular relevancia es el estudio del conocimiento tradicional en la producción agrícola de subsistencia, como base para el desarrollo de las poblaciones rurales más vulnerables. Para una información más detallada, véase el trabajo de Ochoa-Noriega et al. (2020), una revisión bibliométrica de la agricultura sostenible en México.

**Tabla 1.** Literatura previa sobre la gestión agrícola sostenible en México

Título	Autor y año
Adoption of phytodesalination as a sustainable agricultural practice for improving the productivity of saline soils	Lastiri-Hernández et al. 2021
Analysis of energy consumption for tomato production in low technology greenhouses of Mexico	Ramirez-Arias et al. 2020
Temporal Dynamics of Rhizobacteria Found in Pequin Pepper, Soybean, and Orange Trees Growing in a Semi-arid Ecosystem	Díaz-Garza et al. 2020
The Use of Water in Agriculture in Mexico and Its Sustainable Management: A Bibliometric Review	Ochoa-Noriega, et al. 2020
Sustainability prospective for water resources in Northwestern Mexico: Use of recycled concrete for Agricultural purpose water supply	Gutiérrez-Moreno et al. 2020
Ecological, Cultural, and Geographical Implications of <i>Brahea dulcis</i> (Kunth) Mart. Insights for Sustainable Management in Mexico	Pérez-Valladares et al. 2020
The sustainable cultivation of Mexican nontoxic <i>Jatropha curcas</i> to produce biodiesel and food in marginal rural lands	Pérez et al. 2019
Sustainability and environmental management in the Mexican vegetable sector	Padilla-Bernal et al. 2019
Vulnerability, innovation and social resilience in the maize ( <i>Zea mays</i> L.) production: The case of the conservation tillage club of chiapas, Mexico	Díaz-José et al. 2018
The myth behind sustainable African palm crop. Socio-environmental impacts of palm oil in Chiapas, Mexico	León et al. 2017
TEK and biodiversity management in agroforestry systems of different socio-ecological contexts of the Tehuacán Valley	Vallejo-Ramos et al. 2016
Degree of sustainability of rural development in subsistence, intermediate, and commercial farmers, under an autopoietic view point	García et al. 2009

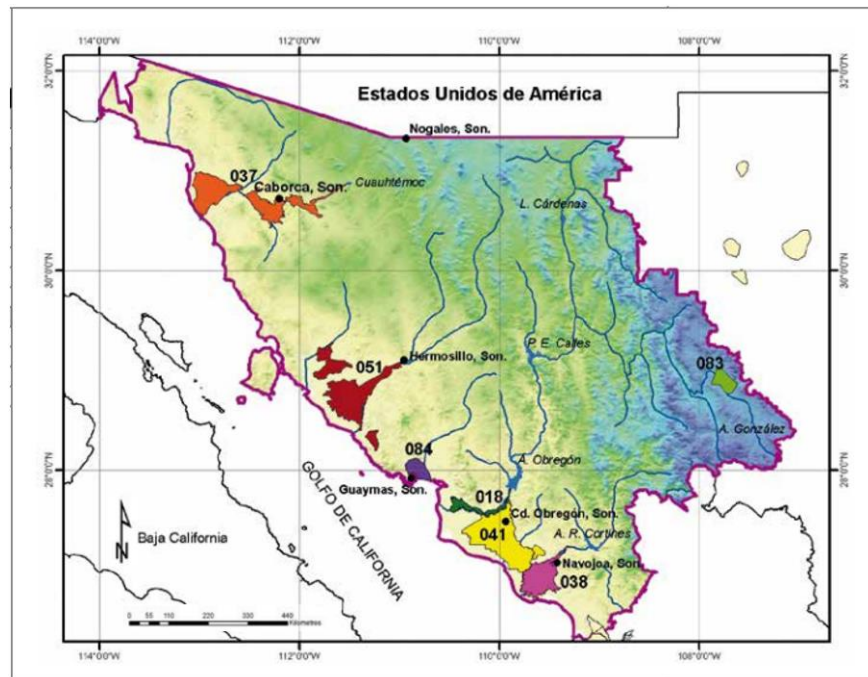
## 2. Materiales y métodos

Este estudio pretende analizar un sistema agrícola complejo que incorpora diferentes tipos de agentes con objetivos contrapuestos. Además, pretende alcanzar una propuesta consensuada para la gestión sostenible de los recursos hídricos disponibles en el sistema. Para cumplir este objetivo, se ha desarrollado una metodología cualitativa participativa. Este tipo de investigación permite profundizar en el tema de estudio, en las variables que intervienen, en las relaciones que se establecen entre ellas y en la identificación de los puntos críticos, lo que permite apreciar las interacciones en sistemas complejos, como es el caso de los sistemas de gestión del agua (Wisser et al., 2010; Queirós et al., 2017). Por último, aunque el potencial de generalización de los estudios de caso puede ser limitado, este tipo de estudios puede ofrecer un abanico de posibles alternativas para probar en contextos similares y puede constituir un modelo con el que llegar a medidas consensuadas en otros contextos (Kuntosch et al., 2015).

## 2.1. Zona de estudio

El estudio se realizó en la Costa de Hermosillo, en la región noreste de México, en la planicie costera central del estado de Sonora (Figura 1). La Costa de Hermosillo se extiende 100 km en línea recta entre la ciudad de Hermosillo y Bahía de Kino, a orillas del Golfo de California. Esta zona tiene un clima semiárido, con una precipitación media anual inferior a 100 mm, concentrada en los meses de verano, una temperatura media anual de 24°C que puede fluctuar entre una máxima de 47°C y una mínima de -3°C, y una alta radiación solar (Wisser et al., 2010).

**Figura 1.** Ubicación de los distritos de riego del organismo de cuenca: Noroeste de México. Distrito 051 Costa de Hermosillo, Sonora, México (CONAGUA, 2019). Sonora limita con los estados americanos de Arizona y Nuevo México



La Costa de Hermosillo corresponde al distrito de riego 051 creado en 1953 para el manejo de sus recursos hídricos agrícolas (CONAGUA, 2020). Este distrito se abastece de la cuenca hidrográfica de los ríos Sonora y Bacoachi, los cuales tienen caudales irregulares, un bajo volumen y alta infiltración (Díaz-Caravantes et al., 2013). La principal fuente de agua para riego es subterránea, siendo uno de los distritos de riego por bombeo más grandes del país (Martínez-Peralta, 2014). En 1980, un total de 498 pozos fueron perforados exclusivamente para uso agrícola, representando el 90% del agua disponible para este sector (Olavarrieta-



Carmona, 2010; Hernández-Pérez, 2012). El acuífero principal del sistema se identifica como el 2619. Este acuífero tiene una recarga media anual de 250 hm<sup>3</sup>/año y una extracción media de 346 hm<sup>3</sup>/año (Martínez-Peralta, 2014). Como resultado, existe un déficit medio anual de 96 hm<sup>3</sup>/año, lo que se ha traducido en una reducción del volumen total de agua, dando lugar a un proceso de intrusión hídrica, contaminando el agua dulce disponible (CONAGUA, 2020). Ha sido declarado como uno de los 17 acuíferos con intrusión salina y como uno de los 115 acuíferos sobreexplotados a nivel nacional, teniendo el mayor déficit de los 61 existentes en el estado de Sonora (Manzanares-Rivera, 2016). Como consecuencia de la situación del recurso hídrico, se han abandonado granjas improductivas por la salinidad del suelo. La concesión de nuevas fincas es inviable y se ha incrementado la rivalidad entre los diferentes usuarios del agua para riego.

La administración y gestión del uso de las aguas subterráneas en esta zona se realiza a través de una licencia colectiva concedida a la Asociación de Usuarios del Distrito 051 (AUDR, 051) (Manzanares-Rivera, 2016). Esto ha llevado a una mayor concentración de los recursos, predominantemente por parte de los agricultores privados que han podido afrontar los costes de bombeo y las inversiones necesarias para cumplir con las normas establecidas en los países de destino para los cultivos exportados (Moreno-Vázquez, 2005).

## *2.2. Metodología*

En este estudio se han utilizado una serie de métodos destinados a recopilar información tanto primaria como secundaria, en función de las diferentes etapas de desarrollo de la investigación. En primer lugar, se realizó una revisión bibliográfica para establecer el marco conceptual que guiara el resto del proceso. En segundo lugar, se realizó una serie de entrevistas con expertos en el tema para identificar las posibles alternativas de gestión y las principales barreras y facilitadores para su adopción. Por último, se llevó a cabo un taller para valorar los diferentes puntos de vista de los grupos de interés implicados y elaborar una propuesta consensuada para la adopción de las medidas a aplicar.

Como punto de partida, la revisión bibliográfica se considera una tarea necesaria en todos los estudios de investigación (Flick, 2007). El objetivo de esta herramienta metodológica es identificar las aportaciones más relevantes en las que se definen los conceptos y teorías que

deben aplicarse y estructurar el problema de investigación (Grant y Booth, 2009). De este modo, se obtiene el contexto y se establece la base teórica y conceptual a partir de estudios previos sobre el tema y estudios de caso (Velten et al., 2015). Además, la experiencia adquirida en otros análisis permite identificar las principales variables que intervienen en el caso de estudio y delimitar su estructura de relaciones, lo que permite establecer hipótesis de partida (Reiter, 2017). La revisión bibliográfica incluyó tanto la literatura científica como la gris. En el primer caso, se utilizaron los principales repositorios de literatura, tanto en inglés como en español, como Dialnet, Scielo y Scopus. La literatura gris incluyó documentos publicados por fuentes oficiales como la Comisión Nacional del Agua, el Diario Oficial de México o las Naciones Unidas.

Las entrevistas son conversaciones más o menos estructuradas que generan una interacción entre las partes implicadas con el objetivo de obtener conocimientos (Qu y Dumay, 2011). Como método exploratorio de investigación, las entrevistas buscan encontrar nuevos aspectos y desarrollar preguntas de investigación sobre temas que no están claramente definidos (Næss, 2018). Las entrevistas en profundidad generan un intercambio de ideas a través de conversaciones interactivas con las partes interesadas con el objetivo de establecer una relación estrecha entre los participantes y el entrevistador para obtener respuestas exhaustivas y significativas (Rosenthal, 2016). Estas entrevistas no son estructuradas ni semiestructuradas. Se basan en un guion con una serie de preguntas abiertas que se responden durante la entrevista (DiCicco-Bloom y Crabtree, 2006). El método de selección de la muestra fue la bola de nieve. Esta técnica de muestreo no probabilístico se basa en que un pequeño conjunto de sujetos de estudio recluta a futuros sujetos entre sus conocidos. De este modo, la muestra estadística crece según un efecto bola de nieve o dominó (Flick, 2007). La utilización de esta metodología tenía dos ventajas. Por un lado, permitía contactar con la persona adecuada para el objetivo del estudio. Por otro lado, permitía una buena predisposición por parte del entrevistado al contar con la recomendación de otra persona. Participaron un total de siete expertos: dos del ámbito académico, dos de la empresa, dos de la administración y un profesional técnico. Los expertos fueron seleccionados entre personas de reconocido prestigio dentro del sector agrícola por su posición de liderazgo dentro de una organización relevante (pública o privada), número de publicaciones científicas y/o años de

experiencia. El guion de la entrevista abierta se incluye en el material complementario (Material complementario 1).

Por último, se realizó un taller para cumplir el objetivo de diseñar una propuesta de gestión consensuada por todas las partes. Esta metodología permite la colaboración de los diferentes actores para compartir sus conocimientos sobre el tema de estudio (Ahmed y Asraf, 2018). El taller es una herramienta que permite sintetizar y valorar los conocimientos procedentes de distintos ámbitos y extraer conclusiones (MacMillan y Marshall, 2006; Coleman et al., 2017). Además, puede reforzar la conexión entre los investigadores y los responsables políticos, permitiendo el desarrollo de conocimientos que pueden servir de base para generar políticas (Oreszczyn y Carr, 2008). El uso de esta metodología busca presentar todo el conocimiento obtenido en las etapas previas de la investigación, incorporar los diferentes puntos de vista de los actores y llegar a una propuesta consensuada que permita la adopción de prácticas de manejo sostenible. En la fase de entrevistas previas, se destacaron los agricultores, los responsables políticos y los investigadores como los principales grupos de interés. En el caso de los agricultores, se refiere a los propietarios privados, ya que son los principales responsables de la gestión de la tierra. Los responsables políticos se encargan de establecer políticas y normativas, así como incentivos para fomentar el comportamiento. Los investigadores son los principales proveedores de conocimientos. Mediante el procedimiento de bola de nieve, se seleccionó un número igual de miembros de cada grupo, para que hubiera una representación homogénea de los distintos grupos. De este modo, todos los grupos están en la misma posición para alcanzar un consenso imparcial.

Para establecer una jerarquía respecto al nivel de influencia de los diferentes factores identificados en relación con la adopción de cada una de las prácticas propuestas, se llevó a cabo un taller que incorporó a las partes interesadas más representativas. El taller contó con la participación de representantes de los agricultores (propietarios privados), de los responsables políticos y de los investigadores. Los agricultores (propietarios privados) son los principales afectados por las medidas propuestas y quienes deben llevar a cabo la práctica. Los responsables políticos tienen que regular y establecer incentivos para aplicar las prácticas. Por último, los investigadores son los encargados de generar los conocimientos necesarios para orientar todo el proceso. Cada uno de estos grupos contó con un total de tres

participantes, de modo que los diferentes intereses y puntos de vista se consideraron por igual.

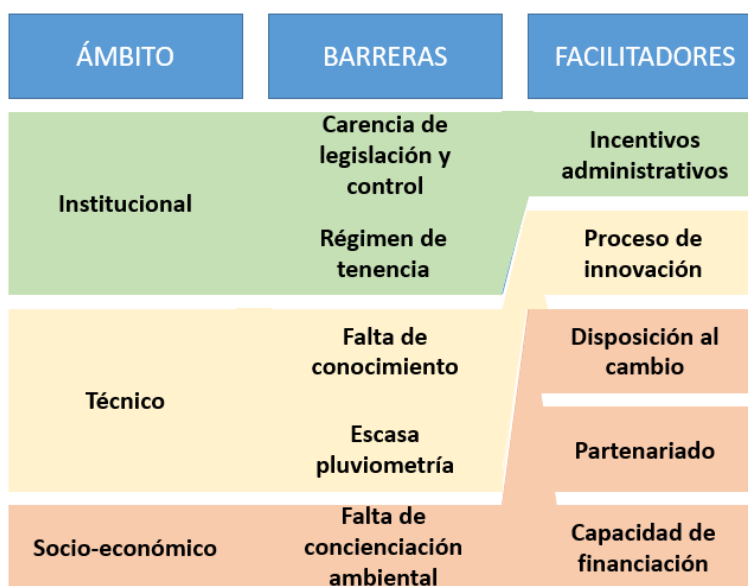
### **3. Resultados**

El problema más urgente a atender, según la percepción de los interesados, es la escasez de recursos hídricos y la sobreexplotación del acuífero Costa de Hermosillo (designado en la Ley de Aguas Nacionales como acuífero 2619), provocada por el desarrollo de las actividades agrícolas en la Costa de Hermosillo. Por ello, se han identificado diferentes prácticas para incrementar la oferta de agua para riego a través de la diversificación de fuentes. De todas las alternativas posibles, se han seleccionado dos prácticas sostenibles capaces de contribuir a la recuperación del acuífero mediante la reducción de las extracciones:

- La captación y almacenamiento de agua de lluvia (en adelante P1-práctica 1). Dadas las características de la zona de estudio, la mayor parte del agua de lluvia se pierde por evaporación o escorrentía. El agua de lluvia puede constituir un recurso de bajo coste, que sólo requiere la instalación de una pequeña infraestructura que permita su canalización y almacenamiento (FAO, 2013; Velasco-Muñoz et al., 2019b). Otro aspecto relevante es el seguimiento de las precipitaciones con el fin de planificar las necesidades de agua en función de la recogida de las lluvias anuales para los cultivos (FAO, 2013). Este seguimiento de las precipitaciones debe incluir la duración total de las mismas, la intensidad (volumen de lluvia por unidad de tiempo) y la frecuencia (número de precipitaciones en un tiempo determinado y con unas características determinadas). La recopilación de estos datos permite diseñar un modelo de predicción climática para desarrollar procesos técnicos de infraestructuras que controlen la recogida y el almacenamiento de agua de lluvia para uso agrícola.
- La desalinización del agua de mar (en adelante P2-práctica 2). La desalinización es un proceso en el que se eliminan las sales del agua. Aunque existen diferentes métodos de desalinización, el más utilizado es la ósmosis inversa. En este proceso, el agua es conducida a través de membranas semipermeables bajo presión. Las sales quedan retenidas en las membranas, mientras que las moléculas de agua circulan.

Se identificaron cinco barreras principales y cinco facilitadores para la adopción de prácticas sostenibles en la gestión del agua de riego en la zona de estudio (Figura 2). Estos factores se clasificaron en tres grupos diferentes: institucionales, técnicos y socioeconómicos. Los obstáculos incluyen (i) la falta de regulación y el alto nivel de incumplimiento de la legislación existente; (ii) la estructura actual de la propiedad de la tierra y la concentración de los derechos de uso del agua; (iii) la falta de conocimientos técnicos sobre las innovaciones propuestas; (iv) el bajo nivel de precipitaciones; y (v) la falta de conocimientos ambientales de los agricultores. Los principales facilitadores son (i) la existencia de incentivos institucionales para la adopción de prácticas sostenibles; (ii) el continuo proceso de innovación tecnológica en el que está inmerso el sector; (iii) la disposición positiva de los agricultores hacia el cambio técnico; (iv) las relaciones de colaboración entre los diferentes actores; (v) la capacidad de financiación del sector.

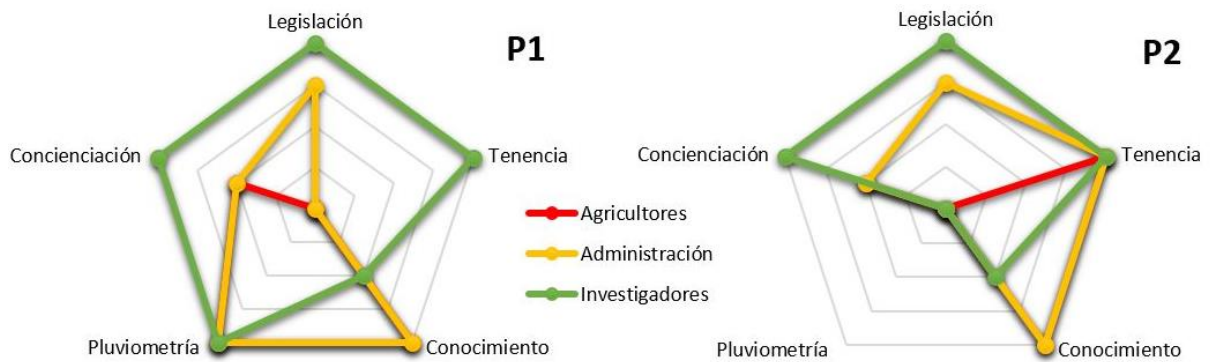
**Figura 2.** Principales barreras y facilitadores para la adopción de prácticas sostenibles



La Figura 3 ilustra los resultados relativos a la percepción de cada grupo de interesados en cuanto al nivel de influencia de cada barrera para la adopción de las prácticas propuestas. En este caso, los agricultores y los responsables políticos muestran un mayor nivel de acuerdo. Ambos grupos coinciden en considerar que las principales barreras para la adopción de los sistemas de recogida de agua de lluvia son el desconocimiento de los diferentes aspectos de la infraestructura, la capacidad y el rendimiento de la inversión, y el comportamiento errático

de las precipitaciones, que dificulta la previsión de las necesidades de agua en cada momento, especialmente con el impacto del cambio climático. Por otra parte, los investigadores señalaron el alto grado de incumplimiento de la normativa aplicable, el bajo nivel de concienciación medioambiental entre los agricultores y los responsables políticos, y el poder de los agricultores para concentrar los derechos de agua derivados del régimen de propiedad de la tierra.

**Figura 3.** Principales obstáculos para la adopción de prácticas sostenibles por grupo. P1 (recogida y almacenamiento de agua de lluvia, práctica 1); P2 (desalinización de agua de mar, práctica 2)

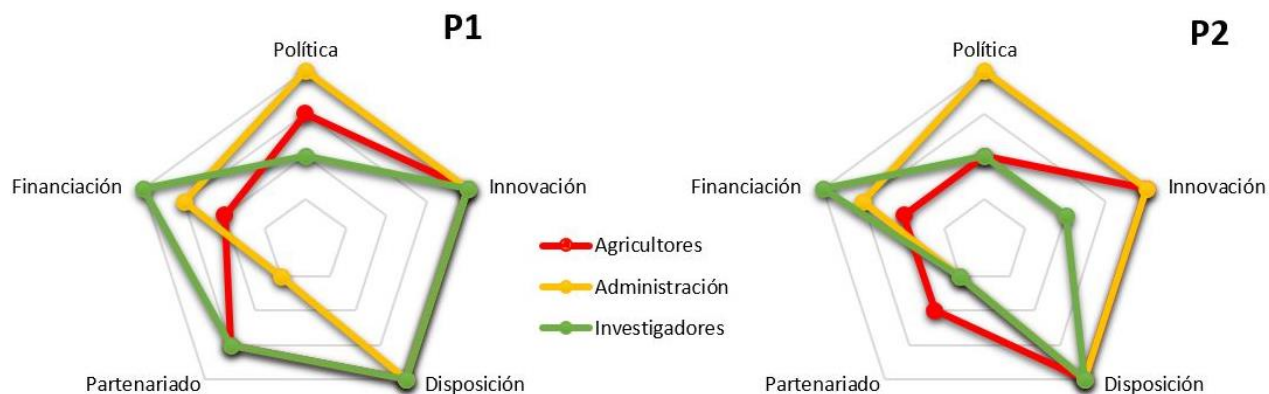


Con respecto a la instalación de la desalinizadora en la zona de estudio, los tres grupos identifican el régimen de propiedad como el principal obstáculo. Sin embargo, hay diferentes opiniones con respecto a la razón de ello. Los investigadores y los responsables políticos creen que la capacidad de negociación de los agricultores puede imponer objetivos para aumentar la superficie de cultivo en lugar de mitigar la sobreexplotación de los acuíferos. Por otro lado, los agricultores destacan la necesidad de financiación por parte de la administración, dado que el colectivo de agricultores es muy reducido y no puede acometer una inversión tan grande que correría a cargo de un número reducido de empresarios. En este caso, el factor pluviométrico no es relevante, ya que la desalación de agua de mar no depende de factores climáticos. La principal discrepancia respecto a las distintas barreras reside en que los investigadores siguen denunciando la falta de cumplimiento de la normativa y de concienciación medioambiental. Los agricultores y los responsables políticos afirman que existe un vacío en el conocimiento a nivel local sobre el impacto del uso del agua desalada. A este respecto, los investigadores sostienen que hay suficientes investigaciones a favor del uso de esta tecnología, aunque reconocen que se necesita más información a nivel local, a

pesar de que se han realizado estudios previos (Aznar-Sánchez et al., 2019c; Carrillo-Huerta y Gómez-Bretón, 2020).

En cuanto a los factores que actúan como facilitadores de la adopción de las prácticas propuestas, los resultados se muestran en la Figura 4. En este caso, las respuestas son más similares ya que se refieren a ambas alternativas de gestión. En cuanto a la recogida de agua de lluvia, los tres grupos indican que la modernización de la agricultura experimentada en las últimas décadas y la disposición de los agricultores a seguir el proceso de mejora continua son los principales pilares para la adopción de estas prácticas. Los responsables políticos indicaron que la administración ya ha realizado diferentes propuestas para fomentar el desarrollo tecnológico en la región, lo que debería servir de incentivo para la adopción de estas prácticas. Por su parte, los investigadores encuestados en este estudio apoyan que el sector tiene suficiente capacidad de financiación para cubrir la inversión necesaria para la instalación de sistemas de recogida de agua de lluvia. Sin embargo, con respecto a la instalación de la planta desalinizadora de agua de mar, los investigadores encuestados en este estudio no creen que el proceso de innovación previo sea tan positivo, dado que, hasta la fecha, el sector no ha realizado una inversión de tal envergadura, por lo que la experiencia previa no será útil para gestionar este nuevo recurso adicional.

**Figura 4.** Principales facilitadores de la adopción de prácticas sostenibles por grupo. P1 (recogida y almacenamiento de agua de lluvia, práctica 1); P2 (desalinización de agua de mar, práctica 2)



Como resultado del taller y de la puesta en común de los diferentes puntos de vista, los diferentes grupos representados establecieron una serie de puntos comunes que sirven de guía para diseñar un plan de acción para la adopción de las diferentes prácticas propuestas. Este

plan de acción se basa en tres pilares. En primer lugar, el compromiso con la reducción gradual de la extracción de agua subterránea del acuífero a medida que se disponga de nuevas fuentes de agua. En segundo lugar, una mayor colaboración y comunicación entre los diferentes grupos para obtener y difundir conocimientos y mejorar el nivel de concienciación medioambiental. Por último, el diseño de una estrategia de financiación público-privada para acometer las inversiones necesarias para el desarrollo de los proyectos propuestos.

En primer lugar, los tres grupos (agricultores, responsables políticos e investigadores) coinciden en que la situación del acuífero es insostenible y amenaza la continuidad de la actividad agrícola en la zona a medio y largo plazo, como ocurre en otros territorios costeros de esta región. Para hacer frente a este problema, los agricultores consideran positiva la reducción de la extracción de agua subterránea para el riego hasta que el acuífero se haya recargado y se disponga de otras fuentes de agua alternativas para el riego de los cultivos. De este modo, no se ampliarán las zonas de cultivo hasta que se amplíe el suministro de agua y el posible excedente se utilizará para recargar las masas de agua subterráneas.

En segundo lugar, para garantizar el cumplimiento de este compromiso, todos los grupos coinciden en que es necesario trabajar conjuntamente para diseñar la mejor estrategia de implantación de los nuevos procesos. Por un lado, se requiere un conocimiento técnico actualizado que permita optimizar la inversión. Estos conocimientos deben obtenerse directamente en las explotaciones, por lo que es necesaria una estrecha colaboración entre investigadores y agricultores. Por otra parte, los responsables políticos deben dar cobertura e implicarse en todos los niveles para que el proceso tenga éxito. Por lo tanto, debe haber una colaboración a tres bandas. Por otro lado, debe mejorarse el nivel de concienciación ambiental respecto a los diferentes procesos relacionados con la agricultura, no sólo en lo que se refiere a la gestión del agua, sino también a los referidos a la conservación del suelo y a la contaminación atmosférica. Estos factores dan lugar a una mejor conservación de los recursos hídricos. Por último, una gestión integral del ecosistema agrícola es la única forma de mantener los medios de subsistencia para las generaciones futuras.

En tercer lugar, la realización de las inversiones propuestas, especialmente la planta desalinizadora de agua de mar, requiere un volumen de inversión considerable. Según el consenso alcanzado, dado el interés general por la conservación de las masas de agua



subterráneas, a la vez que se mantiene una producción agrícola que sustenta a buena parte de la población de la zona de estudio, la mejor opción es el desarrollo de un proyecto de financiación conjunta entre la administración y los empresarios. De esta forma, se internalizaría la externalidad negativa (resultado negativo de la actividad agraria no incorporado en sus costes) generada con la sobreexplotación del acuífero por parte de los agricultores y se compensaría a éstos con la externalidad positiva (resultado positivo de la actividad agraria no incorporado en sus beneficios) generada por la creación de puestos de trabajo y el aseguramiento de la población rural.

#### **4. Discusión**

Entre los diferentes aspectos que condicionan la sostenibilidad del modelo productivo agrícola en la Costa de Hermosillo, el abastecimiento de agua es un problema estructural acuciante. Esta situación se ve agravada por el impacto del cambio climático global en los patrones de temperatura y precipitación. Por ello, todos los actores involucrados coinciden en que es necesario tomar medidas. Esto se debe principalmente a que los productores ya son conscientes de la disminución de la productividad de los cultivos debido a la alta salinidad de las aguas subterráneas, que son la única fuente de agua para el riego. Carrillo-Huerta y Gómez-Bretón (2020) realizaron un estudio sobre la evaluación de la tecnología de riego en un distrito con un acuífero sobreexplotado en Puebla, México. Entre sus resultados, identificaron a los agricultores y a los responsables políticos como los grupos de interés clave en la gestión de los recursos hídricos. Estos resultados son similares a los obtenidos en el presente estudio. Sin embargo, en su caso, la vía elegida para mejorar la gestión de los recursos hídricos y el estado del acuífero fue por el lado de la demanda, mientras que en este estudio el enfoque fue aumentar la oferta del recurso. Dévora-Isiordia et al. (2016) estimaron un aumento de una tonelada por hectárea en la producción de sorgo utilizando agua desalinizada (0,1 dS/m) en lugar de agua salobre de pozo (10,3 dS/m) en el Valle de Yaki, Sonora. Además, estos autores han comprobado la viabilidad técnica y económica del uso de agua desalada en la zona de estudio comparando diferentes desarrollos técnicos (Dévora-Isiordia et al., 2013). Sus resultados muestran que el precio del agua desalada (obtenida a partir de agua salobre) era de 0,6 US\$/1000L, mientras que para el agua de mar era de 1,2

US\$/1.000L. Otros estudios muestran que el agua desalinizada puede ser más costosa en términos monetarios y energéticos en comparación con otras fuentes. Un informe en el que se comparaba el coste de las opciones alternativas de suministro y eficiencia del agua en California (Cooley y Phurisamban, 2016) citaba que el agua desalada era la fuente más cara en comparación con las aguas subterráneas, con un coste de 2.100 \$/pie de acre para los proyectos grandes y de 2.800-4.000 \$/pie de acre para los proyectos más pequeños. La más barata era el agua de lluvia captada (590 \$/pie de acre). La segunda más barata fue el agua salobre desalinizada (requiere menos energía que para desalinizar el agua de mar). Se demuestra que el agua reutilizada podría ser una fuente alternativa más económica que el agua de mar desalada. La razón por la que el agua reutilizada no se incluyó inicialmente como alternativa en este estudio fue que en la zona de estudio existen 44 plantas de tratamiento de agua para su reutilización con fines industriales y para el riego de jardines y zonas verdes. Por tanto, su disponibilidad para la agricultura es menor. Sin embargo, los autores de este trabajo lo proponen como una futura línea de investigación debido a que algunas de estas plantas están infrautilizadas, al diferencial de precios indicado y a la mejora de la circularidad del agua urbana que supondría la reutilización.

Los sistemas de captación de agua de lluvia, adaptados a diferentes tipos de prácticas agrícolas, están ampliamente desarrollados y han demostrado su viabilidad para complementar el riego en ambientes semiáridos (Velasco-Muñoz et al., 2019b). Loera-Alvarado et al. (2019) realizaron un estudio para comprobar la idoneidad del agua de escorrentía para uso agrícola en el estado de San Luis Potosí. A partir de sus resultados, concluyeron que el agua de escurrimiento almacenada en presas de tierra es de excelente calidad para su uso agrícola (incluso en suelos de muy baja permeabilidad) y para cultivar productos sensibles a la salinidad y al sodio. Sin embargo, indican que es necesario evaluar la idoneidad del agua junto con las características edafoclimáticas del lugar para establecer un sistema de gestión adecuado para cada caso concreto. Esto sería especialmente necesario en el caso de combinar el agua de escorrentía con el agua de mar desalada, según la propuesta de este estudio. López-Hernández et al. (2017) comparan un sistema de captación de agua de lluvia con la extracción de agua subterránea para uso doméstico y agrícola en un municipio del estado de Tlaxcala, México. Sus resultados muestran que el agua de lluvia puede ser más viable económicamente que la extracción de agua subterránea cuando la demanda es baja.

Una futura línea de investigación podría comparar la demanda de los dos tipos de agua en la zona de estudio para establecer el punto de inflexión en el uso de estos dos recursos e incidir en el control de la demanda para minimizar el uso del agua del acuífero.

Como ya se ha mencionado, en la zona de estudio existe una normativa para la concesión de los derechos de extracción de aguas subterráneas para el riego, que establece un límite máximo por agricultor (Martínez-Peralta y Moreno-Vázquez, 2016). Estos derechos se obtienen a través de la Asociación de Usuarios del Distrito 051 (AUDR, 051), hasta el máximo permitido por la ley (Manzanares-Rivera, 2016). Sin embargo, en la práctica esta condición no se cumple. Existe una falta de control en cuanto a la superficie que se riega con aguas subterráneas y la cantidad de agua extraída por cada concesionario. Por otra parte, la estructura de la propiedad de la tierra ha permitido que un pequeño grupo de propietarios controle grandes superficies (Moreno-Vázquez, 2005). Esto ha dado lugar a la concentración, en paralelo, de los derechos de agua, y ha relegado a una gran parte de la población de la zona al papel de jornalero. Esto, a su vez, otorga un alto grado de poder de negociación a los propietarios privados, frente al proletariado y la administración, dado que sus decisiones tienen importantes repercusiones a nivel medioambiental, económico y social para toda la región. Desde el punto de vista técnico, existe un desconocimiento sobre el impacto de la adopción de las prácticas propuestas, debido a su carácter innovador en el área de estudio (Villa-Rodríguez y Bracamonte-Sierra, 2013). Además, la escasez de lluvias es un factor a tener en cuenta, sobre todo en el caso de la práctica de la recolección de lluvias. En el caso de esta práctica específica, el desarrollo de escenarios para evaluar la viabilidad técnica y económica de la inversión es mucho más relevante. Por último, desde el punto de vista social, los criterios económicos a corto y medio plazo tienen un papel destacado en la toma de decisiones. Por el contrario, los principales impactos sociales y medioambientales se observan a medio y largo plazo (Yáñez-Quijada y Camarena-Gómez, 2019). Entre los impactos sociales se encuentran la desigualdad, la precariedad laboral y el deterioro de la salud, especialmente de las personas más vulnerables (Carrasco-Quintero et al., 2016). Los impactos ambientales incluyen el deterioro y el agotamiento de las masas de agua, la transformación del paisaje y la infertilidad del suelo (Laurett et al., 2021). En este sentido, existe un bajo nivel de concienciación sobre el concepto de sostenibilidad entre los agricultores. Por su parte, los jornaleros no tienen capacidad para influir en las decisiones de

los terratenientes. Reciben salarios bajos, que complementan con una agricultura de subsistencia en pequeñas parcelas improductivas. En muchos casos, se ven obligados a emigrar para mejorar sus condiciones de vida en Estados Unidos. Aznar-Sánchez et al. (2021) estudiaron el uso de agua de mar desalada como medida para aumentar el suministro de agua de riego y mejorar la sostenibilidad de un acuífero sobreexplotado en España. En su caso, las principales barreras por parte de los agricultores fueron el bajo nivel de conocimiento sobre el impacto del uso de este tipo de agua, el aumento de los costes (por ejemplo, debido al mayor uso de fertilizantes) y el precio del agua. Estos dos últimos factores no fueron identificados por los interesados en el presente estudio.

A pesar de estas barreras, la zona de estudio cuenta con una serie de facilitadores para la adopción de prácticas sostenibles en la gestión del agua para riego. A nivel institucional, existe la voluntad de ofrecer incentivos económicos y de asesoría técnica para la adopción de innovaciones tecnológicas, lo que conlleva una mejora de las exportaciones, todo ello bajo el paraguas del TLCAN. Desde el punto de vista técnico, y también desde la entrada en vigor del TLCAN, la Costa de Hermosillo ha experimentado un proceso de innovación, tanto a nivel tecnológico como organizativo (Dévora-Isiordia et al., 2013). El éxito de este proceso ha generado un gran interés por la mejora continua entre los agricultores. Además, durante este periodo se han establecido vínculos entre los agricultores a través de los organismos oficiales y de los profesionales que promueven intereses comunes, como la gestión del agua o la comercialización de los productos (Martínez-Peralta y Moreno-Vázquez, 2016). Carrillo-Huerta y Gómez-Bretón (2020) identificaron la asistencia técnica como la principal contribución de los gestores públicos a la adopción de prácticas de riego sostenibles. Por parte de los agricultores, estos autores encontraron que el asociacionismo en torno a las comunidades de regantes es el principal facilitador hacia una gestión sostenible que permita la recuperación del acuífero. Del mismo modo, existe un estrecho contacto entre las organizaciones empresariales agrarias y la Administración Pública. Estas relaciones constituyen facilitadores a la hora de diseñar propuestas legislativas y aportar recursos. Por último, como consecuencia de la actividad exportadora y su atractivo para la inversión, existe capacidad financiera suficiente para llevar a cabo las inversiones necesarias para mejorar el sector productivo agrario en la zona de estudio, siempre que se pueda rentabilizar la inversión. Carrillo-Huerta y Gómez-Bretón (2020) identificaron en su estudio el precio del

agua como un factor determinante en la gestión del riego desde el punto de vista de la demanda. Este factor no ha sido señalado por los interesados en nuestro estudio desde la perspectiva de la oferta. Aznar-Sánchez et al. (2021) identificaron la posibilidad de diversificación de cultivos y la falta de disponibilidad de otras fuentes alternativas como los principales facilitadores del uso de agua de mar desalada para el riego.

Carrillo-Huerta y Gómez-Bretón (2020) señalan que la falta de consenso en el diseño y planificación de las medidas de gestión del riego es la principal causa del actual estado de deterioro del acuífero, fruto de la sobreexplotación. Por ello, aunque la propuesta que se hace en este trabajo puede ser ambiciosa, contar con el acuerdo de los principales interesados es un punto de partida positivo. El proyecto de construcción de una planta desalinizadora de agua de mar implica la movilización de una gran cantidad de recursos, no sólo para la instalación de desalinización, sino también para la canalización y el transporte del agua. Por otro lado, en 2017, la gobernadora del estado de Sonora, Claudia Pavlovich, encabezó una propuesta para la construcción de una planta desalinizadora con una capacidad de 6.307.200 m<sup>3</sup> anuales dedicados al consumo humano (Gobierno de Sonora, 2021). Este proyecto aún no se ha llevado a cabo. Sin embargo, es una prueba de que la propuesta realizada en este documento cuenta con un amplio apoyo y el respaldo de la clase política.

Por último, cabe señalar que la principal limitación de este estudio es su carácter exploratorio y la información cualitativa en la que se basa. Por ello, se propone como línea de investigación futura la elaboración de una amplia encuesta a las partes interesadas. El objetivo de esta encuesta sería verificar el apoyo real de todos los interesados a la propuesta, así como identificar los posibles puntos conflictivos que se puedan detectar.

## **5. Conclusiones**

El objetivo de este estudio es elaborar una propuesta de mejora de la gestión de los recursos hídricos de la Costa de Hermosillo que sea capaz de: (i) mejorar la situación de sobreexplotación de las masas de agua subterráneas, (ii) contribuir a la sostenibilidad de la actividad agrícola en la zona, y (iii) alcanzar un consenso entre las diferentes partes implicadas para garantizar el éxito de su implantación.

Los resultados muestran que la principal preocupación de los diferentes actores para garantizar la sostenibilidad de un sistema agrícola en un entorno semiárido es la disponibilidad de agua. La tecnología ofrece diversas alternativas para intentar aumentar el suministro de agua a través de fuentes distintas a las masas de agua sobreexplotadas. En los sistemas basados en el uso de aguas subterráneas con problemas de intrusión de agua de mar, las fuentes de agua alternativas, como el agua de mar desalinizada, el agua de lluvia, el agua salobre y el agua municipal regenerada, son posibles fuentes alternativas para las aguas subterráneas y superficiales.

Los resultados también muestran que los principales factores impulsores de la adopción de innovaciones en la gestión del riego agrícola son la existencia de incentivos institucionales para la adopción de prácticas sostenibles; el continuo proceso de innovación tecnológica en el que está inmerso el sector; la buena disposición de los agricultores hacia el cambio técnico; las relaciones de colaboración entre los diferentes actores; y la capacidad de financiación del sector. Los principales elementos que dificultan la adopción de estas prácticas son la falta de regulación y el alto nivel de incumplimiento de la legislación vigente; la estructura de la propiedad de la tierra actual y la concentración de los derechos de uso del agua; la falta de conocimientos técnicos pertinentes a las innovaciones propuestas; el bajo nivel de pluviometría; y la falta de conocimiento ambiental de los agricultores.

La principal aportación de este estudio es una propuesta diseñada por los agricultores, responsables políticos e investigadores de la zona para evaluar la implantación de sistemas de recogida de agua de lluvia y la construcción de una planta desalinizadora de agua de mar. Esta propuesta se basa en tres pilares de actuación (i) la reducción de las extracciones, (ii) la cooperación continua y (iii) la financiación público-privada. Estos pilares constituyen las líneas de trabajo prioritarias para que los actores lleven a cabo el plan diseñado para mejorar la sostenibilidad en el uso de los recursos hídricos para el riego. Por ello, es imprescindible un fuerte compromiso de todos los actores en estos tres ámbitos de actuación. Además, dado que la concentración de la propiedad de la tierra conlleva a su vez una concentración de los derechos de uso del agua, sería deseable actualizar las formas de gobernanza del agua de forma que se desvincule el uso de la tierra del uso del agua.

## Bibliografía

- Adeyemi, O.; Grove, I.; Peets, S.; Norton, T. Advanced monitoring and management systems for improving sustainability in precision irrigation. *Sustainability* 2017, 9, 353. <https://doi.org/10.3390/su9030353>.
- Ahmed, S.; Asraf, R.M. The workshop as a qualitative research approach: Lessons learnt from a “critical thinking through writing” workshop. *Turk. Online J. Des. Art Commun.* 2018, September 2018 Special Edition, 1504–1510. <http://doi.org/10.7456/1080SSE/201>.
- Aznar-Sánchez, J.A.; Belmonte-Ureña, L.J.; Velasco-Muñoz, J.F.; Manzano-Agugliaro, F. Economic analysis of sustainable water use: A review of worldwide research. *J. Clean. Prod.* 2018, 198, 1120–1132. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.066>.
- Aznar-Sánchez, J.A.; Piquer-Rodríguez, M.; Velasco-Muñoz, J.F.; Manzano-Agugliaro, F. Worldwide research trends on sustainable land use in agriculture. *Land Use Pol.* 2019a, 67, 104069. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104069>.
- Aznar-Sánchez, J.A.; Velasco-Muñoz, J.F.; Belmonte-Ureña, L.J.; Manzano-Agugliaro, F. The worldwide research trends on water ecosystem services. *Ecol. Indic.* 2019b, 99, 310–323. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.12.045>.
- Aznar-Sánchez, J.A.; Belmonte-Ureña, L.J.; Velasco-Muñoz, J.F.; Valera, D.L. Aquifer sustainability and the use of desalinated seawater for greenhouse irrigation in the Campo de Níjar, Southeast Spain. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2019c, 16, 898. <https://doi.org/10.3390/ijerph16050898>.
- Aznar-Sánchez, J.A.; Belmonte-Ureña, L.J.; Velasco-Muñoz, J.F.; Valera, D.L. Farmers’ profiles and behaviours toward desalinated seawater for irrigation: Insights from South-east Spain. *J. Clean. Prod.* 2021, 296, 126568. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126568>
- Banco Mundial. 2021. <https://data.worldbank.org/indicator/SL.AGR.EMPL.ZS?end=2019&locations=MX&start=1991>

- Bracamonte, A.; Valle, N.; Méndez, R. La nueva agricultura sonorenses: Historia reciente de un viejo negocio. *Región Soc.* 2007, 19, 51–70. <https://doi.org/10.22198/rys.2007.0.a565>.
- Bravo-Pérez, H.M.; Castro-Ramírez, J.C.; Magaña-Zamora, J.D.; Reyes-Martínez, A. Evaluación de políticas alternativas de suministro de agua en Hermosillo, Sonora, México. *Tecnol. Cien. Agua* 2013, 4, 163–169. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222013000200011](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222013000200011)
- Camarena-Gómez, B.O.; Ochoa-Nogales, C.B.; Valenzuela-Quintanar, A.I. Comunicación y percepción del riego por compuestos orgánicos persistentes en jornaleros agrícolas de Sonora, México. *POLIS Rev. Latinoam.* 2014, 13, 275–300. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-65682014000300013>.
- Carrasco-Quintero, M.R.; Ortiz-Hernández, L.; Roldán-Amaro, J.A.; Chávez-Villasana, A. Desnutrición y desarrollo cognitivo en infantes de zonas rurales marginadas de México. *Gac. Sanit.* 2016, 30, 304–307. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2016.01.009>.
- Carrillo-Huerta, M.M.; Gómez-Bretón, E. La tecnología en el uso sustentable del agua para riego en México. El caso del acuífero de Tecamachalco, Puebla, 2017. *Panor. Econ.* 2020, 15, 27–56. <https://doi.org/10.29201/pe-ipn.v15i30.250>.
- Ceratti, M. *Dos Planetas Más Para Poder Vivir En Este*; World Bank: Washington, DC, USA, 2016. <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2016/08/09/objetivo-desarrollo-sostenible-ods-12-consumo>
- Coleman, S.; Hurley, S.; Koliba, C.; Zia, A. Crowdsourced Delphis: Designing solutions to complex environmental problems with broad stakeholder participation. *Glob. Environ. Chang.* 2017, 45, 111–123. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.05.005>.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2019). *Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego, Año Agrícola 2017–2018*. CONAGUA, México D.F., México.



[https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/EAUR\\_2017-2018.pdf](https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/EAUR_2017-2018.pdf)

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2020). Actualización de la Disponibilidad Media anual de Agua en el Acuífero Costa de Hermosillo (2619) Estado de Sonora 2020. Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas, Comisión Nacional del Agua, México D.F., México. [https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos\\_Acuiferos\\_18/sonora/DR\\_2619.pdf](https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/sonora/DR_2619.pdf)

Cooley, H.; Phurisamban, R. The Cost of Alternative Water Supply and Efficiency Options in California. Pacific Institute: Oakland, CA, USA, 2016. ISBN-978-1-893790-75-9.

Cunningham, S.A.; Attwood, S.J.; Bawa, K.S.; Benton, T.G.; Broadhurst, L.M.; Didham, R.K.; McIntyre, S.; Perfecto, I.; Sam-ways, M.J.; Tscharrntke, T.; et al. To close the yield-gap while saving biodiversity will require multiple locally relevant strategies. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2013, 173, 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.04.007>.

Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas División de Población (UNDESA, 2019). Probabilistic population Projections Based on the World Population Prospects: The 2019 Revision. Nueva York, USA. <https://population.un.org/wpp>

Dévora-Isiordia, G.E.; González-Enríquez, R.; Ruiz-Cruz, S. Evaluación de procesos de desalinización y su desarrollo en México. *Tecnol. Cienc. Agua* 2013, 4, 27–46.

Dévora-Isiordia, G.E.; López, M.; Fimbres, G.; Álvarez, J.; Astorga, S. Desalación por ósmosis inversa y su aprovechamiento en la agricultura en el valle del Yaqui, Sonora, México. *Tecnol. Cien. Agua* 2016, 3, 155–169. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222016000300155](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222016000300155)

- Diario Oficial de México. 1992. Ley de Aguas Nacionales. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1992. [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lan/LAN\\_orig\\_01dic92\\_ima.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lan/LAN_orig_01dic92_ima.pdf)
- Díaz-Caravantes, R.E.; Bravo-Peña, L.C.; Alatorre-Cejudo, L.C.; Sánchez-Flores, E. Presión antropogénica sobre el agua subterránea en México: Una aproximación geográfica. *Investig. Geográficas* 2013, 82, 93–103. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46112013000300007&script=sci\\_abstract](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46112013000300007&script=sci_abstract)
- Díaz-Garza, A.M.; Fierro-Rivera, J.I.; Pacheco, A.; Schüßler, A.; Gradilla-Hernández, M.S.; Senés-Guerrero, C. Temporal Dynamics of Rhizobacteria Found in Pequin Pepper, Soybean, and Orange Trees Growing in a Semi-arid Ecosystem. *Front. Sustain. Food Syst.* 2020, 419, 602283. <http://doi.org/10.3389/fsufs.2020.602283>.
- Díaz-José, J.; Guevara-Hernandez, F.; Rodríguez-Larramendi, L.A.; Nahed-Toral, J.; Pinto-Ruiz, R.; Coss, A.L.; Aguirre-López, J.M. Vulnerability, innovation and social resilience in the maize (*Zea mays* L.) production: The case of the conservation tillage club of Chiapas, México. *Trop. Subtrop. Agroecosystems* 2018, 21(3), 399–408. <http://dx.doi.org/urn:ISSN:1870-0462-tsaes.v21i3.2440>
- DiCicco-Bloom, B.; Crabtree, B.F. The qualitative research interview. *Med. Educ.* 2006, 40, 314–321. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2929.2006.02418.x>.
- Dyer, G.A.; Hernández-Solano, A.; Meza-Pale, P.; Robles-Berlanga, H.; Yúnez-Naude, A. Mexican agriculture and policy under NAFTA. En *Serie Documentos de Trabajo del Centro de Estudios Económicos* 2018–04; El Colegio de México, Centro de Estudios Económicos: México City, México, 2018.
- Flick, U. *Designing Qualitative Research*; SAGE Publications Ltd.: New York, NY, USA, 2007. ISBN: 9780761949763. <https://dx.doi.org/10.4135/9781849208826>.
- Forouzani, M.; Karami, E. Agricultural water poverty index and sustainability. *Agron. Sustain. Dev.* 2011, 31, 415–432. <https://doi.org/10.1051/agro/2010026>.

- Fu, H.Z.; Wang, M.H.; Ho, Y.S. Mapping of drinking water research: A bibliometric analysis of research output during 1992–2011. *Sci. Total Environ.* 2013, 443, 757–765. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.11.061>.
- García, L.B.; Dávila, J.P.; Acosta, F.O.; Lizán, S.S.; Acuña, I.J.; López, F.G. Degree of sustainability of rural development in subsistence, intermediate, and commercial farmers, under an autopoietic view point. *Rev. Cient.* 2009, 19, 650–658.
- Garduño-Rivera, R. Regional Economic Development in México: Past, Present, and Future. In *NAFTA's Impact on México's Regional Development; New Frontiers in Regional Science: Asian Perspectives*; De León-Arias, A., Aroca, P., Eds.; Springer: Singapore, 2021; Volume 51. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-3168-9\\_3](https://doi.org/10.1007/978-981-16-3168-9_3).
- Gobierno de Sonora. 2021. Desaladora Sonora. <https://desaladora.sonora.gob.mx/>
- Grant, M.J.; Booth, A. A typology of reviews: An analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Inf. Libr. J.* 2009, 26, 91–108. <http://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x>.
- Gutiérrez-Moreno, M.; Sánchez-Atondo, A.; Mungaray-Moctezuma, A.; Salazar-Briones, C. Sustainability prospective for water resources in Northwestern México: Use of recycled concrete for Agricultural purpose water supply. *Interciencia* 2020, 45, 370–377.
- Hernández-Pérez, J.L. Los Cambios en el Patrón de Cultivos en Sonora a Partir del Proceso de Restauración Agrícola en México: El Caso de la Costa de Hermosillo. Proyecto Fin de Máster, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD): Hermosillo, México, 2012.
- Hunter, M.C.; Smith, R.G.; Schipanski, M.E.; Atwood, L.W.; Mortensen, D.A. Agriculture in 2050: Recalibrating targets for sustainable intensification. *Bioscience* 2017, 67, 386–391. <https://doi.org/10.1093/biosci/bix010>.
- Kissinger, G.; Herold, M.; De, V. Drivers of Deforestation and Forest Degradation: A Synthesis Report for REDD+ Policymakers. Lexeme Consulting, Vancouver, Canada, August 2012. <https://www.cifor.org/knowledge/publication/5167/>

- Koren, O.; Bagozzi, B.E.; Benson, T.S. Food and water insecurity as causes of social unrest: Evidence from geolocated Twitter data. *J. Peace Res.* 2021, 58, 67–82. <http://doi.org/10.1177/0022343320975091>.
- Kuntosch, A.; König, B.; Bokelmann, W.A. Systemic Perspective to Horticultural Innovation—the Case of Energy Saving Innovations in German Horticulture Proc. II International Symposium on Horticulture in Europe ed J-C Mauget and S Godet. *Acta Hortic.* 2015, 1099, 503–510. <http://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1099.61>.
- Lastiri-Hernández, M.A.; Álvarez-Bernal, D.; Moncayo-Estrada, R.; Cruz-Cárdenas, G.; Silva García, J.T. Adoption of phytodesalination as a sustainable agricultural practice for improving the productivity of saline soils. *Environ. Dev. Sustain.* 2021, 23, 8798–8814.
- Laurett, R.; Paço, A.; Mainardes, E.W. Sustainable Development in Agriculture and its Antecedents, Barriers and Consequences—An Exploratory Study. *Sustain. Prod. Consum.* 2021, 27, 298–311. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.10.032>.
- León, A.; Agustin, A.; Sulvaran, J. The myth behind sustainable african palm crop. Socio-environmental impacts of palm oil in Chiapas, México. *Int. J. Ecol. Dev.* 2017, 32, 1–19.
- Loera-Alvarado, L.A.; Torres-Aquino, M.; Martínez-Montoya, J.F.; Cisneros-Almazán, R.; Martínez-Hernández, J.J. Calidad del agua de escorrentía para uso agrícola captada en bordos de almacenamiento. *Ecosistemas Recur. Agropecu.* 2019, 6, 283–295. <https://doi.org/10.19136/era.a6n17.1867>.
- López-Hernández, N.A.; Palacios-Vélez, O.L.; Anaya-Garduño, M.; Chávez-Morales, J.; Rubiños-Panta, J.E.; García-Carrillo, M. Diseño de sistemas de captación del agua de lluvia: Alternativa de abastecimiento hídrico. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2017, 8, 1433–1439. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342017000601433&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342017000601433&lng=es&tlng=es)

- MacMillan, D.C.; Marshall, K. The Delphi process—An expert-based approach to ecological modelling in data-poor environments. *Anim. Conserv.* 2006, 9, 11–19. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1795.2005.00001.x>.
- Mancosu, N.; Snyder, R.L.; Kyriakakis, G.; Spano, D. Water scarcity and future challenges for food production. *Water* 2015, 7, 975–992. <http://doi.org/10.3390/w7030975>.
- Manzanares-Rivera, J.L. Calidad de los recursos hídricos en el contexto de la actividad económica y patrones de salud en Sonora, México. *Salud Colect.* 2016, 12, 397–414. <https://doi.org/10.18294/sc.2016.811>.
- Martínez-Peralta, C.M. El Dilema de los Comunes en la Gran Irrigación El Caso del Acuífero de la Costa de Hermosillo, Sonora, México, 1970–2010. Tesis Doctoral, Colegio de Sonora (COLSON): Hermosillo, México, 2014.
- Martínez-Peralta, C.M.; Moreno-Vázquez, L.M. Análisis de diseño institucional de las reglas génesis de la Asociación de Usuarios del DR 051-Costa de Hermosillo. *Estud. Soc.* 2016, 47, 41–69. <file:///D:/Datos/Escritorio/Dialnet-AnalisisDeDisenoInstitucionalDeLasReglasGenesisDeL-5832007.pdf>.
- Maxwell, S.L.; Fuller, R.A.; Brooks, T.M.; Watson, J.E.M. Biodiversity: The ravages of guns, nets and bulldozers. *Nature* 2016, 536, 143–145. <http://doi.org/10.1038/536143a>.
- Moreno-Vázquez, J.L. Por Debajo del Agua. En *Sobreexplotación y Agotamiento del Acuífero de la Costa de Hermosillo, 1945–2005*; El Colegio de Sonora: Hermosillo, México, 2005; p. 507. ISBN: 9686755551.
- Næss, P. Validating explanatory qualitative research: Enhancing the interpretation of interviews in urban planning and transportation research. *Appl. Mobilities* 2018, 5, 186–205. <https://doi.org/10.1080/23800127.2018.1464814>.
- Oberle, B.; Bringezu, S.; Hatfeld-Dodds, S.; Hellweg, S.; Schandl, H.; Clement, J.; Cabernard, L.; Che, N.; Chen, D.; Droz-Georget, H.; et al. IRP (2019). *Global Resources Outlook 2019: Natural Resources for the Future We Want. A Report of the International Resource Panel*. United Nations Environment Programme,

Nairobi,

Kenya.

<https://www.resourcepanel.org/file/1161/download?token=gnbLydMn>

Ochoa-Noriega, C.A.; Aznar-Sánchez, J.A.; Velasco-Muñoz, J.F.; Álvarez-Bejar, A. The Use of Water in Agriculture in México and Its Sustainable Management: A Bibliometric Review. *Agronomy* 2020, 10, 1957. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121957>.

Ochoa-Noriega, C.A.; Velasco-Muñoz, J.F.; Aznar-Sánchez, J.A.; Mesa-Vázquez, E. Overview of Research on Sustainable Agriculture in Developing Countries. The Case of México. *Sustainability* 2021, 13, 8563. <https://doi.org/10.3390/su13158563>.

Oficina de la Presidencia de la República y Secretario Ejecutivo del Consejo Nacional de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. 2018. Informe Nacional Voluntario para el Foro Político de Alto Nivel sobre Desarrollo Sostenible 2018. Bases y Fundamentos en México Para Una Visión del Desarrollo Sostenible a Largo Plazo. Avance en el cumplimiento de la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

[http://www.agenda2030.mx/docs/doctos/InfNalVol\\_FPAN\\_DS\\_2018\\_es.pdf](http://www.agenda2030.mx/docs/doctos/InfNalVol_FPAN_DS_2018_es.pdf)

Olavarrieta-Carmona, M.V. Beneficios de la cuota energética. Estudio de caso de la Costa de Hermosillo, Sonora, México, 2006–2007. *Región Soc.* 2010, 22, 146–164. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-39252010000100007](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-39252010000100007)

Oreszczyn, S.; Carr, S. Improving the link between policy research and practice: Using a scenario workshop as a qualitative research tool in the case of genetically modified crops. *Qual. Res.* 2008, 8, 473–497. <https://doi.org/10.1177/1468794107087479>.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2013). Captación y Almacenamiento de Agua de Lluvia—Opciones Técnicas Para la Agricultura Familiar en América Latina y el Caribe; FAO: Santiago, Chile, 2013. ISBN: 978-92-5-307580-5.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2019). El sistema Alimentario en México—Oportunidades Para el Campo Mexicano en la

- Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible; FAO: Ciudad de México, México, 2019.  
<http://www.fao.org/3/CA2910ES/ca2910es.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2020). UN-Water, 2020: United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change, París, UNESCO.  
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000372985/PDF/372985eng.pdf.multi>
- Organización Mundial del Comercio (OMC, 2019). World Trade Statistical Review. 2019.  
[https://www.wto.org/english/res\\_e/statis\\_e/wts2019\\_e/wts19\\_toc\\_e.htm](https://www.wto.org/english/res_e/statis_e/wts2019_e/wts19_toc_e.htm)
- Padilla-Bernal, L.E.; Lara-Herrera, A.; Vélez-Rodríguez, A.; Loureiro, M. Sustainability and environmental management in the Mexican vegetable sector. *Acta Hort.* 2019, 1258, 163–170. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1258.23>.
- Pedro-Monzonís, M.; Solera, A.; Ferrer, J.; Estrela, T.; Paredes-Arquiola, J. A review of water scarcity and drought indexes in water resources planning and management. *J. Hydrol.* 2015, 527, 482–493. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.05.003>.
- Pérez, G.; Islas, J.; Guevara, M.; Suárez, R. The sustainable cultivation of Mexican nontoxic *Jatropha curcas* to produce biodiesel and food in marginal rural lands. *Sustainability* 2019, 11, 5823. <https://doi.org/10.3390/su11205823>.
- Pérez-López, E.P. Los Sobrevivientes del Desierto: Producción y Estrategias de Vida Entre los Ejidatarios de la Costa de Hermosillo, Sonora (1932–2010). Tesis Doctoral, UAM-Xochimilco: México City, México, 2011.
- Pérez-Valladares, C.X.; Moreno-Calles, A.I.; Casas, A.; Rangel-Landa, S.; Blancas, J.; Caballero, J.; Velazquez, A. Ecological, cultural, and geographical implications of *Brahea dulcis* (Kunth) Mart. insights for sustainable management in México. *Sustainability* 2020, 12, 412. <https://doi.org/10.3390/su12010412>.
- Qu, S.Q.; Dumay, J. The qualitative research interview. *Qual. Res. Acc. Manag.* 2011, 8, 238–264. <https://doi.org/10.1108/11766091111162070>.

- Queirós, A.; Faria, D.; Almeida, F. Strengths and limitations of qualitative and quantitative research methods. *Eur. J. Educ. Stud.* 2017, 3, 369–387. <https://doi.org/10.5281/zenodo.887089>.
- Ramírez-Arias, A.; Campos-Salazar, V.; Pineda-Pineda, J.; Fitz-Rodríguez, E. Analysis of energy consumption for tomato production in low technology greenhouses of México. *Acta Hortic.* 2020, 1296, 753–758. <http://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1296.95>.
- Reiter, B. Theory and Methodology of Exploratory Social Science Research. *Int. J. Soc. Res. Methodol.* 2017, 5, 129–150. [http://scholarcommons.usf.edu/gia\\_facpub/132](http://scholarcommons.usf.edu/gia_facpub/132)
- Rosenthal, M. Qualitative research methods: Why, when, and how to conduct interviews and focus groups in pharmacy research. *Curr. Pharm. Teach. Learn.* 2016, 8, 509–516. <https://doi.org/10.1016/j.cptl.2016.03.021>.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Recursos Hidráulicos, Pesca y Acuicultura (SAGHARPA, 2016). Programa Sectorial de Mediano Plazo de Agricultura, Ganadería, Recursos Hidráulicos, Pesca y Acuicultura 2016–2021. Hermosillo, México. [http://sagarhpa.sonora.gob.mx/portal\\_sagarhpa/images/archivos/PMP/PSMPAGRHPAPART1.pdf](http://sagarhpa.sonora.gob.mx/portal_sagarhpa/images/archivos/PMP/PSMPAGRHPAPART1.pdf)
- Servicio de Información Alimentaria, Agrícola y Pesquera (SIAP, 2019). 2019 Food & Agriculture Overview; SIAP: México, México, 2019. [https://nube.siap.gob.mx/gobmx\\_publicaciones\\_siap/pag/2019/Agricultural-Atlas-2019](https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2019/Agricultural-Atlas-2019)
- Solovieva, Y.; Quintanar, R.; Lázaro, G. Efectos socioculturales sobre el desarrollo psicológico y neurológico en niños preescolares. *Cuad. Hispanoam. Psicol. México* 2006, 6, 9–20.
- Sosa-Baldivia, A.; Ruíz-Ibarra, G. Food availability in México: An analysis of agricultural production over the last 35 years and its projection for 2050. *Pap. Poblac.* 2017, 23, 207–230. <https://rppoblacion.uaemex.mx/article/view/9111>



- Vallejo-Ramos, M.; Moreno-Calles, A.I.; Casas, A. TEK and biodiversity management in agroforestry systems of different socio-ecological contexts of the Tehuacán Valley. *J. Ethnobiol. Ethnomed.* 2016, 12, 31. <http://doi.org/10.1186/s13002-016-0102-2>.
- Velasco-Muñoz, J.F.; Aznar-Sánchez, J.A. The economic valuation of ecosystem services in the agroecosystems in Spain: Conceptual framework and methodology. *Pecunia* 2016, 22, 75–93. <http://doi.org/10.18002/pec.v0i22.5068>.
- Velasco-Muñoz, J.F.; Aznar-Sánchez, J.A.; Batlles-de-laFuente, A.; Fidelibus, M.D. Sustainable Irrigation in Agriculture: An Analysis of Global Research. *Water* 2019a, 11, 1758. <https://doi.org/10.3390/w11091758>.
- Velasco-Muñoz, J.F.; Aznar-Sánchez, J.A.; Batlles de la Fuente, A.; Fidelibus, M.D. Rainwater harvesting for agricultural irrigation: An analysis of global research. *Water* 2019b, 11, 1320. <https://doi.org/10.3390/w11071320>.
- Velasco-Muñoz, J.F.; Mendoza, J.M.F.; Aznar-Sanchez, J.A.; Gallego-Schmid, A. Circular economy implementation in the agricultural sector: Definition, strategies and indicators. *Resour. Conserv. Recycl.* 2021, 170, 105618. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105618>.
- Velten, S.; Leventon, J.; Jager, N.; Newig, J. What is sustainable agriculture? A systematic review. *Sustainability* 2015, 7, 7833–7865. <https://doi.org/10.3390/su7067833>.
- Villa-Rodríguez, A.O.; Bracamonte-Sierra, A. Procesos de aprendizaje y modernización productiva en el agro noroeste de México: Los casos de la agricultura comercial de la Costa de Hermosillo, Sonora y la agricultura orgánica de la zona sur de Baja California Sur. *Estud. Front.* 2013, 27, 217–254. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-69612013000100008](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-69612013000100008)
- Wisser, D.; Frohling, S.; Douglas, E.M.; Fekete, B.M.; Schumann, A.H.; Vörösmarty, C.J. The significance of local water resources captured in small reservoirs for crop production—A global-scale analysis. *J. Hydrol.* 2010, 384, 264–275. <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.07.032>.

Yáñez-Quijada, A.I.; Camarena-Gómez, B.O. Salud ambiental en localidades agrícolas expuestas en plaguicidas en Sonora. *Soc. Ambiente* 2019, 7, 55–82. <https://doi.org/10.31840/sya.v0i19.1939>.



**CAPÍTULO 5. GOBERNANZA DE  
LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA  
AGRICULTURA DE LA COSTA DE  
HERMOSILLO**

---



# GOBERNANZA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA AGRICULTURA DE LA COSTA DE HERMOSILLO

---

## 1. Introducción

El contexto global actual está condicionado por el crecimiento de la población mundial y el progresivo y continuo deterioro del medio ambiente. Esto plantea el reto de garantizar el suministro de recursos básicos, como los alimentos y el agua, y el desarrollo sostenible (Hossain et al., 2018), donde el agua desempeña un papel esencial en la supervivencia de la sociedad humana (Manju y Sagar, 2017) y contribuye a la prestación de una amplia gama de servicios en los que se basa el bienestar de la sociedad (Wang et al., 2011; Flávio et al., 2017). Sin embargo, los recursos hídricos están sometidos a una grave degradación debido a muchos factores, como las alteraciones en el uso del suelo, la expansión agrícola y urbana, y la sobreexplotación debida al desarrollo económico (Damkjaer y Taylor, 2017; Liu et al., 2017). Paralelamente a esta degradación y sobreexplotación de los ecosistemas y de los recursos hídricos, se espera que aumente la demanda de los servicios suministrados por estos recursos.

Los ecosistemas agrícolas son los proveedores de alimentos más relevantes, pero también son los principales usuarios de recursos hídricos a nivel mundial (Forouzani y Karami, 2011; Fu et al., 2013). Estos ecosistemas utilizan entre el 60% y el 90% del agua disponible, dependiendo del clima y del desarrollo económico de la región (Pedro-Monzonís et al., 2015; Adeyemi et al., 2017). Se calcula que la superficie mundial dedicada a los cultivos de regadío es de 275 millones de hectáreas, con una tendencia al alza del 1,3% anual (Velasco-Muñoz et al., 2019). Esto representa sólo el 23% de las tierras cultivadas; sin embargo, el 45% de la producción total de alimentos se obtiene a través de este tipo de cultivos (Zhang et al., 2017). Se ha estimado que, para satisfacer la demanda de alimentos en 2050, la producción mundial debe aumentar un 70% (Wu y Ma, 2015). En un escenario de baja producción, para cumplir este objetivo será necesario aumentar el uso de los recursos hídricos a nivel mundial en un 53%, alrededor del 50% en los países en desarrollo y el 16% en los países desarrollados (Fischer et al., 2007), manteniendo los valores actuales de variables como la productividad y la tecnología (De Fraiture y Wichelns, 2010).

Las consecuencias del cambio climático global suponen un reto añadido para la gestión de los recursos hídricos a nivel mundial. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) señala que el cambio climático antropogénico está aumentando la intensidad y la variabilidad de las precipitaciones y elevando la temperatura del agua a escala mundial (Perkins et al., 2007). Se prevé que estos impactos afecten a la disponibilidad global del agua y a su calidad, exacerbando muchos de los problemas de contaminación y distribución existentes (Bates et al., 2008). También se esperan efectos significativos en cuestiones relacionadas con la seguridad alimentaria, la biodiversidad, la seguridad económica y los conflictos humanos (Dell'Angelo et al., 2018; Melo-Zurita et al., 2018). Así pues, a medida que los impactos del cambio climático siguen afectando al acceso al agua y a su calidad, la necesidad de estructuras innovadoras de gobernanza del agua se hace más acuciante (Godden et al., 2011). Esto es especialmente relevante, ya que las actuales prácticas de gestión del agua desarrolladas a escala local, regional y nacional pueden no tener en cuenta adecuadamente los impactos del cambio climático. Además, esta situación se ve agravada por las posibles limitaciones de confiar en las experiencias hidrológicas del pasado para asegurar los paisajes acuáticos en el futuro (Huntjens et al., 2011; Conway, 2013). En este contexto, la gobernanza del agua se ha convertido en una cuestión medioambiental global cada vez más destacada (Conca et al., 2008; Huitema et al., 2009).

Se ha reconocido cada vez más que muchos de los problemas de la gestión del agua están más asociados a fallos de gobernanza que a cuestiones relacionadas con los recursos (por ejemplo, la escasez). La gobernanza del agua se refiere al marco político, económico, social y administrativo que permite determinar quién tiene acceso al agua, dónde, cuándo y bajo qué condiciones, quién se beneficia de su uso y cómo se reparten los costes de los servicios relacionados con el agua. Por ello, se ha afirmado que es necesario un cambio de paradigma que se aleje de las estrategias tecnocráticas de gestión del agua y se acerque a regímenes que aprecien las complejidades institucionales y las dimensiones humanas de los recursos hídricos (Pahl-Wostl et al., 2008,2010). Un problema clave de la gobernanza mundial del agua, y de la gobernanza mundial del medio ambiente en general, ha sido que los regímenes internacionales han adoptado por lo general una visión de ajuste en los límites, rehuendo los enfoques en los que el reto es desarrollar nuevos mecanismos para abordar las controversias socioecológicas.

La llamada “Ciencia de la Sostenibilidad” también estudia cómo afrontar estos retos. Se define como una disciplina que señala el camino hacia una sociedad sostenible y está orientada a comprender el carácter fundamental de las interacciones entre los sistemas naturales, humanos y sociales, abarca una amplia gama de disciplinas académicas, para el desarrollo de sistemas agrícolas y el uso sostenible del agua (Yarime et al., 2010; Juwana et al., 2012). A finales de la década de 1990, la sostenibilidad se utilizó como característica para describir los ecosistemas, refiriéndose a la capacidad de mantener el flujo de servicios en diferentes contextos ambientales, económicos y sociales (Becker, 1997). Cuando se aplica a la gestión de los recursos hídricos en la agricultura, la sostenibilidad se considera una serie de prácticas que aumentan el rendimiento de los cultivos y minimizan las pérdidas de agua (Mancosu et al., 2015). Los objetivos de la gestión sostenible de los recursos hídricos en la agricultura consideran la continuidad del sistema agrícola desde las perspectivas física y biológica, así como la eficiencia económica del uso de los recursos y la participación social en los procesos de toma de decisiones (Ioris et al., 2008). La evaluación de un cambio en el uso del agua requiere, por tanto, un enfoque multidisciplinar que incluya un análisis de la masa de agua en estudio para conocer los posibles impactos en la cantidad y calidad del agua y el calendario de los diferentes usos. También se requiere una evaluación exhaustiva de la productividad marginal del agua, junto con un análisis de su valor no comercializable, como el derivado de los servicios ecosistémicos (Ward y Michelsen, 2002).

Por todo ello, en este capítulo se analizan los principales determinantes del modelo de gobernanza de los recursos hídricos en la agricultura de la Costa de Hermosillo, para detectar sus posibles limitaciones y realizar las propuestas oportunas orientadas a mejorar su sostenibilidad. Para ello, se realiza una revisión de bibliografía, incluyendo documentos legislativos, informes y demás literatura gris, que ha sido completada con entrevistas a expertos en la materia.

## **2. Administración de derechos de agua en la Costa de Hermosillo**

El régimen regulador de la gestión de los recursos hídricos en Sonora se enmarca dentro de la Ley de Aguas Nacionales de México de 1992. En base a dicha ley, se permite la concesión de agua a los agentes privados. La configuración actual de la agricultura en México pone de



manifiesto que, al igual que ocurre con la gestión de la tierra, en las zonas con mayor escasez de agua es donde más se intensifica la concentración del recurso por parte de un reducido grupo de agentes económicos para uso agrícola (Moncada et al., 2013; Gómez-Arias y Moctezuma, 2020). Esta situación se institucionalizó a partir del nuevo modelo desarrollado al amparo del TLCAN. Si bien Sonora pudo posicionarse entre los tres Estados más importantes en cuanto a valor de la producción agrícola a nivel nacional, también generó una serie de conflictos por el acceso a los recursos hídricos de la región para las actividades agrícolas (Vázquez, 2020). Este factor ha resultado el limitante más importante para la sostenibilidad de la actividad agrícola, así como para el conjunto de necesidades de la región como el abastecimiento de las comunidades. En este sentido, la tarea más compleja es mantener el equilibrio ecológico de los ecosistemas, a la par del desarrollo económico de las regiones, basado especialmente en la explotación de la agricultura.

Por lo tanto, es preciso analizar los procesos de gobernanza y las prácticas sostenibles que se han desarrollado para la gestión de los recursos hídricos de la zona. De esta forma, es importante conocer el sistema y las decisiones que, tanto a corto como a largo plazo, han desencadenado la problemática de los recursos hídricos en la zona. Conocer la historia ambiental del territorio es fundamental como eje para entender las relaciones que prevalecen hasta el presente y que han marcado la historia de la región (Alimonda, 2011), así como las transformaciones del medio generadas por la introducción de modelos tecnológicos asociados al progreso y a la modernidad, los emprendimientos y la expansión de la frontera agrícola (Lorenzana-Durán, 2019).

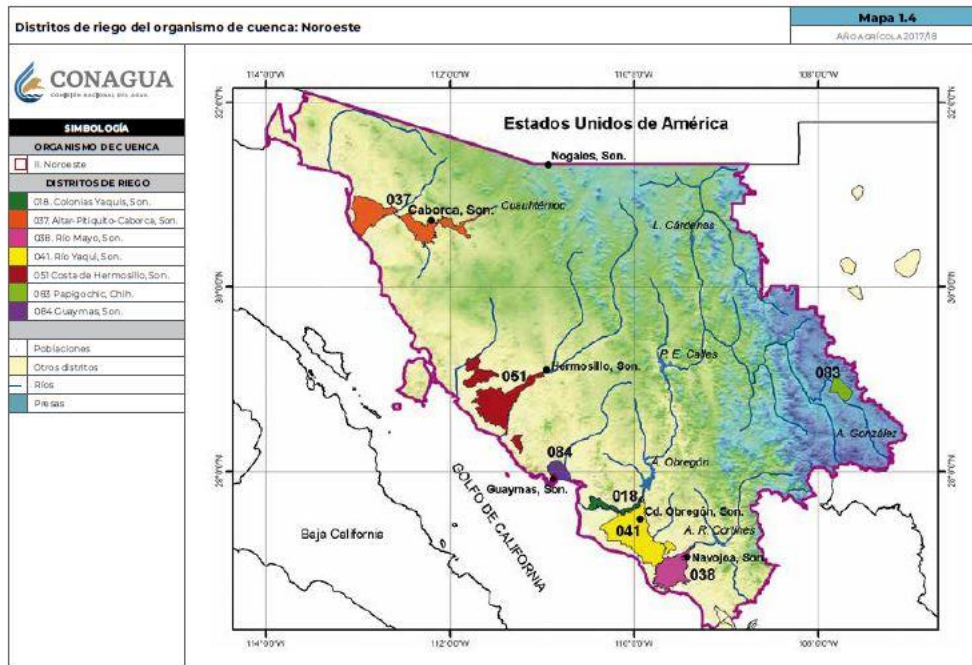
La gestión de los recursos hídricos en el país se configuró a partir de la estructura regional establecida por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en base a la Ley de Aguas Nacionales de 1992. De esta forma, se crean 13 organismos de cuenca, con el objetivo de gestionar y administrar los volúmenes de agua distribuidos para uso agrícola en los distritos de riego. El organismo de cuenca Noroeste es en el que se incluyen los distritos de riego dentro del estado de Sonora. Estos distritos son: 018. Colonias Yaqui, Son.; 037. Altar-Pitiquito-Caborca, Son.; 038. Río Mayo, Son.; 041. Río Yaqui, Son.; 051. Costa de Hermosillo, Son.; 083. Papigochic, Chih.; y 084. Guaymas, Son. Todos estos distritos de riego se alimentan del río Sonora, a excepción del distrito de riego 083, que comprende a la

agricultura de la sierra de Sonora que limita con Chihuahua y su río Papigochic (CONAGUA, 2019). En la Figura 1 se muestra la estructura organizativa de la cuenca Noroeste, incluyendo los distritos de riego distribuidos por el estado de Sonora, destacando el distrito de riego 051 Costa de Hermosillo, objeto de estudio de este trabajo.

Los Consejos de Cuenca se han establecido como instancias de coordinación y mediación entre la Comisión Nacional del Agua y los tres niveles de gobierno existentes en México (Federal, Estatal y Municipal), y los representantes de los usuarios de la respectiva cuenca hidrológica, representados a través de la Asociación de Usuarios. Los objetos que la ley de aguas confiere a los Consejos son i) formular y ejecutar programas y acciones para la mejor administración de las aguas, ii) el desarrollo de la infraestructura hidráulica y de los servicios respectivos, y iii) la preservación de los recursos de la cuenca correspondiente. A su vez, para su funcionamiento, los Consejos de Cuenca pueden contar con organismos auxiliares a nivel de subcuenca, microcuenca o acuífero. Las Comisiones y Comités de Cuenca, subordinadas a sus correspondientes Consejos de Cuenca, se forman para la resolución de problemas que, por su gravedad o complejidad, requieren atención especializada o temporal, esto significa que se forman con funciones ad hoc a las áreas a donde pertenecen.

El Consejo de Cuenca del Alto Noroeste se creó el 19 de marzo de 1999, con el objetivo de gestionar las cuencas de los ríos Sonoyta, Concepción, Santa Cruz-San Pedro y Sonora, que en total representan el 48,7% de la extensión territorial que comprende a la Región Hidrológica Administrativa del Noroeste, equivalente a 96.300 km<sup>2</sup> (CONAGUA, 2014; Parra-Armenta y Salazar-Adams, 2017). La capacidad que tienen los Consejos de Cuenca del noroeste mexicano para desenvolverse conforme a los principios de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos es muy limitada desde su propia estructura, la dinámica interna de funcionamiento y la posibilidad de afrontar los retos más relevantes en sus respectivas cuencas (Parra-Armenta y Salazar-Adams, 2017). Las principales limitaciones presentadas son la escasez de recursos, debido al reducido presupuesto otorgado por los Gobiernos federal y estatal; y la nula comunicación con el conjunto de partes interesadas.

**Figura 1.** Distritos de riego del organismo de cuenca Noroeste



Fuente: CONAGUA (2019)

En el Estado de Sonora, la gestión de los recursos hídricos es diferente en función del tipo de agua: superficial o subterránea. En el caso del agua superficial, la CONAGUA gestiona el flujo del agua a través de un sistema de presas, que incluye el Mopusari en el Mayo; y el Oviachi, el Novillo del yaqui, y la presa Ojo de Agua en Guaymas (Reyes, 2009). Para el acceso al recurso, los agricultores deben organizarse de forma autónoma por distritos de riego. De esta forma, la CONAGUA dota y conduce el agua a cada comunidad de regantes, y cada comunidad administra sus recursos hídricos de manera autónoma (Pineda, 2020). En el caso de las masas de agua subterránea, la CONAGUA no realiza una labor de control y gestión directa del recurso, sino que su papel se limita a la supervisión a través de inspecciones que realiza eventualmente (Salazar-Adams et al., 2012).

El distrito de riego Costa de Hermosillo se encuentra en una franja litoral, sin disponibilidad de agua superficial, por lo que se sustenta únicamente de agua subterránea. En este distrito se constituye la Asociación de Usuarios 051 para la administración y el control de los recursos hídricos asignados, correspondientes al acuífero principal del sistema que se identifica como el 2619. Este acuífero tiene una recarga media anual de 250 hm<sup>3</sup>/año y una

extracción media de 346 hm<sup>3</sup>/año (Martínez-Peralta, 2014). Como resultado, existe un déficit medio anual de 96 hm<sup>3</sup>/año, lo que se ha traducido en una reducción del volumen total de agua, dando lugar a un proceso de intrusión hídrica, contaminando el agua dulce disponible (CONAGUA, 2020). La Asociación de Usuarios 051 ostenta la concesión grupal del agua subterránea del distrito y gestiona los derechos de uso del agua entre los agricultores privados que la integran. La mayoría de los agricultores extraen más agua de la permitida o excavan pozos sin permisos, gracias a que ellos mismos son los responsables de su propia supervisión (Moreno-Vázquez, 2005). Esta situación es la causante de la problemática de sobreexplotación del acuífero y la intrusión salina presente en la zona.

De acuerdo con la Secretaria de Agricultura, Ganadería, Recursos Hidráulicos, Pesca y Acuicultura (SAGHARPA) en esta zona se mantiene una superficie abierta al cultivo de aproximadamente 50.000 hectáreas, especializadas en la producción de cultivos hortofrutícolas, orientados al mercado de exportación, cuyos esquemas de producción intensivos se sustentan en el uso de agua del subsuelo y riego por bombeo (SAGHARPA, 2016). En la Tabla 1 se recogen los volúmenes de agua distribuidos en el distrito y la modalidad de las tres estaciones de cosecha (otoño, primavera y perenne) en regadío.

En las Tablas 2 y 3 se recoge la información sobre tenencia de la tierra, superficie regada y volumen de agua distribuido por distrito de riego en la cuenca Noroeste, diferenciándose en el tipo de agua utilizada. Mientras que en la primera se informa sobre agua superficial, en la segunda sobre agua subterránea. La agricultura del distrito de Costa de Hermosillo es la única que se sostiene exclusivamente mediante bombeo de pozos, con un volumen distribuido de 366.528,6 miles de m<sup>3</sup> y donde predominan los cultivos de exportación: frutas y hortalizas en una superficie regada de 49.523 hectáreas. La tenencia de la tierra se concentra en la propiedad privada.

**Tabla 1.** Distrito de riego 051 Costa de Hermosillo (Sonora)

<b>Ciclo 2017-2018</b>	<b>Modalidad</b>	<b>Cultivo</b>	<b>Superficie cosechada (ha)</b>	<b>Producción (T)</b>	<b>Valor de la producción (Miles \$)</b>		
<b>Otoño-invierno</b>	<b>Riego</b>		<b>25.511</b>	<b>65.210</b>	<b>545.277,70</b>		
		Cártamo	2.950	7.818	57.957,62		
		Forrajes	65	2.763	2.834,25		
		Garbanzo	14.700	24.990	364.854,00		
		Trigo grano	4.796	29.639	119.631,84		
<b>Primavera-verano</b>	<b>Riego</b>		<b>9.500</b>	<b>441.393</b>	<b>3.087.575,75</b>		
		Calabacita	1.834	49.517	342.671,02		
		Cebolla	12	116	1.291,66		
		Chile verde	777	69.093	897.300,33		
		Frijol	800	1.600	27.200,00		
		Jitomate	95	10.882	43.271,71		
		Melón	840	27.269	201.281,99		
		Pepino	419	37.412	256.669,17		
		Sandia	4.623	244.944	1.315.077,07		
		Sorgo grano	100	560	3.212,16		
		<b>Perennes</b>	<b>Riego</b>		<b>17.513</b>	<b>237.269</b>	<b>3.776.183,78</b>
				Alfalfa	410	36.500	20.069,3
				Buffel	935	34.511	37.142,99
Cítricos	2.745			86.797	431.855,27		
Durazno	36			360	2.463,8		
Espárragos	367			3.842	134.487,15		
Higuerilla	1.400			3.080	17.420,48		
Manzano	13			176	2.071,29		
Nogal	6.825			13.650	1.197.292,96		
Persimonio	13			176	3.055,58		
Vid (Mesa)	4.769			58.177	1.929.324,95		
<b>Total</b>			<b>49.524</b>	<b>743.872</b>	<b>7.409.037,23</b>		

Fuente: elaboración propia a partir de CONAGUA (2019)

**Tabla 2.** Superficies físicas regadas y volúmenes distribuidos por tipo de aprovechamiento y tenencia en los distritos de riego del organismo de cuenca Noroeste (gravedad-presas)

Distrito de Riego	Usuarios		Superficie regadío (ha)		Volumen distribuido (Miles de m <sup>3</sup> )	
	Ejidal	Privado	Ejidal	Privado	Ejidal	Privado
Colonias Yaqui	2.446	-	19.902,10	-	253.269,40	-
Altar Pitiquito, Caborca	41	18	188,0	188,0	2.500,8	2.500,8
Río Mayo	6.960	4.130	41.726,0	34.863,2	329.374,4	245.398,5
Río Yaqui	15.331	7.256	106.845,70	93.302,1	970.705,5	855.316,4
Costa de Hermosillo	-	-	-	-	-	-
Papigochi	42	525	349,5	3.260,6	3.400,7	31.726,7
Guaymas	703	182	7.517,5	7.435,7	45.772,0	42.374,5
<b>Total</b>	<b>24.673</b>	<b>11.140</b>	<b>170.585,50</b>	<b>130.245,9</b>	<b>1.445.783,2</b>	<b>1.008.434</b>

Fuente: elaboración propia a partir de CONAGUA (2019)

**Tabla 3.** Superficies físicas regadas y volúmenes distribuidos por tipo de aprovechamiento y tenencia en los distritos de riego del organismo de cuenca Noroeste (bombeo-pozos)

Distrito de Riego	Usuarios		Superficie regadío (ha)		Volumen distribuido (Miles de m <sup>3</sup> )	
	Ejidal	Privado	Ejidal	Privado	Ejidal	Privado
Colonias Yaqui	-	-	-	-	-	-
Altar Pitiquito, Caborca	1.014	508	6.327,6	16.706,4	657.230	223.878,1
Río Mayo	-	-	-	-	96.151,9	84.379,2
Río Yaqui	385	142	3.022,6	2.021,1	280.946,2	202.135,8
Costa de Hermosillo	160	872	1.007,3	48.516,7	7.760,4	366.528,6
Papigochi	-	-	-	-	-	-
Guaymas	-	-	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>1.433,00</b>	<b>1.458</b>	<b>9.370,8</b>	<b>66.331</b>	<b>1.031.629,8</b>	<b>869.950</b>

Fuente: elaboración propia a partir de CONAGUA (2019)

En la actualidad, la Costa de Hermosillo experimenta un problema de sobreexplotación de sus recursos hídricos, producto de una serie de sucesos como consecuencia de las decisiones e implementación de la Ley de Aguas Nacionales (1992) vigente para el desarrollo de esta zona. La existencia del otorgamiento de la concesión de tipo grupal y la absoluta facultad de los productores privados para administrar el recurso acentúa la débil estructura organizacional. En segundo lugar, el escaso o nulo control administrativo de los recursos hídricos, debido principalmente a que la gestión está centralizada desde la Ciudad de México por parte de la CONAGUA (Montaño, 2020).

### **3. Propuesta de actualización del modelo de gobernanza de los recursos hídricos en la Costa de Hermosillo**

Tal y como se ha expuesto, el modelo actual de gobernanza permite un control casi absoluto por parte de los propietarios privados, a través de la asociación de usuarios. Existe una dejadez por parte de la Administración en cuanto a sus funciones de supervisión y control, para mantener el buen estado de las masas de agua. Además, se produce una discriminación hacia el resto de usuarios por parte de los propietarios privados, marginando especialmente a los pequeños productores. Por lo tanto, resulta imperativo replantear el modelo de gobernanza del recurso, a través de procesos de colaboración que pueden producirse en el seno de los consejos de cuenca. El desarrollo de un nuevo modelo debe incluir a los productores, las instituciones y los académicos especialistas en esta temática, de forma que se tengan en cuenta todos los puntos de vista y se maximice el aprovechamiento del agua, sin discriminar a ningún colectivo. Se hace imprescindible, además, dar acceso a los pequeños productores.

Para que exista una verdadera protección de las masas de agua, se debe desarrollar un mecanismo de gestión, administración y control descentralizado de las concesiones otorgadas para el aprovechamiento del agua subterránea, no solo mediante los permisos e inspecciones programadas desde la Ciudad de México. De esta forma, se posibilita una gestión detallada de los pozos perforados, no solo delegando la responsabilidad por parte de los usuarios de esta zona, sino compartiendo la labor por parte de un organismo administrativo permanente dotado a tal fin.

Por otra parte, es necesario un mayor esfuerzo para fomentar el conocimiento técnico colectivo incluyendo a agricultores, instituciones e investigadores mediante la formación de comités de supervisión de las aguas subterráneas a fin de administrar y elaborar un procedimiento para el control y el cumplimiento de la normativa vigente. Además, en este marco se debe desarrollar el reglamento para cubrir las lagunas normativas en aquellos aspectos puntuales de funcionamiento y operativa diaria. Por ejemplo, en el caso del distrito de riego por bombeo de la Costa de Hermosillo se encuentra que la normativa desarrollada a partir de LAN (1992) permite la concesión mediante un título de origen grupal, lo que supone una gestión descentralizada del recurso, y posibilita la venta de agua de manera temporal y

con volúmenes parciales. Esto ha significado que se pueda utilizar o explotar el recurso de terceros y la desaparición de algunos actores sociales (Martínez, 2020).

Las modificaciones del modelo actual de gobernanza propuestas en este trabajo se concretan en las siguientes:

1. Cambiar el modelo de otorgamiento de las concesiones de acceso a los recursos hídricos de forma que:
  - a. Las concesiones se realicen de forma individual y no grupal. De esta forma, se puede garantizar una concesión en base a características individuales de la explotación, el cultivo, el sistema de producción, etc.
  - b. Las concesiones sean realizadas por un organismo institucional en lugar de por el conjunto de regantes a través de la asociación de usuarios. De este modo se persigue una gestión más transparente y efectiva, tratando de maximizar el acceso al recurso, así como su productividad.
2. Cambiar el tipo modelo de supervisión y control en cuanto al cumplimiento de la normativa vigente, el acceso al acuífero mediante la concesión de perforación de pozos, así como de los volúmenes extraídos. Para ello se propone pasar a un modelo efectivamente descentralizado, dotando de la financiación y autonomía suficientes a los organismos encargados de la gestión de las cuencas y masas de agua subterráneas o para cada distrito de riego, con competencias en materia de supervisión y control. Este sistema institucional de distritos o cuencas debe actuar de forma coordinada para gestionar las masas de agua que superan los límites de distrito, de forma que se asegure un acceso equitativo a todo el Estado, y no se produzca sobreexplotación en los nacimientos de las cuencas, imposibilitando su continuidad aguas abajo.
3. Crear una mesa permanente de trabajo para la planificación y el desarrollo de propuestas normativas orientadas a la consecución de la sostenibilidad del modelo de gestión de recursos hídricos, donde se incluya al conjunto de partes interesadas. De esta forma, se pretende establecer un diálogo permanente entre los distintos agentes implicados, para compartir la información sobre los diferentes ámbitos de conocimiento, así como confrontar y conciliar los distintos intereses.



De esta forma, se pretende desarrollar redes entre los agricultores, las instituciones y los investigadores, como un factor fundamental para lograr los objetivos de gestión. Estos últimos son los principales productores de conocimiento en las diferentes disciplinas implicadas en la gestión de los recursos. Los distintos perfiles de agricultores son los principales usuarios del agua, por lo que tienen un papel fundamental en la aplicación de cualquier actuación, y, a su vez, son los principales interesados en la sostenibilidad del acceso al recurso. La administración es la principal responsable en el desarrollo normativo y en la aplicación, supervisión y control, debiendo velar por el interés común, especialmente de los más vulnerables. Además, para apoyar el proceso de transformación, se considera necesario llevar a cabo un plan de comunicación orientado a:

- Alcanzar un nivel de concienciación ambiental de los agricultores que fomente llevar a cabo acciones que les permitan preservar sus recursos hídricos.
- Desarrollar una mayor colaboración entre los investigadores, las instituciones, los agricultores locales y transnacionales, que permita la actualización constante del sector basándose en las necesidades de los productores y en el cumplimiento de los objetivos medioambientales.
- Evaluar la viabilidad de las prácticas y replicar los casos de éxito como ejemplos para el resto de los productores.

#### **4. Conclusiones**

Este capítulo ha tenido como objetivo analizar los principales aspectos del modelo de gobernanza de los recursos hídricos en la agricultura de la Costa de Hermosillo, para detectar sus posibles limitaciones y realizar las propuestas oportunas orientadas a mejorar su sostenibilidad. Para ello se ha realizado una revisión, fundamentalmente de literatura gris, que ha sido completada con entrevistas en profundidad a un grupo de expertos. Los resultados han puesto de manifiesto que el marco normativo emana principalmente de la Ley de Aguas Nacionales de 1992, y que la institución responsable de la concesión de derechos de uso del agua es la Comisión Nacional del Agua, que delega sus funciones en la Asociación de Usuarios.

Este modelo de gestión da lugar a ineficiencias en el uso del recurso que se sintetizan en un acceso restringido al agua, siendo monopolizado por los propietarios privados de la tierra, un predominio de la producción orientada a la exportación de cultivos comerciales, y un impacto en las masas de agua como consecuencia de la sobreexplotación. Para tratar de dar solución a estos problemas se propone un conjunto de modificaciones en el modelo de gobernanza que se concretan en:

- Cambiar el modelo de otorgamiento de las concesiones de acceso a los recursos hídricos para su tramitación de forma individual y no grupal. Además, que dichas concesiones sean realizadas por un organismo institucional en lugar de por el conjunto de regantes a través de la asociación de usuarios.
- Pasar del modelo actual de facto centralizado en la capital del país, a uno descentralizado, mediante la creación de organismos institucionales plenamente operativos para la gestión de cada organismo de cuenca y/o distrito de riego.
- Crear una mesa permanente de trabajo para la planificación y el desarrollo de propuestas que integre a todos los agentes sociales implicados.

Para poder afrontar el proceso de actualización del modelo de gobernanza tradicional, se considera adecuado impulsar mecanismos de educación y sensibilización orientados a alcanzar un nivel de concienciación ambiental de los agricultores que fomente llevar a cabo acciones que les permitan preservar sus recursos hídricos; desarrollar una mayor colaboración entre los investigadores, las instituciones, los agricultores locales y transnacionales, que posibilite la actualización constante del sector basándose en las necesidades de los productores y en el cumplimiento de los objetivos medioambientales; y evaluar la viabilidad de las prácticas y replicar los casos de éxito como ejemplos para el resto de los productores.

## **Bibliografía**

- Adeyemi, O.; Grove, I.; Peets, S.; Norton, T. Advanced monitoring and management systems for improving sustainability in precision irrigation. *Sustainability* 2017, 9, 353. <https://dx.doi.org/10.3390/su9030353>
- Alimonda, H. La naturaleza colonizada. Ecología política y minería en América Latina. Ed. CLACSO, Buenos Aires, Argentina, 2011.
- Bates, B.; Kundzewicz, Z.W.; Wu, S.; Palutikof, J. Climate Change and Water IPCC; Technical Paper VI; Intergovernmental Panel on Climate Change Secretariat: Geneva, Switzerland, 2008.
- Becker, B. Sustainability Assessment: A Review of Values, Concepts and Methodological Approaches; Issues in Agriculture 10; World Bank-Consultative Group on International Agriculture Research (CGIAR): Washington, DC, USA, 1997.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2014). Programa de medidas preventivas y de mitigación de la sequía: Consejo de Cuenca Alto Noroeste. México, México.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2019). Estadísticas agrícolas de los distritos de riego, año agrícola 2017-2018. México, México.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2020). Actualización de la Disponibilidad Media anual de Agua en el Acuífero Costa de Hermosillo (2619) Estado de Sonora 2020. Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas. Comisión Nacional del Agua: México, Mexico. [https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos\\_Acuiferos\\_18/sonora/DR\\_2619.pdf](https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/sonora/DR_2619.pdf)
- Conca, K. Rethinking Authority, Territory and Knowledge: Transnational socio-ecological controversies and global environmental governance. En *The Crisis of Global Environmental Governance: Towards a New Political Economy of Sustainability*; Park, J., Conca, K., Finger, M., Eds.; Routledge: London, UK, 2008; pp. 193–207.

- Conway, D. Securing Water in a Changing Climate. En *Water Security: Principles, Perspectives and Practices*; Lankford, B., Bakker, K., Zeitoun, M., Conway, D., Eds.; Earthscan: London, UK, 2013; pp. 80–100.
- Damkjaer, S.; Taylor, R. The measurement of water scarcity: Defining a meaningful indicator. *Ambio* 2017, 46, 513–531. <https://dx.doi.org/10.1007/s13280-017-0912-z>
- De Fraiture, C.; Wichelns, D. Satisfying future water demands for agriculture. *Agric. Water Manag.* 2010, 97, 502–511. <https://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2009.08.008>
- Dell'Angelo, J.; Rulli, M.C.; D'Ordorico, P. The global water grabbing syndrome. *Ecol. Econ.* 2018, 143, 276–285. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.033>
- Fischer, G.; Tubiello, F.N.; van Velthuisen, H.; Wiberg, D.A. Climate change impacts on irrigation water requirements: Effects of mitigation, 1990–2080. *Technol. Forecast. Soc.* 2007, 74, 1083–1107. <https://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2006.05.021>
- Flávio, H.M.; Ferreira, P.; Formigo, N.; Svendsen, J.C. Reconciling agriculture and stream restoration in Europe: A review relating to the EU Water Framework Directive. *Sci. Total Environ.* 2017, 596–597, 378–395. <https://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.057>
- Forouzani, M.; Karami, E. Agricultural water poverty index and sustainability. *Agron. Sustain. Dev.* 2011, 31, 415–432. <https://dx.doi.org/10.1051/agro/2010026>
- Fu, H.Z.; Wang, M.H.; Ho, Y.S. Mapping of drinking water research: A bibliometric analysis of research output during 1992–2011. *Sci. Total Environ.* 2013, 443, 757–765. <https://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.11.061>
- Godden, L.; Ison, R.I.; Wallis, P.J. Editorial: Water governance in a climate change world: Appraising systemic and adaptive effectiveness. *Water Resour. Manag.* 2011, 25, 3971–3976. <https://dx.doi.org/10.1007/s11269-011-9902-2>
- Gómez-Arias, W. A.; Moctezuma, A. El agua de la nación: entre los derechos humanos y el mercado. *Dossier* 2020, 33, (93), 17–38. <https://argumentos.xoc.uam.mx/index.php/argumentos/article/view/1198>

- Hossain, M.S.; Pogue, S.J.; Trenchard, L.; Van Oudenhoven, A.P.E.; Washbourne, C.L.; Muiruri, E.W.; Tomczyk, A.M.; García-Llorente, M.; Hale, R.; Hevia, V.; et al. Identifying future research directions for biodiversity, ecosystem services and sustainability: Perspectives from early-career researchers. *Int. J. Sustain. Dev. World Ecol.* 2018, 25, 249–261. <https://dx.doi.org/10.1080/13504509.2017.1361480>
- Huitema, D.; Mostert, E.; Egas, W.; Moellenkamp, S.; Pahl-Wostl, C.; Yalcin, R. Adaptive water governance: Assessing the institutional prescriptions of adaptive (co-)management from a governance perspective and defining a research agenda. *Ecol. Soc.* 2009, 14, 26. <https://dx.doi.org/10.5751/ES-02827-140126>
- Huntjens, P.; Pahl-Wostl, C.; Rihoux, B.; Schlüter, M.; Flachner, Z.; Neto, S.; Nabide Kiti, I. Adaptive water management and policy learning in a changing climate: A formal comparative analysis of eight water management regimes in Europe, Africa and Asia. *Environ. Policy Gov.* 2011, 21, 145–163. <https://dx.doi.org/10.1002/eet.571>
- Ioris, A.A.R.; Hunter, C.; Walker, S. The development and application of water management sustainability indicators in Brazil and Scotland. *J. Environ. Manag.* 2008, 88, 1190–1201. <https://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.06.007>
- Juwana, I.; Muttill, N.; Perera, B.J.C. Indicator-based water sustainability assessment—A review. *Sci. Total Environ.* 2012, 438, 357–371. <https://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.08.093>
- Liu, J.; Wang, Y.; Yu, Z.; Cao, X.; Tian, L.; Sun, S.; Wu, P. A comprehensive analysis of blue water scarcity from the production, consumption, and water transfer perspectives. *Ecol. Indic.* 2017, 72, 870–880. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.09.021>
- Lorenzana-Durán, G. La Gran hidráulica en los ríos Yaqui y Mayo, Sonora, 1936-1957. *Anuario de Estudios Americanos* 2019, 76(2), 715-747. <http://estudiosamericanos.revistas.csic.es/index.php/estudiosamericanos/article/view/8>

- Mancosu, N.; Snyder, R.L.; Kyriakakis, G.; Spano, D. Water scarcity and future challenges for food production. *Water* 2015, 7, 975–992. <https://dx.doi.org/10.3390/w7030975>
- Manju, S.; Sagar, N. Renewable energy integrated desalination: A sustainable solution to overcome future fresh-water scarcity in India. *Sustain. Energy. Rev.* 2017, 73, 594–609. <https://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.164>
- Martínez, A. Situación de los recursos hídricos en Sonora (entrevista realizada por Claudia Ochoa) 25 de noviembre de 2020, Hermosillo, Sonora.
- Martínez-Peralta, C.M. El Dilema de los Comunes en la Gran Irrigación El Caso del Acuífero de la Costa de Hermosillo, Sonora, México, 1970–2010. Tesis Doctoral, Colegio de Sonora (COLSON), Hermosillo, México, 2014.
- Melo-Zurita, M.L.; Thomsen, D.C.; Holbrook, N.J.; Smith, T.F.; Lyth, A.; Munro, P.G.; De Bruin, A.; Seddaiu, G.; Roggero, P.P.; Baird, J.; et al. Global Water Governance and Climate Change: Identifying Innovative Arrangements for Adaptive Transformation. *Water* 2018, 10(1), 29. <https://doi.org/10.3390/w10010029>
- Moncada, E.; Hernández-Suarez, C.; de Diego-Correa, L.R.; Delgado-Ramos, G.; Moncada-Paredes, M.; D’Amico, P.; Carvajal-Martínez, F.; Sabogal-Aguilar, J.; Torroba, R.; Mendez-Polo, L.; et al. *Ecología Política del extractivismo en América Latina: Casos de resistencia y justicia socioambiental*. Ed. CLACSO. Buenos Aires, Argentina, 2013.
- Montaño, R. Situación de los recursos hídricos en Sonora (entrevista realizada por Claudia Ochoa) 25 de noviembre de 2020, Hermosillo, Sonora.
- Moreno-Vázquez, J.L. Por debajo del agua. Sobreexplotación y agotamiento del acuífero de la Costa de Hermosillo, 1945-2005. El colegio de Sonora, 2005.
- Pahl-Wostl, C.; Gupta, J.; Petry, D. Governance and the global water system: A theoretical exploration. *Glob. Gov. A Rev. Multilater. Int. Organ.* 2008, 14, 419–435. <https://www.jstor.org/stable/27800722>

- Pahl-Wostl, C.; Holtz, G.; Kastens, B.; Knieper, C. Analyzing complex water governance regimes: The management and transition framework. *Environ. Sci. Policy* 2010, 13, 571–581. <https://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2010.08.006>
- Parra-Armenta, E.M.; Salazar-Adams, A. La gestión integral del agua en dos consejos de cuenca del noroeste de México. *Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento* 2017, 5(15), 79-94. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2017.15.62580>
- Pedro-Monzonís, M.; Solera, A.; Ferrer, J.; Estrela, T.; Paredes-Arquiola, J. A review of water scarcity and drought indexes in water resources planning and management. *J. Hydrol.* 2015, 527, 482–493. <https://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.05.003>
- Perkins, S.E.; Pitman, A.J.; Holbrook, N.J.; McAneney, J. Evaluation of the AR4 climate models simulated daily maximum temperature, minimum temperature, and precipitation over Australia using probability density functions. *J. Clim.* 2007, 20, 4356–4376. <https://dx.doi.org/10.1175/JCLI4253.1>
- Pineda, N. (2020a). Situación de los recursos hídricos de Sonora. Entrevista realizada por Ochoa Noriega, C. 23 de noviembre de 2020.
- Reyes, A. Problemática del agua en los distritos de riego por bombeo del estado de Sonora. *Revista digital universitaria* 2009,10. México, DF. UNAM.
- Salazar-Adams, A.; Moreno-Vázquez, J.; Lutz-Ley, A. Agricultura y manejo sostenible del acuífero de la costa de Hermosillo. *Región y sociedad* 2012, 3, 155-179.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Recursos Hidráulicos, Pesca y Acuicultura (SAGHARPA, 2016). Programa de mediano plazo agrícola 2016-2021. Hermosillo, Sonora 2016.
- Vázquez, M. Situación de los recursos hídricos en Sonora (entrevista realizada por Claudia Ochoa) 27 de noviembre de 2020, Hermosillo, Sonora.

- Velasco-Muñoz, J.F.; Aznar-Sánchez, J.A.; Batlles-delaFuente, A.; Fidelibus, M.D. Sustainable Irrigation in Agriculture: An Analysis of Global Research. *Water* 2019, 11, 1758. <https://doi.org/10.3390/w11091758>.
- Wang, M.H.; Li, J.; Ho, Y.S. Research articles published in water resources journals: A bibliometric analysis. *Desalin. Water Treat.* 2011, 28, 353–365. <https://dx.doi.org/10.5004/dwt.2011.2412>
- Ward, F.A.; Michelsen, A. The economic value of water in agriculture: Concepts and policy applications. *Water Policy* 2002, 4, 423–446. [https://dx.doi.org/10.1016/S1366-7017\(02\)00039-9](https://dx.doi.org/10.1016/S1366-7017(02)00039-9)
- Wu, W.; Ma, B. Integrated nutrient management (INM) for sustaining crop productivity and reducing environmental impact: A review. *Sci. Total Environ.* 2015, 512–513, 415–427. <https://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.12.101>
- Yarime, M.; Takeda, Y.; Kajikawa, Y. Towards institutional analysis of sustainability science: A quantitative examination of the patterns of research collaboration. *Sustain. Sci.* 2010, 5, 115–125. <https://dx.doi.org/10.1007/s11625-009-0090-4>
- Zhang, Y.; Zhang, Y.; Shi, K.; Yao, X. Research development, current hotspots, and future directions of water research based on MODIS images: A critical review with a bibliometric analysis. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2017, 24, 15226–15239. <https://dx.doi.org/10.1007/s11356-017-9107-1>





# CONCLUSIONES

---



# 1. CONCLUSIONES

---

En este epígrafe se muestran las principales conclusiones obtenidas en esta Tesis Doctoral en base a los distintos trabajos realizados para el desarrollo de su contenido.

## 1.1. Contextualización de la agricultura en México

La agricultura mexicana se ha desarrollado mediante una estructura social, jurídica, política, y económica que iría sentando las bases para el surgimiento de una agricultura intensiva por regiones que opera actualmente en el noroeste de México. Las luchas sociales que derivaron en el levantamiento revolucionario de 1920 sentaron las bases de una estructura social más sólida, al expropiar las tierras de los latifundios para repartirlas a los pueblos. Este suceso generó la concesión de tierras en zonas no explotadas y la necesidad de infraestructura hidrológica, carreteras y apoyo técnico y económico para el desarrollo de las actividades agrícolas. Así, se iría gestando una estructura con un cuerpo jurídico con respecto a la tenencia de la tierra a la par de una serie de políticas de corte Keynesiano, con un “Estado Benefactor”. Este novedoso modelo atendería a las necesidades de los nuevos campesinos mediante estímulos fiscales, la creación de infraestructura y el surgimiento de los bancos para el otorgamiento de créditos mediante la integración de ejidos colectivos en el periodo cardenista. Este cambio dio como resultado que los ejidos concentraran el 50% de las tierras productivas y el otro 50% los particulares.

Sin embargo, con el Modelo de Sustitución de Importaciones y la llegada de la Revolución Verde se gestó otro modelo de desarrollo. Por una parte, se basó en la industrialización vía sustitución de importaciones por consumo nacional, además de destinar gran parte del presupuesto público hacia este sector. Por otro lado, estuvo orientado a los nuevos paquetes tecnológicos implementados en la agricultura a nivel mundial mediante el uso de fertilizantes, herbicidas y de maquinaria. Un rasgo específico de esta etapa, es que los latifundios pasaron a ser la pequeña propiedad privada y los estímulos fiscales pasaron a destinarse a ellos. La modernización que vivió el sector agrícola en esa etapa tuvo como resultado la creación de zonas de riego, por lo que disminuyeron su participación nacional las tierras de temporal y, en cambio, aumentaron las tierras de riego que, en términos económicos, incrementaron su participación hasta el 7,1% el PIB agrícola nacional. Pero, desde 1965 hasta 1980, el sector

agrícola experimentó una pérdida paulatina de las exportaciones y el aumento gradual de las importaciones, debido a la merma en la autosuficiencia alimentaria, producto de la disminución de la superficie cosechada de las tierras de temporal que abastecían al mercado nacional con los cultivos tradicionales (maíz y trigo).

Esta situación se agravaría con la apertura comercial y la firma del TLCAN, al terminar de configurar la estructura del sector agrícola mexicano con la modificación del Artículo 27 constitucional, al poner fin al reparto de tierras y la existencia legal de los latifundios. Además, junto con el decreto de la Ley de Aguas Nacionales de 1992, serían el paraguas jurídico de una nueva agricultura por regiones (Sinaloa, Sonora, Chihuahua) con distritos de riego y con un patrón de cultivos de exportación que acrecentaría la superficie cosechada. Al mismo tiempo, se perjudica el interés de los pequeños productores dedicados a las tierras de temporal, derivando en un problema ambiental más profundo con la sobreexplotación de las aguas subterráneas para uso agrícola.

Todos estos sucesos son producto de la situación actual del campo mexicano, donde un grupo reducido de agricultores privados concentra la superficie cosechada y el agua disponible (superficial y subterránea), mediante concesiones otorgadas legalmente en zonas de riego dedicadas a los cultivos de exportación. La serie de programas destinados al campo no ha podido sacar de la marginación a los ejidos. Aún hace falta un nuevo modelo de gestión de los recursos hídricos subterráneos. Habrá que analizar en un futuro el impacto de los cambios introducidos en materia de desarrollo en el sector agrícola como consecuencia de la entrada en vigor del T-MEC.

## **1.2. Sostenibilidad de la agricultura en México**

El propósito de este capítulo ha sido ofrecer una panorámica del desarrollo de la investigación sobre agricultura sostenible en México (ASM) durante el siglo XXI. Para ello, se realizó un análisis bibliométrico sobre una muestra de 867 documentos. Además, para comprobar la magnitud de la evolución de este campo de estudio, también se ha realizado una búsqueda paralela de la investigación general sobre agricultura en México (AM). Posteriormente, se realizó un análisis de productividad a partir de la cantidad de documentos, revistas, categorías

temáticas, autores, afiliaciones y colaboraciones, así como un estudio de los principales temas desarrollados a partir de las palabras clave utilizadas.

Los resultados indican que ambas líneas de investigación han aumentado su importancia en los últimos años. Sin embargo, aunque la investigación sobre la sostenibilidad en la agricultura en México ha surgido bastante recientemente, se ha convertido en una línea prioritaria en la última década. Este resultado es coherente con la tendencia observada a nivel mundial en la investigación en esta área, especialmente en relación con el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 promovidos por las Naciones Unidas. Así, tanto en la línea de investigación general como en la de sostenibilidad, las categorías temáticas dominantes fueron Ciencias Agrarias y Biológicas, Ciencias Ambientales y Ciencias Sociales. En el caso de la investigación sobre ASM, se dio más énfasis a la serie de temas relacionados con el concepto de sostenibilidad que en la investigación sobre AM. Por lo tanto, es necesario fomentar los estudios sobre las perspectivas social y económica y realizar investigaciones que consideren las tres dimensiones de la sostenibilidad.

El examen de las redes de colaboración ha revelado que la cantidad de estudios internacionales en colaboración era mayor en el caso de la investigación sobre la sostenibilidad que en el de la agricultura. Así, podemos observar que, en comparación con otras áreas de estudio, la sostenibilidad es más multidisciplinar, y también más ampliamente estudiada a través de la colaboración internacional entre instituciones. Entre las diferentes razones que explican el aumento de la colaboración internacional entre instituciones mexicanas y centros extranjeros se encuentra el gran número de iniciativas internacionales que promueven la creación de redes globales para el desarrollo sostenible en diferentes áreas, especialmente desde Naciones Unidas. Además, se puede comprobar que existe una relación directa entre la calidad de las relaciones de colaboración y la cantidad media de citas alcanzadas por los estudios. Sin embargo, no se puede determinar una relación directa entre la cantidad de los estudios realizados en colaboración y el número de citas.

El análisis de las palabras clave muestra seis clusters en la investigación sobre ASM, centrados en temas como el desarrollo de modelos agrícolas sostenibles en zonas rurales vulnerables, la explotación sostenible de sistemas agroforestales, el desarrollo de cultivos energéticos para diferentes usos, la gestión de los recursos hídricos y los usos del suelo y sus

cambios, la agricultura de conservación y el cambio climático. Dentro de estos temas, se han encontrado nuevos conceptos que pueden consolidarse y convertirse en los temas centrales, como es el caso del cambio climático, la seguridad alimentaria, la intensificación agrícola o el uso de la tierra; y otros como la agricultura, el café, la productividad o la silvicultura.

Los resultados de este estudio muestran que, durante las últimas décadas, la agricultura mexicana ha experimentado un fuerte proceso de modernización, situándose entre los principales productores y exportadores del mundo. Este proceso se ha basado principalmente en la adopción de nuevos modelos de gestión agrícola, el uso de innovaciones tecnológicas y la diversificación de cultivos para acceder a nuevos mercados. Estos avances han permitido a México pasar de una agricultura tradicional de subsistencia a una agricultura altamente profesionalizada y productiva. Sin embargo, este proceso no se ha desarrollado de forma equilibrada. Una vez alcanzados los objetivos de producción y comercialización, México debe afrontar nuevos retos para lograr una agricultura plenamente sostenible.

Las principales áreas de trabajo, que constituyen las principales líneas de investigación propuestas, son las siguientes (i) desde el punto de vista medioambiental, se deben desarrollar modelos productivos más respetuosos con el conjunto de los ecosistemas del entorno, especialmente en lo que se refiere a las masas de agua que actualmente están sobreexplotadas; (ii) desde la perspectiva del ámbito económico, se debe promover el desarrollo de industrias auxiliares y de transformación, capaces de generar valor añadido para el país; y (iii) en cuanto al ámbito social, es aquí donde deben hacerse los mayores esfuerzos, dado que el modelo actual está aumentando la desigualdad entre los territorios del norte y del sur, entre las zonas rurales marginales y los centros urbanos, y entre los empresarios y los trabajadores.

### **1.3. Gestión sostenible de los recursos hídricos en la agricultura mexicana**

El objetivo de este capítulo ha sido analizar la dinámica que ha seguido la investigación sobre la gestión del agua en la agricultura de México en general (GAM), y sobre su gestión sostenible en particular (GSAM). Para ello, se ha realizado un análisis bibliométrico sobre una muestra de 1.490 artículos en la investigación sobre GAM y 436 artículos en el caso de la investigación sobre GSAM. Para cada una de las líneas de investigación, se ha desarrollado un análisis de productividad en base al número de artículos, las revistas, las categorías

temáticas, los autores, la afiliación y las relaciones de colaboración. También se han analizado las principales temáticas desarrolladas en cada una de ellas en función de las palabras clave utilizadas.

Los resultados muestran que ambas líneas de investigación han ido ganando importancia durante los últimos años. A pesar de que la investigación sobre el uso del agua en la agricultura de México con un enfoque sostenible no ha aparecido hasta fechas muy recientes, se ha convertido en una línea prioritaria. Este resultado es consistente con la tendencia observada a nivel mundial sobre la investigación en esta temática, especialmente vinculada con la consecución de algunos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas. En ambos casos las principales categorías temáticas fueron Ciencias Ambientales, Ciencias Agrícolas y Biológicas y Ciencias de la Tierra y Planetarias. Esto permite afirmar que en ambos casos predomina la investigación con enfoque técnico y ambiental. En el caso de la investigación sobre GSAM, los ámbitos social y económico de la sostenibilidad recibieron una mayor atención que en el caso de la investigación sobre GAM. No obstante, es necesario impulsar las investigaciones desde estos dos ámbitos, así como aquellas en las que se tengan en cuenta los tres ámbitos de la sostenibilidad de manera conjunta.

El análisis de las redes de colaboración establecidas por México ha permitido determinar que el número de trabajos llevados a cabo mediante colaboración internacional es superior en el caso de la investigación sobre GSAM que en la investigación general sobre GAM. De esta forma se comprueba que, al igual que ocurre en otros campos de estudio, el ámbito de la sostenibilidad no solo es más multidisciplinar, sino que se estudia en mayor medida a través de la colaboración internacional entre instituciones.

El análisis de las palabras clave ha mostrado nueve clústeres en la temática general, centrados en temas como la contaminación de las masas de agua, el cambio climático, la calidad del agua, la aplicación de la tecnología para hacer un uso más eficiente del agua, la biodiversidad, la erosión, las prácticas agronómicas que permiten reducir el consumo de agua, las aguas subterráneas y la agricultura de conservación. En el caso de la investigación sobre GSAM, se han encontrado tres clusteres centrados en los tres ámbitos de la sostenibilidad, y un cuarto en los aspectos más técnicos del ámbito agrícola. Los temas sobre el cambio climático y los



aspectos técnicos para mejorar la eficiencia del agua son comunes en ambas líneas de investigación.

#### **1.4. Análisis de la adopción de prácticas sostenibles de gestión del agua en la agricultura intensiva de la Costa de Hermosillo**

El objetivo de este capítulo ha sido elaborar una propuesta de mejora de la gestión de los recursos hídricos de la Costa de Hermosillo que sea capaz de: (i) mejorar la situación de sobreexplotación de las masas de agua subterráneas, (ii) contribuir a la sostenibilidad de la actividad agrícola en la zona, y (iii) alcanzar un consenso entre las diferentes partes implicadas para garantizar el éxito de su implantación.

Los resultados muestran que la principal preocupación de los diferentes actores para garantizar la sostenibilidad de un sistema agrícola en un entorno semiárido es la disponibilidad de agua. La tecnología ofrece diversas alternativas para intentar aumentar el suministro de agua a través de fuentes distintas a las masas de agua sobreexplotadas. En los sistemas basados en el uso de aguas subterráneas con problemas de intrusión de agua de mar, las fuentes de agua alternativas, como el agua de mar desalada, el agua de lluvia, el agua salobre y el agua municipal regenerada, son posibles fuentes alternativas para las aguas subterráneas y superficiales.

Los resultados también muestran que los principales factores impulsores de la adopción de innovaciones en la gestión del riego agrícola son la existencia de incentivos institucionales para la adopción de prácticas sostenibles; el continuo proceso de innovación tecnológica en el que está inmerso el sector; la buena disposición de los agricultores hacia el cambio técnico; las relaciones de colaboración entre los diferentes actores; y la capacidad de financiación del sector. Los principales elementos que dificultan la adopción de estas prácticas son la falta de regulación y el alto nivel de incumplimiento de la legislación vigente; la estructura de la propiedad de la tierra actual y la concentración de los derechos de uso del agua; la falta de conocimientos técnicos pertinentes a las innovaciones propuestas; el bajo nivel de pluviometría; y la falta de conocimiento ambiental de los agricultores.

La principal aportación de este estudio es una propuesta diseñada por los agricultores, responsables políticos e investigadores de la zona de estudio para evaluar la implantación de sistemas de recogida de agua de lluvia y la construcción de una planta desaladora de agua de mar. Esta propuesta se basa en tres pilares de actuación (i) la reducción de las extracciones, (ii) la cooperación continua y (iii) la financiación público-privada. Estos pilares constituyen las líneas de trabajo prioritarias para que los actores lleven a cabo el plan diseñado para mejorar la sostenibilidad en el uso de los recursos hídricos para el riego. Por ello, es imprescindible un fuerte compromiso de todos los actores en estos tres ámbitos de actuación. Además, dado que la concentración de la propiedad de la tierra conlleva a su vez una concentración de los derechos de uso del agua, sería deseable actualizar las formas de gobernanza del agua de manera que se desvincule el uso de la tierra del empleo del agua.

### **1.5. Gobernanza de los recursos hídricos en la agricultura de la Costa de Hermosillo**

Este capítulo ha tenido como objetivo analizar los principales aspectos del modelo de gobernanza de los recursos hídricos en la agricultura de la Costa de Hermosillo, para detectar sus posibles limitaciones y realizar las propuestas oportunas orientadas a mejorar su sostenibilidad. Para ello se ha realizado una revisión, fundamentalmente de literatura gris, que ha sido completada con entrevistas en profundidad a un grupo de expertos. Los resultados han puesto de manifiesto que el marco normativo emana principalmente de la Ley de Aguas Nacionales de 1992, y que la institución responsable de la concesión de derechos de uso del agua es la Comisión Nacional del Agua, que delega sus funciones en la Asociación de Usuarios.

Este modelo de gestión da lugar a ineficiencias en el uso del recurso que se sintetizan en un acceso restringido al agua, siendo monopolizado por los propietarios privados de la tierra, un predominio de la producción orientada a la exportación de cultivos comerciales, y un impacto en las masas de agua como consecuencia de la sobreexplotación. Para tratar de dar solución a estos problemas se propone un conjunto de modificaciones en el modelo de gobernanza que se concretan en las siguientes:

- Cambiar el modelo de otorgamiento de las concesiones de acceso a los recursos hídricos para su tramitación de forma individual y no grupal. Además, que dichas

concesiones sean realizadas por un organismo institucional en lugar de por el conjunto de regantes a través de la asociación de usuarios.

- Pasar del modelo actual de facto centralizado en la capital del país, a uno descentralizado, mediante la creación de organismos institucionales plenamente operativos para la gestión de cada organismo de cuenca y/o distrito de riego.
- Crear una mesa permanente de trabajo para la planificación y el desarrollo de propuestas que integre a todos los agentes sociales implicados.

Para poder afrontar el proceso de actualización del modelo de gobernanza tradicional, se considera adecuado impulsar mecanismos de educación y concienciación orientados a alcanzar un nivel de concienciación ambiental de los agricultores que fomente llevar a cabo acciones que les permitan preservar sus recursos hídricos; desarrollar una mayor colaboración entre los investigadores, las instituciones, los agricultores locales y transnacionales, que posibilite la actualización constante del sector basándose en las necesidades de los productores y en el cumplimiento de los objetivos medioambientales; y evaluar la viabilidad de las prácticas y replicar los casos de éxito como ejemplos para el resto de los productores.

## 2. LIMITACIONES Y FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN

---

Este trabajo pretende contribuir a la investigación sobre la sostenibilidad del modelo agrícola que ha utilizado México para desarrollar su actividad agrícola, especialmente en cuanto al uso sostenible de los recursos hídricos como principal factor limitante. A tal fin, se ha realizado una revisión de la literatura, centrándose en dos ámbitos distintos: el análisis del desarrollo agrícola de México, y la gestión llevada a cabo sobre los recursos hídricos para la agricultura, incluyendo una perspectiva de sostenibilidad además de la línea de investigación general. Esta revisión ha permitido identificar los principales agentes impulsores de la investigación, las líneas de investigación más relevantes y las futuras tendencias en el campo de estudio. Para el desarrollo de esta fase de la Tesis Doctoral se ha seguido una metodología rigurosa que, sin embargo, no está carente de limitaciones. Por una parte, la existencia de una amplia literatura dificulta el análisis de los resultados de todos los trabajos relativos a un tema de estudio. Por otra parte, el proceso de selección de la muestra de trabajos a analizar (selección de la base de datos, selección de parámetros de búsqueda, criterios de aceptación de documentos, etc.) condiciona los resultados obtenidos en la revisión.

Para solventar estas limitaciones, como futuras líneas de investigación, se propone un trabajo de revisión de tipo cualitativo centrado en aspectos concretos de la investigación sobre el uso sostenible de la agricultura, de forma que permita profundizar en los resultados individuales de los estudios que compongan la muestra final seleccionada. Otra propuesta es la realización de un trabajo de revisión que incluya la comparación de las diferentes bases de datos donde se indexan los trabajos de investigación relativos a la gestión sostenible de los recursos agrícolas. Por último, podría resultar interesante el uso de metodologías de minería de textos para identificar de forma detallada la evolución de los términos clave dentro de la investigación sobre la gestión sostenible en la agricultura, de manera que sirva de guía para futuros trabajos de revisión.

La revisión de la literatura ha puesto de manifiesto que la investigación presenta algunas lagunas sobre el tema de esta Tesis Doctoral. Para cubrir estas carencias, se deben implementar varias medidas en las siguientes tres direcciones. En primer lugar, en el sector tecnológico, se debe fomentar la investigación sobre nuevas tecnologías capaces de ampliar la oferta de recursos hídricos en aquellas zonas donde se prevee una escasez probable durante

las próximas décadas. Estas tecnologías deben ir orientadas a satisfacer demandas crecientes en entornos cambiantes para recolectar agua de lluvia, regular la humedad del suelo y la creación de recursos alternativos para el riego, por ejemplo. En segundo lugar, en el campo sociocultural, es necesario identificar el nivel de conocimiento y la disposición de los agentes implicados para introducir esas nuevas tecnologías. También sería interesante conocer las preferencias sociales y las posibilidades de pagar más por los productos que provienen de sistemas de producción sostenibles. Y, en tercer lugar, con respecto al punto de vista ambiental, los impactos en los ecosistemas y sus servicios deben ser estudiados más a fondo.

Por otra parte, el concepto de sostenibilidad aplicado al uso del agua en la agricultura está directamente relacionado con la eficiencia del uso del agua y los conceptos de servicios ecosistémicos del agua. Parece necesario crear enfoques de análisis que incluyan aspectos técnicos, ambientales y socioeconómicos, capaces de generar información necesaria para la planificación sostenible y la gestión de los recursos hídricos. El proceso de toma de decisiones debe poder incorporar las preferencias de los interesados, así como mantener la integridad del ecosistema y su flujo de servicios. Además, esta información debe complementarse con los impactos del cambio climático en los estudios del uso del agua en la agricultura si se quiere obtener información realista y útil en los procesos de toma de decisiones.

Esta Tesis Doctoral se ha centrado en el estudio del uso del agua desalada de mar y la recolección de agua de lluvia para riego como vía para ampliar la oferta de recursos hídricos no convencionales en la zona de estudio. Sin embargo, existen otros recursos no convencionales como el agua reutilizada, o las aguas salobres desaladas, cuyo uso para riego puede contribuir tanto a la sostenibilidad de la actividad agrícola como para reducir el uso de agua de fuentes convencionales sobreexplotadas. Por tanto, como futura línea de investigación, se propone el estudio del uso conjunto de los distintos tipos de fuentes de agua disponibles. Además, en esta Tesis Doctoral no se ha explorado el ámbito de la demanda, cuyo ajuste puede significar una reducción en el consumo que contribuya a mejorar la sostenibilidad del modelo agrícola analizado.

Finalmente, esta Tesis Doctoral se ha centrado en la gestión de los recursos hídricos, como principal factor limitante en la zona de estudio para la sostenibilidad de la actividad agrícola.

Sin embargo, existen otros factores que comprometen dicha sostenibilidad que no han podido analizarse y cuyo estudio debe abordarse. Algunos de estos factores son la gestión del suelo, la gestión de residuos y la planificación de cultivos. Desde una perspectiva social, resulta fundamental analizar el alcance del desarrollo en el modelo analizado, dado que se ha producido una intensificación de la desigualdad entre distintos grupos sociales, que da lugar a procesos de éxodo rural y despoblación, abandono de tierras de cultivo y desertificación, y vulnerabilidad de la población más desfavorecida.



# APÉNDICES

---





# APÉNDICE 1. Overview of Research on Sustainable Agriculture in Developing Countries. The Case of Mexico

---

Sustainability, 2021, 13(15), 8563

Factor de impacto 3.251 y cuartil Q2 en 2020 en Journal Citation Reports- Thomson Reuters



Review

# Overview of Research on Sustainable Agriculture in Developing Countries. The Case of Mexico

Claudia A. Ochoa-Noriega, Juan F. Velasco-Muñoz \*, José A. Aznar-Sánchez  and Ernesto Mesa-Vázquez

Research Centre on Mediterranean Intensive Agrosystems and Agrifood Biotechnology (CIAIMBITAL), Department of Economy and Business, University of Almería, 04120 Almería, Spain; claudia08a@hotmail.com (C.A.O.-N.); jaznar@ual.es (J.A.A.-S.); ermeva@ual.es (E.M.-V.)

\* Correspondence: jfvelasco@ual.es

**Abstract:** One of the principal challenges faced by Mexican agriculture is the development of management models that are able to increase production while respecting the environment and generating wealth for society as a whole. In recent years, the number of studies analysing the sustainability of Mexican agriculture has grown significantly. The purpose of this study is to analyse the evolution of the research on the sustainability of agriculture in Mexico. For this purpose, a review and bibliometric analysis of a sample of 867 articles was carried out. The results reveal that the research has focused on the development of sustainable agricultural models in vulnerable rural areas, the sustainable exploitation of agroforestry systems, the development of energy crops for different uses, water resource management and land uses and their changes, conservation farming and climate change. Although research focused on sustainability is still in its early stages, it has become a priority field. A need to promote research from the economic and social disciplines may be observed, together with holistic projects that include the three pillars of sustainability (social, economic and environmental). This study could be useful to researchers in this field as it identifies the recent trends and principal agents that drive knowledge.



**Citation:** Ochoa-Noriega, C.A.; Velasco-Muñoz, J.F.; Aznar-Sánchez, J.A.; Mesa-Vázquez, E. Overview of Research on Sustainable Agriculture in Developing Countries. The Case of Mexico. *Sustainability* **2021**, *13*, 8563. <https://doi.org/10.3390/su13158563>

Academic Editor: Dalia Štreimikienė

Received: 7 July 2021

Accepted: 29 July 2021

Published: 31 July 2021

**Publisher's Note:** MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



**Copyright:** © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**Keywords:** food security; agricultural production; sustainable development; sustainable management; bibliometric analysis; network analysis; Mexico

## 1. Introduction

Humankind has modified 75% of the earth's surface in an effort to meet the demand for food, fibre and bioenergy [1–3]. Currently, about one third of the Earth's land surface is used for agriculture [4]. The expansion and intensification of agriculture in recent decades has resulted in increased production, reducing the number of malnourished people [5–8]. On the other hand, the human population is experiencing the largest growth of its history and is expected to peak at 9.7 billion people in 2050 [9]. In addition, new consumer trends and the increased availability of income are factors driving higher demand [10]. In the worst-case scenario, this growth in the population will require an additional food production increase of up 110% [11]. In turn, this increase in production will necessitate a greater expansion of the cultivated area or the development of new intensive production systems. Moreover, there is the technological change as a factor that influences production growth, so required changes include not only intensification but sustainable innovation [10].

However, fulfilling these objectives may have strong impacts on the environment, which could be irreversible. Agriculture is the world's largest consumer of water resources [12,13], using from 60% to 90% of total available water, according to the climate and the economic development of the region [14,15]. An increase in irrigation to meet growing food demand could severely affect the availability of water for the natural ecosystems, and even for human supply [16,17]. On the other hand, due to deforestation practices, agricultural expansion is the world's second biggest threat to biodiversity conservation [18,19].

Currently, approximately three quarters of the earth's forests have been lost due to agricultural expansion practices [20]. Furthermore, the intensification of agriculture is being achieved through the application of large quantities of inputs such as fertilisers or herbicides, which have the potential to affect the environment and harm the health of the local population [21,22]. On the other hand, the consequences of climate change are one of the main factors to be considered in relation to agricultural management. These consequences include altered rainfall cycles, long-term droughts and imbalances in water supply; more frequent and more intense extreme weather; and changes in soil moisture, evapotranspiration flows and surface runoff [14,17]. Finally, the use of inappropriate agricultural practices can have a negative impact on soil erosion, contributing to the expansion of desertification [16,23]. Within this context, implementing agricultural management systems able to meet the nutritional needs of the population in a sustainable way has become an urgent priority.

The term 'sustainability', as we know it today, was forged in the Brundtland report of the United Nations World Commission on Environment and Development in 1987, which defined 'sustainable development' as "development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs" [24]. As a holistic concept, sustainable development integrates three dimensions, in reference to human-natural systems: social, environmental and economic [25]. For some authors, the terms "sustainability" and "sustainable development" are interchangeable [26]. Since the emergence of the term, other milestone events in the evolution of sustainability as a paradigm have followed: the Rio Declaration in 1992 (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation (UNESCO), 1992), the Kyoto Protocol (United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), 2008), and the United Nations Millennium Development Goals (UN, 2015), which provided guidelines for improving livelihoods and the environment globally. We are currently in the midst of the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs), in its Agenda 2030, the latest major milestone in achieving a sustainable planet.

With respect to the management of agricultural systems, sustainability centres on understanding the essential nature of interactions of natural-human-social systems, as viewed from a broad range of academic fields of study, in order to develop sustainable agriculture [27–29]. Of the 17 SDGs, the development of sustainable agriculture is included in target 2.4, framed within Goal 2 for the eradication of hunger in the world. This target aims to "ensure the sustainability of food production systems and implement resilient agricultural practices that increase productivity and production, contribute to the maintenance of ecosystems, strengthen resilience to climate change, extreme weather events, droughts, floods and other disasters and progressively improve land and soil quality" [30]. Specifically, indicator 2.4.1. has been designed to measure progress towards this target, as the proportion of the agricultural area in which productive and sustainable agriculture is practised.

Since the last decades of the last century, sustainability was defined as a characteristic to refer to the capacity to support the flow of ecosystem benefits in a variety of contexts [31]. Agriculture supports a vast array of goods and services, including goods such as food, wood, or fibre and services such as groundwater infiltration and storage, habitat conservation to maintain biodiversity, and carbon sequestration [1,32,33]. On the other hand, agricultural businesses create employment, enhance economic growth and diversify the service sector in industrial areas [34,35]. Moreover, agriculture is a major activity in rural areas. In certain cases, agriculture is the only activity and, therefore, the engine of growth for the economies in these areas [36,37].

Mexico is an agricultural power in terms of cultivated area, production and volume of exports and is one of the world's principal suppliers of food [38]. Mexico has an area of 198 million hectares, of which approximately 73% are used for agricultural activities [39,40]. Of this area, 20.7% is dedicated to crop production, while the remaining 79.3% is used for grazing land. Despite its low share in the Gross National Product (GNP) of only 4%, agricul-

ture is an essential component for the country's development for several reasons [41]. The agricultural activity i) is a useful tool to help ensure food security, ii) is key to strengthening the development and growth of production, iii) contributes to improving standards of living, and iv) is a vital sector for rural areas, home to a quarter of the country's population, and accounts for 50% of the rural population's income [40,42,43]. In recent years, the share of Mexican agricultural goods in foreign markets has increased, thanks to their quality and diversity and to the tariff advantages resulting from the North American Free Trade Agreement (NAFTA). As a result, it has developed a strong specialisation in fruit and vegetable exports, principally to the United States. The eradication of poverty is another argument to strengthen agriculture. This is mainly due to the fact that about 20% of the population is considered to be in food poverty, and 5% is categorised as undernourished [40]. It is estimated that children in rural areas are 43.4% stunted, more than double the national average in Mexico, with negative effects on motor and cognitive development; this demonstrates that short stature is not an adaptation, but a condition of vulnerability that reduces the body size and capabilities of the subjects who present it, since mental functions (intelligence, memory and learning) affect learning abilities [44,45].

However, Mexico's agricultural development has certain limitations that put the sustainability of the sector at risk. First, there exist problems concerning the availability of water for irrigation in different parts of the country [38]. On the other side, the surrounding ecosystems are being severely degraded due to the over-exploitation of the water resources, particularly in the river basins and aquifers. Of the 653 aquifers in Mexico, a total of 105 are over-exploited, whereas about 69 of the country's 757 river basins have a water deficit, as the allocated flow is higher than the recharge capacity of renewable water resources [46–48]. Furthermore, the unequal development of water infrastructures generates inefficiencies and inequality between territories [48,49]. Therefore, in Mexico, there is an urgent necessity to develop management models in agriculture that ensure the stability of a sensitive sector for the economy, by increasing production in an environmentally friendly way and generating wealth for society as a whole [28,29,50].

A growing number of contributions studying the adoption of sustainable practices in Mexican agriculture have been published. To date, however, no study has analysed these contributions collectively. The purpose of this paper, therefore, is to study the evolution of the research on the sustainability of agriculture in Mexico. Given the nature and objectives of this work, bibliometric analysis has been considered the most appropriate methodology, due to its capacity to extract information by synthesising data from a large number of literature sources [51,52]. The findings will allow us to identify the main drivers of knowledge in these fields and the most significant lines of research. Finally, given that the extensive area of Mexico covers a diverse range of climate zones, the results of the study on Mexican agriculture could be extrapolated to other regions, including mountainous areas, regions with arid or semi-arid climates or those with mild or tropical climates [53,54]. In contrast to previous studies, this paper is the first to apply the bibliometric method to analyse research on sustainable agriculture using Mexico as a case study, given that previous works focus on different specific aspects of agricultural sustainability and their results mainly represent developed countries [19,55–57]. This is its main contribution.

## 2. Methodology

In order to meet the purpose of this study, a bibliometric analysis of scientific literature is used, based principally on the traditional approach of co-occurrence analysis. In order to evaluate the information relating to the bibliometric data, indicators of productivity, quality and structure are included [51]. First, we identified the most productive agents (including authors, journals, institutions and countries) based on the amount of contributions and, second, we examined the impact of the research of these authors. This analysis was carried out in the same way for journals, institutions and countries. This information could be relevant to researchers when assessing the relevance of the media in which they publish their findings, the centres with which to collaborate or the countries in which to undertake

research [58,59]. Finally, we use mapping techniques to analyse the trends in this line of research.

Scopus was used to collect the studies to be analysed. The main reason for using Scopus instead of Web of Sciences is that, according to Mongeon and Paul-Hus [52], the former offers a wider coverage of abstracts and journals. Therefore, Scopus allows to obtain a more representative sample of papers from the field of study. In addition, this database has a series of advantage over other repositories, such as (i) it is easy to access, (ii) it enables the visualisation of data analysis, and (iii) it makes it possible to download data in different formats for further processing by software applications [60]. It is very common for data available in statistical databases, or valuable grey literature, to be used in studies and published in the form of reports, conference papers, and/or book chapters. Therefore, to avoid duplication of information, only original articles have been included in the sample, which, in addition, have undergone a peer-review process, demonstrating the quality of the information [58,61].

The search parameters were used in the search engines based on the keywords, titles and abstracts. The intention of the authors in carrying out this work is to focus on the field of sustainability. For this purpose, general parameters have been used, which are already used in a similar way in other works in which only terms derived from the root *sustain\** are used [62–65]. In addition, to include the perspective of the 2030 Agenda, terms drawn from the definition of the target on sustainable agriculture, contained in SDG 8, have been included. The study period selected was 2000 to 2020, in order to assess the contribution made in this century so far, as the greatest development of this topic in this area of study has taken place in this period. To compare full annual periods, only documents up to 2020 have been included. Similarly, to avoid duplication, the sample only includes original articles [56,66]. The search was last updated in February 2021.

For the selection of the final sample of documents, a sequential process was followed, as shown in Figure 1. In this way, for a document to form part of the sample to analyse, it should address an aspect of agriculture from a perspective of sustainability and be related to the geographical area of Mexico (as part of the area of study of an empirical analysis or as an area of reference of a theory development study). Summing up, the introduced sample selection criteria are the following: (i) topic of study (sustainable agriculture), (ii) time period (from 2000 to 2020), (iii) geographical location (country of Mexico as case study), (iv) language (English and Spanish as dominant language in the field of study, finding no bias between them) and (v) type of document (only original articles). The sample of papers that will finally be analysed in this study consists of 867 articles. In parallel, a search for papers related to agriculture in Mexico with the same restrictions was also conducted to analyse the relative importance of sustainability in relation to the general topic (see Figure 1). We should remember that this study is conditioned by the selection process of the sample and that other search parameters or databases, or another subsequent updating of the search, could generate different results. Literature on the area is becoming more and more specific and beginning to consider other possible aspects, which may or may not mention the chain “*sustain \**”, such as climate smart agriculture, resilience, agroecology, agroecosystems.

The number of articles, the name of the journals and the year in which they were published, the authors and institutions and countries of affiliation, the subject area in which Scopus classifies the documents, and the keywords were the variables analysed. The first task was to download the information in the appropriate formats. Next, duplications that could lead to errors in the counting of the data were eliminated. The filtered information was then organised into different tables and figures and the data were analysed. The different tools used were Excel and SciMAT. To create the network maps, VOSviewer was selected, which is widely used in this kind of study [67]. Lastly, in order to extract the main trends in the research, a keyword analysis was conducted [68].

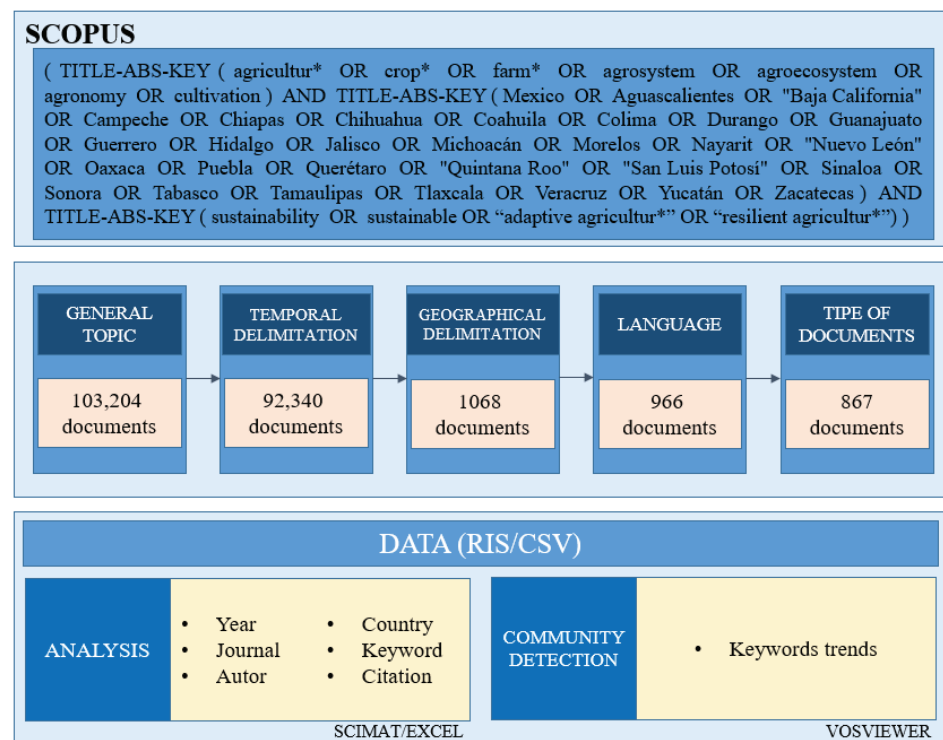


Figure 1. Overview of the methodology.

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Sustainable Agriculture in Mexico Research

Table 1 presents data on the general variables concerning research on Sustainable Agriculture in Mexico (SAM) during 2000–2020. The number of documents published during the entire period on this topic amounted to 867, while in the case of research on Agriculture in Mexico (AM), there were 10,338. This indicates that the research on sustainability accounted for 8.4% of total research on Mexican agriculture. We searched for this information for other countries in order to compare this ratio. We have verified that this percentage is lower than countries such as China (11.6%), Spain (10.4%) or Australia (9.7%); similar to others, such as the United Kingdom (8.6%); and higher than others, such as the United States (6.8%). The number of papers on SAM increased from 12 in 2000 to 109 in 2020.

The rate of annual variation in the amount of documents on research in AM and SAM is shown in Figure 2. The average annual variation of SAM papers was 11.7% while that on AM was 8.4%. As we can see in the figure, the research on AM had a higher growth in almost the whole period analysed until the year 2010, when the trend reversed. This leads us to state that, in recent years, the research on SAM has been increasing in prominence within the research on AM.

In the 867 articles analysed, a total number of 3167 authors were involved. Over the years, this variable has shown a continuous growth trend. The amount of authors has increased from 33 in 2000 to 540 in 2020. The average amount of researchers per document has grown from 2.7 to 5.1. Therefore, the annual average growth of the authors was 15.1%. Of the total 3167 authors, 88.3% only participated in one of the articles of the sample analysed, while less than 1% participated in five or more articles. These data show that there is a high concentration of research on SA in a small group of researchers, who constitute the main drivers of this research topic.

In the year 2000, no two papers were published in the same journal. However, in 2020, the 109 papers on SAM were published in a total of 71 journals. The average volume of documents per journal has stayed constant over the entire period. In total, the 867

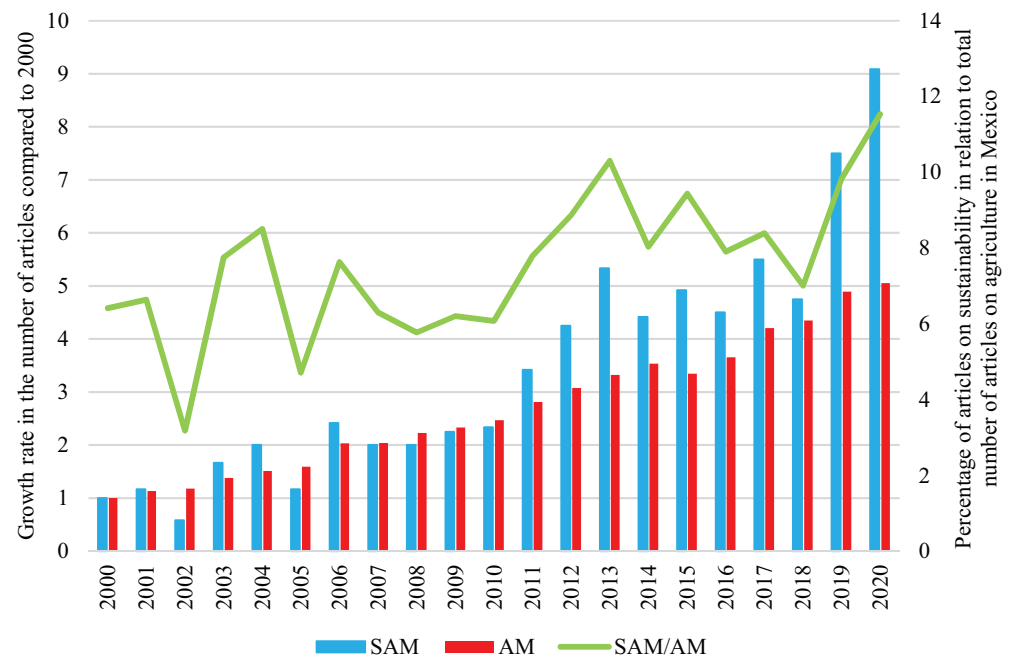


documents on SAM were published in 432 different journals. The average growth of the number of journals was 9.3% per year. Of the total sample of journals, 70.4% have published just one article on SAM, while 9.1% have published five or more. Again, we can confirm that the publication of the papers was concentrated in a small group of journals.

**Table 1.** General variables of Sustainable Agriculture in Mexico (SAM) research.

Year	D	AU	J	C	TC	TC/CD
2000	12	33	12	4	1	0.1
2001	14	50	13	4	8	0.3
2002	7	17	7	3	16	0.8
2003	20	100	19	16	39	1.2
2004	24	67	20	11	78	1.8
2005	14	45	14	8	120	2.9
2006	29	81	26	12	125	3.2
2007	24	91	23	12	208	4.1
2008	24	80	24	8	308	5.4
2009	27	116	26	16	391	6.6
2010	28	113	28	10	445	7.8
2011	41	147	33	12	536	8.6
2012	51	201	43	24	706	9.5
2013	64	202	48	17	852	10.1
2014	53	224	47	19	1011	11.2
2015	59	214	49	13	1168	12.2
2016	54	289	44	26	1309	13.4
2017	66	279	57	19	1584	14.6
2018	57	363	45	20	1829	16.1
2019	90	421	70	22	2053	16.9
2020	109	540	71	35	2504	17.6

D: annual amount of documents; AU: annual amount of authors; J: annual amount of journals; C: annual amount of countries; TC: annual amount of citations in cumulative documents; TC/CD: annual citation per cumulative documents.



**Figure 2.** Evolution of Sustainable Agriculture in Mexico (SAM) and Agriculture in Mexico (AM) research.

A total amount of 71 countries participated in the elaboration of the studies. These countries are Mexico and 70 collaborating countries in research on SAM. The number of

these countries has grown from four in 2000 to 35 in 2020. Specifically, the average growth of the number of countries participating in research on SAM was 11.5% per year.

The studies on SAM as a whole obtained a total amount of 12,787 citations from 2000 to 2020. The research on AM as a whole accumulated a total of 166,356 citations. Therefore, research on SAM accounts for 7.7% of the total citations of the research on Mexican agriculture. This is due to the later development of research on SAM with respect to AM. The amount of citations has risen from one in 2000 to 2504 in 2020, which represents an average annual increase of 47.9%. The average of citations achieved per paper has grown from 0.1 in 2000 to 17.6 in 2020. In the case of research on AM, the average number of citations per document is 16.1. These data show that the research on SAM has been growing importance within the research on AM in recent years, not only with respect to the number of papers, but also in terms of its prominence measured through the cipher of citations.

### 3.2. Subject Area

Table 2 shows the data on the classification into thematic categories established by Scopus. It is important to note that the same paper can be simultaneously classified in several categories. In both the SAM and the AM documents, the most popular category is *Agricultural and Biological Science* with around 54% of the total in both cases. In these two lines of research, the next two prominent topics are *Environmental Sciences and Social Sciences*. Considering the different fields included within the concept of sustainability (environmental, economic and social), we can observe certain notable differences. If we talk about SAM research, higher values are observed in the environmental, social and economic categories, showing the greater significance of these areas in this line of research. Specifically, the *Environmental Sciences* category represents 49.3% of SAM papers, whereas it only accounts for 32.6% in AM papers. Similarly, the *Social Sciences* category accumulates 25.5% in SAM line, whereas it only accounts for 17.3% in AM research. The economic aspects (*Economics, Econometrics and Finance* and *Business, Management and Accounting*) represent 4.7% and 3.5%, respectively, in the case of SAM, and only 3.4% and 1.7% in the case of research on AM. These data highlight two realities. On the one hand, as we would expect, the research on SAM pays greater attention to the different aspects related to the environmental, social and economic fields, while the research on AM focuses on different technical and biological aspects. On the other hand, they also reveal that in the research on sustainability, topics focused on environmental issues are still predominant and those themes related to social and economic aspects still need to be developed. Therefore, there is a need to broaden research from these perspectives and to conduct holistic studies that consider the three dimensions of sustainability.

**Table 2.** Amount of documents published by subject category.

<b>Sustainable Agriculture in Mexico (SAM)</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>	<b>Agriculture in Mexico (AM)</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>
<i>Agricultural and Biological Sciences</i>	468	54.0	<i>Agricultural and Biological Sciences</i>	5613	54.3
<i>Environmental Science</i>	427	49.3	<i>Environmental Science</i>	3374	32.6
<i>Social Sciences</i>	221	25.5	<i>Social Sciences</i>	1786	17.3
<i>Energy</i>	91	10.5	<i>Biochemistry, Genetics and Molecular Biology</i>	1099	10.6
<i>Earth and Planetary Sciences</i>	75	8.7	<i>Earth and Planetary Sciences</i>	1018	9.8
<i>Biochemistry, Genetics and Molecular Biology</i>	59	6.8	<i>Medicine</i>	778	7.5
<i>Economics, Econometrics and Finance</i>	41	4.7	<i>Arts and Humanities</i>	566	5.5
<i>Engineering</i>	37	4.3	<i>Veterinary</i>	448	4.3
<i>Business, Management and Accounting</i>	30	3.5	<i>Immunology and Microbiology</i>	430	4.2
<i>Medicine</i>	29	3.3	<i>Engineering</i>	360	3.5
			...		
			<i>Economics, Econometrics and Finance</i>	348	3.4
			<i>Business, Management and Accounting</i>	176	1.7

### 3.3. Journals

Table 3 includes data on the most prolific journals in SAM during the period 2000–2020, in relation to the documents that form part of the analysed sample. Publication in these journals is much broader and covers a wide range of topics. However, in this section, we want to focus on the relevance of SAM publications for these journals, as measured by the different indicators shown in the table. This group is composed of Mexican and European journals but none from the United States stand out. They are highly diverse in terms of field of specialisation and level of relevance measured through the Scimago Journal Rank (SJR 2020) impact. Furthermore, we can observe large differences in terms of their incorporation in this line of publication and the date of publications of the last article on SAM. Together, this set of journals has contributed 177 papers to the sample, accounting for 20.4% of the total amount of documents published. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, with 39 papers, is the journal that has contributed the most to SAM publishing. This journal has an H index of 4 (this refers to the documents included in the SAM sample, and not to the total number of documents published by the journal), a total amount of 50 citations and an average of 1.3 citations per paper. Furthermore, it has an SJR factor of 0.249 and began publishing in this field in the last decade, with its first article on SAM in 2011. This is followed by *Sustainability* with 29 articles. This journal has an H index of 5, a total amount of 82 citations and 2.8 citations per paper, and its SJR factor is 0.612. This journal was one of the latecomers to this field, with its first article published in 2015. It continues to publish on the subject today. Meanwhile, *Wit Transactions on Ecology and the Environment* is in third place with 18 documents. This British journal show an H index of 2, a total amount of 12 citations, an average of 0.7 citations per document, and an SJR factor of 0.180. With only 12 papers on SAM, *Soil and Tillage Research* has the most prominent H index with a value of 12. It additionally has the highest total citations and average amount of citations per document, with 874 and 72.8 respectively. Moreover, *Soil and Tillage Research* is the longest-established journal in this field, publishing its first contribution on SAM in 2000. On the contrary, the journal that has most recently begun to publish in this field is *Terra Latinoamericana*, with its first article on this topic being published in 2016. This journal has published a total number of 10 documents. It was indexed in the SJR for the first time in 2020. It has an H index of 3, a total amount of 16 citations and an average number of 1.6 citations per paper. Finally, the journal with the highest SJR factor is *Journal of Cleaner Production*, which has published a total of nine articles on SAM.

**Table 3.** Main variables of the most relevant journals in relation to the analysed documents in the sample on SAM research.

Journal	D	SJR	H Index	C	TC	TC/D	1st D	Last D
<i>Tropical and Subtropical Agroecosystems</i>	39	0.249 (Q3)	4	Mexico	50	1.3	2011	2020
<i>Sustainability</i>	29	0.612 (Q1)	5	Switzerland	82	2.8	2015	2020
<i>Wit Transactions on Ecology and the Environment</i>	18	0.180 (Q3)	2	UK	12	0.7	2008	2019
<i>Forest Ecology and Management</i>	13	1.288 (Q1)	11	Netherlands	551	42.4	2004	2018
<i>Soil and Tillage Research</i>	12	1.708 (Q1)	12	Netherlands	874	72.8	2000	2016
<i>Investigaciones Geograficas</i>	10	0.290 (Q3)	3	Spain	22	2.2	2006	2020
<i>Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine</i>	10	0.741 (Q1)	8	UK	156	15.6	2012	2019
<i>Terra Latinoamericana</i>	10	0.150 (Q4)	3	Mexico	16	1.6	2016	2020
<i>Acta Horticulturae</i>	9	0.181 (Q4)	3	Belgium	33	3.7	2009	2017

Table 3. Cont.

Journal	D	SJR	H Index	C	TC	TC/D	1st D	Last D
<i>Environment, Development and Sustainability Journal of Cleaner Production</i>	9	0.597 (Q2)	5	Netherlands	196	21.8	2001	2020
<i>Tecnología y Ciencias del Agua</i>	9	1.937 (Q1)	6	Netherlands	125	13.9	2013	2020
	9	0.188 (Q4)	3	Mexico	16	1.8	2010	2017

D: annual amount of documents; SJR: Scimago Journal Ranking 2020; H index: only referred to sample documents; C: country; TC: annual amount of citations in cumulative documents; TC/D: total citation per document; 1st D: first document by journal; Last D: last document.

### 3.4. International Network

Table 4 includes information on the collaborative networks that Mexico has established in SAM and AM research. The average percentage of projects developed through international collaboration is more important in SAM than in AM research, with 41.4% and 34.3%, respectively. However, the total amount of international collaborators is significantly higher in AM (103) than in SAM (70) research. As sustainability research requires a multidisciplinary approach, this field of study is also considered to be more collaborative. However, the data presented here are explained by the incipient state of this line of research and the unequal number of publications with respect to the general line of research. As for the most relevant collaborators in each of the research lines, many similarities can be found. However, in terms of AM research, we find Australia and Brazil in the group of principal collaborators, whereas Belgium and Saudi Arabia are more important in the case of SAM. In accordance with the number of citations, the papers developed through international collaboration accumulate a higher amount in both lines of study, on average, than the documents without this international dimension. The average number of citations per paper written in collaboration is higher in the case of research on SAM than for AM papers (25.9 and 20.3, respectively).

Table 4. Principal variables related to Mexican research on SAM and AM.

Country	IC (%)	NC	Main Collaborators	TC/D	
				IC	NIC
SAM	41.4	70	USA, Spain, Germany, Netherlands, UK, Belgium, Colombia, France, Canada, Saudi Arabia	25.9	6.6
AM	34.3	103	USA, Spain, UK, Canada, France, Germany, Netherlands, Brazil, Colombia, Australia	20.3	8.1

IC: international collaborations; NC: international collaborators; TC/D: total citation per document; NIC: no international collaborations.

### 3.5. Institutions

Table 5 provides information on the institutions that have contributed the most to SAM research during the period 2000–2020. It should be noted that all these institutions may have a much longer publication history. However, as explained above, in this paper, we focus on research carried out in the current century. For example, some publications from 1997 by El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR, San Cristóbal de las Casas, Mexico) can be found. All of them are institutions with Mexican nationality. With 86 contributions, the National Autonomous University of Mexico is at the top of the table. This institution has the highest H index, which is 19. Furthermore, it has a total amount of 1321 citations, and an average of 15.4 citations per document. The institution in second position, with the most contributions, is the Instituto Politécnico Nacional with 38 papers. This center has achieved a total amount of 261 citations, an average of 6.9 citations per paper and an H

index of 10. The Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, with a final cipher of 35 documents, is the affiliation in third place in the table. This institution has a total of 571 citations, an average of 16.3 citations per document and an H index of 12. The International Maize and Wheat Improvement Center is the institution that has obtained the highest recognition for its research, using citation accumulation as an indicator, as it has achieved a total of 2020 citations and an average number of 59.4 citations per document. This institution, which is in fourth position in terms of the quantity of documents, with 34, has the highest H index. It should be noted that this centre is an international institution that is part of the Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR). However, given that it is based in Texcoco, and that it appears in Scopus as a Mexican-affiliated centre for all purposes, it has been considered appropriate to maintain it as such.

**Table 5.** Principal variables of the most prominent institutions on SAM research.

Institution	D	TC	TC/D	H Index	IC (%)	TC/D	
						IC	NIC
Universidad Nacional Autónoma de México	86	1321	15.4	19	36.1	24.0	10.5
Instituto Politécnico Nacional	38	261	6.9	10	29.0	6.2	7.1
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias	35	571	16.3	12	42.9	29.1	6.7
Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo	34	2020	59.4	18	73.5	75.7	14.2
El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR, San Cristóbal de las Casas)	33	867	26.3	16	63.6	37.8	6.1
El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR, Tapachula)	31	500	16.1	11	41.9	31.3	5.2
Colegio de Postgraduados	30	338	11.3	7	30.0	29.8	3.3
Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad	28	575	20.5	15	10.7	74.0	14.1
Universidad Autónoma del Estado de México	25	191	7.6	8	40.0	9.4	6.5
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	24	210	8.8	10	58.3	13.6	1.9

D: annual amount of documents; TC: annual amount of citations in cumulative documents; TC/D: total citation per document; IC: international collaborations; NIC: no international collaborations.

With reference to international collaboration, the average percentage of documents on SAM developed by this cluster of affiliations is 42.6%. In the table, we can see that in all cases a higher average amount of citations is obtained in projects implemented in collaboration, except for the Instituto Politécnico Superior. Those above the average are the Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo with 73.5% of its publications carried out through collaboration, followed by the Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR, San Cristóbal de las Casas, Mexico) with 63.6%, and the Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo with 58.3%. It is worth pointing out that the three institutions with the highest average cipher of citations per document coincide with those that have the greatest difference in citations obtained in papers developed through international collaboration. The Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, on average, obtains 61.5 citations more in studies carried out in collaboration, and is the institution with the highest average amount of citations per paper in the table. The Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR, San Cristóbal de las Casas, Mexico) is the second institution in relation to the average amount of citations per document and, on average, obtains 31.7 citations more in its collaborative studies. The Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad is the third institution in terms of citations per article. In this case, it obtains 59.9 more citations in studies implemented based on collaboration. Therefore, we can conclude that establishing quality collaboration relationships has a positive influence on the number of citations achieved by the studies published. However, the amount of studies carried out through collaboration is not directly related to the number of citations obtained.

### 3.6. Authors

Table 6 includes the most salient authors on SAM research considering the amount of contributions. Overall, the researchers in this group come from eight Mexican and three international institutions, two of them in the USA and one in Belgium. Six of the eight Mexican institutions are also on the list of most prolific institutions. The reason explaining the appearance of new institutions in this section is the establishment of collaboration networks between authors, which helps to position some of them in prominent positions. The most prolific author is Bram Govaerts, from the Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, with 18 papers. This author has the highest amount of citations, with a total of 1350, the highest H index with a figure of 14, and an average of 75.1 citations per document. Govaerts shares authorship with other prominent authors from the same institution, such as Kenneth D. Sayre and Nele Verhulst, who hold the fourth and tenth positions, with 13 and 7 articles, respectively. Other prominent authors in the table who share authorship are Luc Dendooven of the Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, who shares tenth position, and Jozef A. Deckers of the Catholic University of Leuven, who holds the sixth position. In second place, in terms of the number of contributions, is Alejandro Casas of the Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, with a total number of 17. This author is the longest established in the field, publishing his first article on SAM in 2001. This author has a total of 257 citations, an average of 15.1 citations per document and an H index of 9. In this subject field, he primarily collaborates with Ana I. Moreno-Calles of the Universidad Nacional Autónoma de México, with whom he has co-written seven studies, which also place her in the table. José María Ponce-Ortega is the author that holds third place in relation of the number of papers, with 16. This researcher of the Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo has achieved 179 citations, an average of 11.2 citations per document and an H index of 9. Those collaborating with this author include Mahmoud M. El-Halwagi of the Texas A&M University, and Fabricio Nápoles-Rivera, also from the Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. He shares nine and seven articles, respectively, with these authors, who are also positioned amongst the most prolific in this field.

**Table 6.** Principal variables of the most prominent authors on SAM research.

Author	D	TC	TC/D	H Index	C	Affiliation	1st D	Last D
Govaerts, B.	18	1350	75.1	14	Mexico	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo	2005	2020
Casas, A.	17	257	15.1	9	Mexico	Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad	2001	2020
Ponce-Ortega, J.M.	16	179	11.2	9	Mexico	Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	2012	2020
Sayre, K.D.	13	1270	97.7	12	Mexico	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo	2005	2011
Nahed-Toral, J.	12	159	13.3	5	Mexico	ECOSUR, San Cristóbal de las Casas	2006	2020
Arriaga-Jordán, C.M.	11	114	10.4	6	Mexico	Universidad Autónoma del Estado de México	2013	2020
Deckers, J.	11	1231	111.9	11	Belgium	Catholic University of Leuven	2005	2011
El-Halwagi, M.M.	9	161	17.9	8	USA	Texas A&M University	2012	2017
Diemont, S.A.W.	8	274	34.3	8	USA	SUNY College of Environmental Science and Forestry	2005	2016
Astier, M.	7	92	13.1	5	Mexico	Universidad Nacional Autónoma de México	2006	2019
Dendooven, L.	7	545	77.9	6	Mexico	Centro de Investigación y de Estudios Avanzados	2007	2019
Guevara-Hernández, F.	7	15	2.1	2	Mexico	Universidad Autónoma de Chiapas	2010	2020
Moreno-Calles, A.I.	7	68	9.7	4	Mexico	Universidad Nacional Autónoma de México	2013	2020
Nápoles-Rivera, F.	7	109	15.6	6	Mexico	Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	2013	2017
Verhulst, N.	7	213	30.4	6	Mexico	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo	2011	2019

D: annual amount of documents; TC: annual amount of citations in cumulative documents; TC/D: total citation per document; C: country; 1st D: first document by journal; Last D: last document.

### 3.7. Keywords Analysis

Figures 3 and 4 illustrate the network maps of keywords used in the documents published on SAM based on their cluster groups and evolution over time, respectively. The size of the labels corresponding to each term (represented by a circle) varies according to the number of times it is repeated. Thus, larger circles represent terms that have been used in a greater number of articles and vice versa. In Figure 3, the terms have been grouped according to the number of co-occurrences in the sample documents. The resulting clusters have been represented in different colours in order to differentiate between them. In Figure 4, the colour varies depending on the moment of greatest use of each keyword, with the dark blue tones corresponding to earlier periods and the yellow tones to more recent moments.

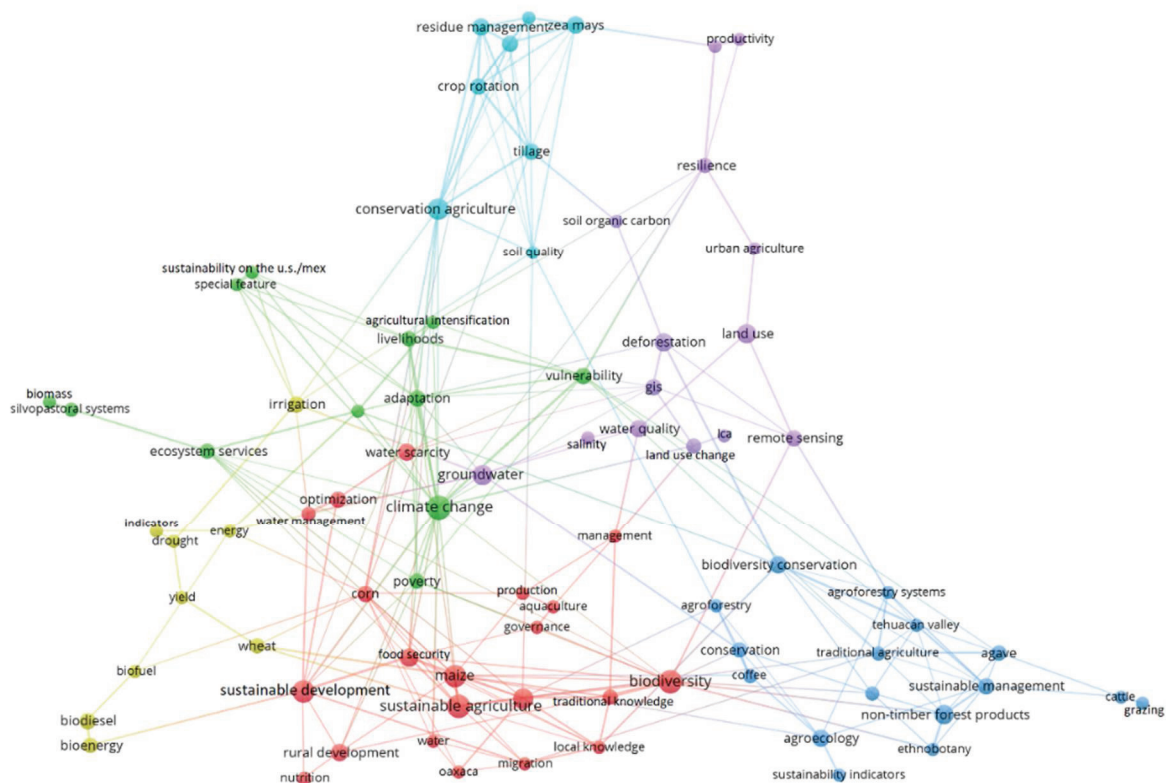
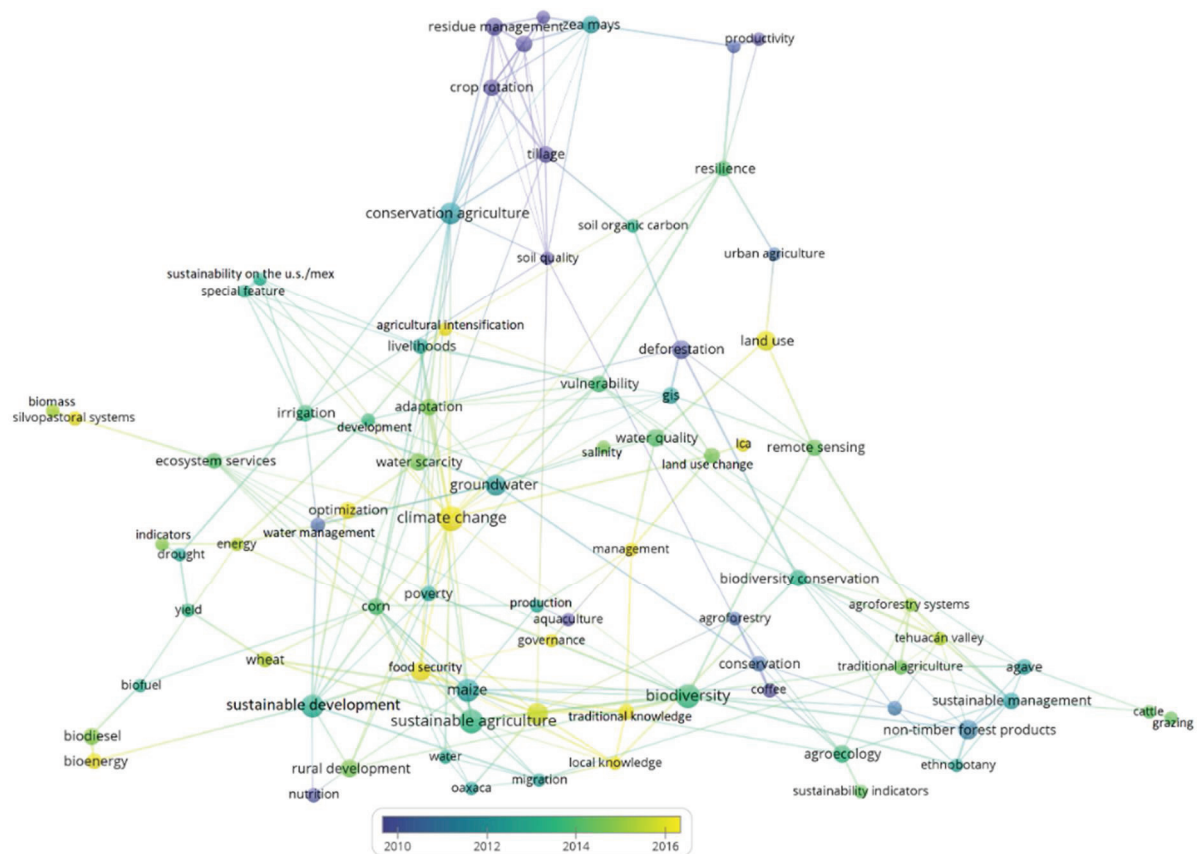


Figure 3. Clustering in main keywords related to SAM research.

In Figure 3, we can observe six different clusters, representing the different lines of research that dominate this field. These groups have been obtained using algorithms available in the software application, based on the application of the strength of association similarity index for the normalisation of co-occurrence values. The red cluster focuses on the development of sustainable agricultural models in vulnerable rural areas. The overall objective of this line of research is the development of agricultural models that provide a base for the rural development of the most disadvantaged areas, where other alternatives do not exist. The priorities are to ensure food supply and to maintain the rural population. To do this, this line is based on the local traditional knowledge and the rich biodiversity of Mexico. In this line, Ubierno-Corvalán et al. [69] documented the edible plant agrobiodiversity of the agroecosystems in the indigenous area of *maya-ch'ol* in Chiapas. Castro-Sánchez et al. [70] investigated the relationships of native *Purépecha* communities with edible mushrooms and their environment, the place of mushrooms in the indigenous cosmivision and classification structure, the forms of management and the social and environmental issues associated with their usage. Moreno-Calles et al. [71] analysed the contribution of *ethnoagroforestry* to support biodiversity, including plants and

animals, ecosystems and landscapes, as a basis for food sufficiency and sovereignty for communities, regions and the whole of the Mexican nation. In Figure 4, we can see that this cluster corresponds to a recent line of research, given that the yellow and green tones are predominant among the keywords. The most prominent new concepts are *food security*, *traditional knowledge* and *local knowledge*. Given its recent incorporation, the number of studies on these aspects is even smaller and, therefore, the circles are smaller. If the shades turn darker without an increase in the number of publications, we can consider them to be terms that are in vogue.



**Figure 4.** Trends in main keywords related to SAM research.

The blue cluster refers to the sustainable exploitation of agroforestry systems. Its objective is to obtain a series of products, other than wood, through the use of traditional mixed management system practices with grazing and livestock. Furthermore, all of this is carried out under the premise of conservation, based on the use of sustainability indicators. An example of these systems is bovine farming. Prospero-Bernal et al. [72] analysed the sustainability of small-scale dairy systems that are based on conventional irrigated cut-and-carry pastures and cereal straw and commercial feed concentrates in the highlands of central Mexico. Espinoza-Guzmán et al. [73] evaluated the dynamics of changes in the agroecosystem of a shade-grown coffee plantation in the upper La Antigua river basin, Veracruz, considered as one of the principal systems for the conservation of biodiversity. Albarrán-Portillo et al. [74] analysed the socioeconomic and productive characteristics of agrosilvopastoral systems that comprise different elements such as crops, pastures, trees and shrubs, and are seen as a way forward to satisfy future necessities for different commodities such as food, feed, fuel, and other products, as well as for providing environmental and social benefits. García-Pérez et al. [75] studied *Chamaedorea hooperiana* as an alternative crop in primary forest, capable of providing an economic return while contributing to forest sustainability, in Los Tuxtlas Biosphere Reserve in Veracruz. Ferguson



et al. [76] compared two systems of cattle ranching through the use of system indicators. While one used extensive grazing, annual burning of pastures and regular application of agrochemicals, jeopardising biodiversity and long-term productivity, the other employed holistic management with careful land-use planning, rotational grazing, diversified forage, and a lower amount of purchased inputs. With respect to the use of keywords over time, in Figure 4, we can see how within this line of research, there has been a replacement of terms over the years. During the first decade, the dominant terms were *conservation*, *agroforestry* and *coffee*, and today they have evolved towards the concepts of *conservation of biodiversity*, *agroforestry systems*, *cattle* and *grazing*. In this way, we can appreciate greater precision in the terms and a replacement of others, fruit of the development of the research.

The yellow cluster shows a very recent line of research, which emerged in approximately 2013. It specialises in the development of energy crops for different uses. Together with food supply, the availability of energy resources for the rural communities is a pressing challenge in Mexico. In accordance with the Law on the Use of Renewable Energies and the Financing of the Energy Transition, Mexico aims to achieve the use of 35% renewable energy for 2024. The development of agricultural models that include in their objectives the production of energy through energy crops or through the use of surplus biomass has emerged as a sustainable alternative. Within this field, we can find studies such as those by Molina-Guerrero et al. [77], who analysed the potentiality of agricultural residues generated by Mexico's principal crops to produce energy (including sorghum, sugar cane, corn, wheat, barley, beans and coffee). Similarly, di Bitonto et al. [78] analysed and characterised another group of Mexican biomass wastes (including different seeds and fruits such as *jatropha*, avocado, palm, peppers, flamboyant, coconut and nance) to obtain a complete exploitation of their energy potential. Medina-Santana et al. [79] used a water–energy–food nexus approach to evaluate the sustainability of a multi-objective agricultural model in a community in Michoacan. The findings indicate that the sale of bioethanol as an economic activity could be considered attractive by slightly increasing the price of biofuel and the yield of sugar cane.

The violet cluster combines two priority themes: water resource management and land use and its changes. Given that a large part of Mexican agriculture is developed in arid and semi-arid climates where the availability of water resources is the principal limiting factor, the sustainable management of this resource is an urgent need [38]. Mexican agriculture has advanced greatly in terms of adopting technology to improve efficiency in water use. Reyes-González et al. [80] created evapotranspiration maps using multispectral remote sensing vegetation indices in order to quantify crop water consumption in line with their physiological phases. López-Hernández et al. [81] analysed the productivity–evapotranspiration relationship, concluding that the determination of productivity through evapotranspiration has a direct relationship with crop yields, as it improves irrigation efficiency. The modifications experienced in land use have been related to the different environmental impacts but particularly the degradation of water masses [38]. Vanderplank et al. [82] reported that seawater intrusion into aquifers as a result of unsustainable extraction, mainly for agricultural irrigation, causes impacts on adjacent ecosystems, resulting in the loss of more than twenty native plants in the San Quintín valley. Furthermore, groundwater quality is also affected by salinisation and pollution as a consequence of wastewater use for agricultural irrigation and the fertilization [83]. In order to resolve these problems, different alternatives have been proposed. First, the search for new safe sources of water. González-Bravo et al. [84], for example, proposed the development of seawater desalination plants to contribute to supplying the growing water needs and to fight against the degradation of the over-exploited water masses. Studies such as those by Fernández et al. [85] proposed the development of agricultural models that contribute to supplying food, without modifying the natural environment and reusing resources, such as the urban agricultural systems.

The light blue cluster corresponds to the more consolidated line, given that in the map of the temporal scale, we can see how the dark shades dominate in the keywords.

The central theme of this cluster is conservation agriculture. These types of system are made up of a set of techniques including minimum tillage, permanent soil cover and the diversification of crops, which have the basic purpose of conserving the implementation of a more efficient system based on an integrated management of the soil, water, biological agents and external inputs [86]. The implementation of conservation agriculture jointly with an efficient use of fertilizers can improve the yields and quality of the production of the crops [87]. Fuentes et al. [88] studied maize and found that the application of conservation agriculture in this crop can increase soil carbon content and reduce carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions. Rivers et al. [89] found that conservation agriculture can help in pest control by improving soil characteristics and reducing erosion, creating a better habitat for beneficial organisms.

Finally, the green cluster focuses on climate change and the impact of its consequences on the flow of ecosystem services derived from the agroecosystems. This cluster exemplifies how a new topic can become dominant within a field of study. In Figure 4, we can observe that the term *climate change* is not relevant until 2016; however, this concept is represented with one of the largest circles. This indicates that in a short time, it has attracted great interest in this field of study. One of the clearest impacts of climate change is the availability of water. Hernández-Bedolla et al. [90] estimated water availability under different baseline scenarios, concluding that the main factors affecting water availability are decreasing precipitation and high temperatures. Molina-Navarro et al. [91] concluded that in the Guadalupe basin, the run-off can be reduced by between 45% and 60%, while the recharging of the groundwater can fall by up to 74% as a consequence of climate change. There is a group of studies that analyse the characteristics of the crops and the soil under different scenarios of climate change. Díaz et al. [92] studied the bacterial community linked to the roots of three crops grown in semi-arid environments, under different growth cycles, to provide knowledge on the composition of their microbial community during the warm season in Northeastern Mexico. Baez-Gonzalez et al. [93] aimed to develop eco-efficient bean cultivars to be planted at high densities to sustain bean production in a changing climate. However, the impact of climate change can also give rise to economic and social consequences, particularly for more vulnerable countries such as Mexico, which represents important challenges for their development and agricultural well-being [94]. Another group of studies focuses on the impact on living conditions and the perceptions of the farmers. Orduño-Torres et al. [94] analysed the farmers' environmental perceptions and preferences in relation to climate change adaptation and mitigation actions. Shinbrot et al. [95] analysed the importance of vulnerability context, livelihood assets and climate perceptions of the farmers to adopt climate-related adaptation strategies.

#### 4. Conclusions

The purpose of this study was to offer an overview of the development of the research on sustainable agriculture in Mexico during the 21st century. With this aim, a bibliometric analysis was conducted over a sample of 867 documents. Furthermore, in order to verify the magnitude of the evolution of this field of study, a parallel search of the general research on agriculture in Mexico has also been conducted. Subsequently, we performed a productivity analysis on the basis of the amount of documents, journals, subject categories, authors, affiliations and collaborations, and also a study of the principal topics developed based on the keywords used.

The findings indicate that both lines of research have increased in significance in recent years. However, even though the research on sustainability in agriculture in Mexico has emerged fairly recently, it has become a priority line over the last decade. This outcome is coherent with the trend observed worldwide in research in this area, especially in relation to the achievement of the Sustainable Development Goals of the 2030 Agenda promoted by the United Nations. Therefore, both in the general and in the sustainability lines of research, the dominant thematic categories were *Agricultural and Biological Science*, *Environmental Science*, and *Social Science*. In the case of the research on SAM, the series of topics related

to the concept of sustainability was given more emphasis than in the research on AM. It is, therefore, necessary to foster studies about social and economic perspectives and to conduct research that considers the three dimensions of sustainability.

Examination of collaborative networks has found that the quantity of international collaborative studies was higher for SAM than for AM research. Thus, we can observe that, compared to other areas of study, sustainability is more multidisciplinary, and also more widely studied through international collaboration between institutions. Among the different reasons for the increase in international collaboration between Mexican institutions and foreign centres is the large number of international initiatives that promote the creation of global networks for sustainable development in different areas, especially from the United Nations. Furthermore, we are able to verify that there is a direct relationship between the quality of the collaborative relationships and the average amount of citations achieved by the studies. However, we cannot determine a direct relationship between the quantity of the studies performed through collaboration and the number of citations.

The analysis of the keywords shows six clusters in the research on SAM, focused on topics such as the development of sustainable agricultural models in vulnerable rural areas, the sustainable exploitation of agroforestry systems, the development of energy crops for different uses, water resource management and land uses and their changes, conservation farming and climate change. Within these topics, we have found new concepts that can consolidate and become the central themes, as in the case of *climate change*, *food security*, *agricultural intensification* or *land use*; and others such as *agriculture*, *coffee*, *productivity* or *agroforestry*.

The results of this study show that, during the last decades, Mexican agriculture has undergone a strong modernisation process, placing it among the world's leading producers and exporters. This process has been mainly based on the adoption of new models of agricultural management, the use of technological innovations, and the diversification of crops to access new markets. These advances have allowed Mexico to move from traditional subsistence agriculture to highly professionalised and productive agriculture. However, this process has not developed in a balanced way. Once the goals of production and commercialisation have been achieved, Mexico must face new challenges in order to achieve a fully sustainable agriculture.

The main areas to work on, which constitute the main lines of research proposed, are the following: (i) from an environmental perspective, production models must be developed that are more respectful of the surrounding ecosystems as a whole, especially with regard to water bodies that are currently overexploited; (ii) from the perspective of the economic sphere, the development of ancillary industries should be promoted, as well as processing industries, capable of generating added value for the country; and (iii) with regard to the social sphere, it is here that the greatest efforts must be made, given that the current model is increasing inequality between northern and southern territories, between marginal rural areas and urban centres, and between employers and employees.

**Author Contributions:** Conceptualization, C.A.O.-N., J.F.V.-M., J.A.A.-S. and E.M.-V.; methodology, C.A.O.-N., J.F.V.-M., J.A.A.-S. and E.M.-V.; software, C.A.O.-N., J.F.V.-M., J.A.A.-S. and E.M.-V.; validation, C.A.O.-N., J.F.V.-M., J.A.A.-S. and E.M.-V.; formal analysis, C.A.O.-N., J.F.V.-M., J.A.A.-S. and E.M.-V.; investigation, C.A.O.-N., J.F.V.-M., J.A.A.-S. and E.M.-V.; resources, C.A.O.-N., J.F.V.-M., J.A.A.-S. and E.M.-V.; data curation, C.A.O.-N., J.F.V.-M., J.A.A.-S. and E.M.-V.; writing—original draft preparation, C.A.O.-N., J.F.V.-M., J.A.A.-S. and E.M.-V.; writing—review and editing, C.A.O.-N., J.F.V.-M., J.A.A.-S. and E.M.-V.; supervision, C.A.O.-N., J.F.V.-M., J.A.A.-S. and E.M.-V. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** This research received no external funding.

**Acknowledgments:** This work was partially supported by the Spanish Ministry of Economy and Competitiveness and the European Regional Development Fund by means of the research project ECO2017-82347-P. It also received support from Junta de Andalucía and FEDER aid (project P18-RT-2327, Consejería de Transformación Económica, Industria, Conocimiento y Universidades).

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest.

## References

1. Assessment, M.E. *Ecosystems and Human Well-Being; Current State and Trends* Island Press: Washington, DC, USA, 2005; p. 137.
2. Ellis, E.C.; Ramankutty, N. Putting people in the map: Anthropogenic biomes of the world. *Front. Ecol. Environ.* **2008**, *6*, 439–447. [[CrossRef](#)]
3. Ellis, E.C.; Haff, P.K. Earth science in the anthropocene: New epoch, new paradigm, new responsibilities. *EOS Trans. Am. Geophys. Union* **2009**, *90*, 473. [[CrossRef](#)]
4. FAOSTAT. *Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database*; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, 2010. Available online: <http://www.fao.org/faostat/en/#home> (accessed on 27 February 2021).
5. Smith, P.; Gregory, P.J.; van Vuuren, D.; Obersteiner, M.; Havlík, P.; Rounsevell, M.; Woods, J.; Stehfest, E.; Bellarby, J. Competition for land. *Philos. Trans. R. Soc. B* **2010**, *365*, 2941–2957. [[CrossRef](#)]
6. Foley, J.A.; Ramankutty, N.; Brauman, K.A.; Cassidy, E.S.; Gerber, J.S.; Johnston, M.; Mueller, N.D.; O’Connell, C.; Ray, D.K.; West, P.C.; et al. Solutions for a cultivated planet. *Nature* **2011**, *478*, 337–342. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
7. Tilman, D.; Balzer, C.; Hill, J.; Befort, B.L. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **2011**, *108*, 20260–20264. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
8. Alexandratos, N.; Bruinsma, J. *World Agriculture towards 2030/2050: The 2012 Revision*; ESA Working Paper 12-03; FAO: Rome, Italy, 2012. Available online: <http://www.fao.org/3/ap106e/ap106e.pdf> (accessed on 27 February 2021).
9. United Nations. *World Population. Prospects 2019: Highlights (ST/ESA/SER.A/423)*; Department of Economic and Social Affairs, Population Division: San Francisco, CA, USA, 2019. Available online: [https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019\\_Highlights.pdf](https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf) (accessed on 27 February 2021).
10. Springmann, M.; Clark, M.; Mason-D’Croz, D.; Wiebe, K.; Bodirsky, B.L.; Lassaletta, L.; De Vries, W.; Vermeulen, S.J.; Herrero, M.; Carlson, K.M.; et al. Options for keeping the food system within environmental limits. *Nature* **2018**, *562*, 519–525. [[CrossRef](#)]
11. Laurett, R.; Paço, A.; Mainardes, E.W. Sustainable Development in Agriculture and its Antecedents, Barriers and Consequences—An Exploratory Study. *Sustain. Prod. Consum.* **2021**, *27*, 298–311. [[CrossRef](#)]
12. Forouzani, M.; Karami, E. Agricultural water poverty index and sustainability. *Agron. Sustain. Dev.* **2011**, *31*, 415–432. [[CrossRef](#)]
13. Fu, H.Z.; Wang, M.H.; Ho, Y.S. Mapping of drinking water research: A bibliometric analysis of research output during 1992–2011. *Sci. Total Environ.* **2013**, *443*, 757–765. [[CrossRef](#)]
14. Pedro-Monzonis, M.; Solera, A.; Ferrer, J.; Estrela, T.; Paredes-Arquiola, J. A review of water scarcity and drought indexes in water resources planning and management. *J. Hydrol.* **2015**, *527*, 482–493. [[CrossRef](#)]
15. Adeyemi, O.; Grove, I.; Peets, S.; Norton, T. Advanced monitoring and management systems for improving sustainability in precision irrigation. *Sustainability* **2017**, *9*, 353. [[CrossRef](#)]
16. Cunningham, S.A.; Attwood, S.J.; Bawa, K.S.; Benton, T.G.; Broadhurst, L.M.; Didham, R.K.; McIntyre, S.; Perfecto, I.; Samways, M.J.; Tscharntke, T.; et al. To close the yield-gap while saving biodiversity will require multiple locally relevant strategies. *Agric. Ecosyst. Environ.* **2013**, *173*, 20–27. [[CrossRef](#)]
17. Mancosu, N.; Snyder, R.L.; Kyriakakis, G.; Spano, D. Water scarcity and future challenges for food production. *Water* **2015**, *7*, 975–992. [[CrossRef](#)]
18. Maxwell, S.L.; Fuller, R.A.; Brooks, T.M.; Watson, J.E.M. Biodiversity: The ravages of guns, nets and bulldozers. *Nature* **2016**, *536*, 143–145. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
19. Aznar-Sánchez, J.A.; Piquer-Rodríguez, M.; Velasco-Muñoz, J.F.; Manzano-Agugliaro, F. Worldwide research trends on sustainable land use in agriculture. *Land Use Pol.* **2019**, *67*, 104069. [[CrossRef](#)]
20. Kissinger, G.; Herold, M.; De, V.; Angelsen, A.; Bietta, F.; Bodganski, A.; Boucher, D.; Boyle, T.; Brickell, E.; Defries, R.; et al. *Drivers of Deforestation and Forest Degradation: A Synthesis Report for REDD + Policy Makers*; Lexeme Consulting: Vancouver, BC, Canada, 2012.
21. Kirkhorn, S.; Schenker, M.B. *Human Health Effects of Agriculture: Physical Diseases and Illnesses*; National Agriculture Safety Database: Washington, DC, USA, 2001; p. 18.
22. Tilman, D. Global environmental impacts of agricultural expansion: The need for sustainable and efficient practices. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **1999**, *96*, 5995–6000. [[CrossRef](#)]
23. Foucher, A.; Salvador-Blanes, S.; Evrard, O.; Simonneau, A.; Chapron, E.; Courp, T.; Cerdan, O.; Lefèvre, I.; Adriaensen, H.; Lecompte, F.; et al. Increase in soil erosion after agricultural intensification: Evidence from a lowland basin in France. *Anthropocene* **2014**, *7*, 30–41. [[CrossRef](#)]
24. Brundtland, G.; Khalid, M.; Agnelli, S.; Al-Athel, S.; Chidzero, B.; Fadika, L.; Hauff, V.; Lang, I.; Shijun, M.; de Botero, M.M.; et al. *Our Common Future (Brundtland Report)*; Oxford University Press: Oxford, UK, 1987; p. 383. ISBN 019282080X.
25. Meadowcroft, J. Who is in charge here? Governance for sustainable development in a complex world. *J. Environ. Policy Plan.* **2007**, *9*, 299–314. [[CrossRef](#)]
26. Holden, E.; Linnerud, K.; Banister, D. Sustainable development: Our common future revisited. *Glob. Environ. Chang. Hum. Policy Dimens.* **2014**, *26*, 130–139. [[CrossRef](#)]
27. Komiyama, H.; Takeuchi, K. Sustainability science: Building a new discipline. *Sustain. Sci.* **2006**, *1*, 1–6. [[CrossRef](#)]

28. Yarime, M.; Takeda, Y.; Kajikawa, Y. Towards institutional analysis of sustainability science: A quantitative examination of the patterns of research collaboration. *Sustain. Sci.* **2010**, *5*, 115–125. [CrossRef]
29. Velasco-Muñoz, J.F.; Aznar-Sánchez, J.A.; Batlles de la Fuente, A.; Fidelibus, M.D. Sustainable Irrigation in Agriculture: An Analysis of Global Research. *Water* **2019**, *11*, 1758. [CrossRef]
30. United Nations. *The Sustainable Development Goals Report 2020*; United Nations Publications: New York, NY, USA, 2020. ISBN 978-92-1-101425-9.
31. Becker, B. *Sustainability Assessment: A Review of Values, Concepts and Methodological Approaches*; Issues in Agriculture 10; World Bank-Consultative Group on International Agriculture Research (CGIAR): Washington, DC, USA, 1997.
32. Lahmar, R. Adoption of conservation agriculture in Europe: Lessons of the KASSA project. *Land Use Pol.* **2010**, *27*, 4–10. [CrossRef]
33. Aznar-Sánchez, J.A.; Velasco-Muñoz, J.F.; López-Felices, B.; del Moral-Torres, F. Barriers and Facilitators for Adopting Sustainable Soil Management Practices in Mediterranean Olive Groves. *Agronomy* **2020**, *10*, 506. [CrossRef]
34. Galdeano-Gómez, E.; Perez-Mesa, J.C.; Aznar-Sánchez, J.A. Internationalisation of SMEs and simultaneous strategies of cooperation and competition: An exploratory analysis. *J. Bus. Econ. Manag.* **2016**, *17*, 1114–1132. [CrossRef]
35. Du Pisani, J.A. Sustainable development—Historical roots of the concept. *J. Environ. Sci.* **2006**, *3*, 83–96. [CrossRef]
36. Velasco-Muñoz, J.F.; Aznar-Sánchez, J.A.; Batlles-de-laFuente, A.; Fidelibus, M.D. Rainwater Harvesting for Agricultural Irrigation: An Analysis of Global Research. *Water* **2019**, *11*, 1320. [CrossRef]
37. Dias, C.S.L.; Rodrigues, R.G.; Ferreira, J.J. What's new in the research on agricultural entrepreneurship? *J. Rural. Stud.* **2019**, *65*, 99–115. [CrossRef]
38. Ochoa-Noriega, C.A.; Aznar-Sánchez, J.A.; Velasco-Muñoz, J.F.; Álvarez-Bejar, A. The Use of Water in Agriculture in Mexico and Its Sustainable Management: A Bibliometric Review. *Agronomy* **2020**, *10*, 1957. [CrossRef]
39. Food and Agricultural Organization of the United Nations. *El sistema Alimentario en México—Oportunidades Para el Campo Mexicano en la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible*; FAO: Ciudad de México, Mexico, 2019. Available online: <http://www.fao.org/3/CA2910ES/ca2910es.pdf> (accessed on 5 February 2021).
40. Food, Agricultural and Fisheries Information Service. *2019 Food & Agriculture Overview*; SIAP: Mexico City, Mexico, 2019. Available online: [https://nube.siap.gob.mx/gobmx\\_publicaciones\\_siap/pag/2019/Agricultural-Atlas-2019](https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2019/Agricultural-Atlas-2019) (accessed on 5 February 2021).
41. World Trade Organization. *World Trade Statistical Review 2019*; World Trade Organization: Geneva, Switzerland, 2019. Available online: [https://www.wto.org/english/res\\_e/statis\\_e/wts2019\\_e/wts19\\_toc\\_e.htm](https://www.wto.org/english/res_e/statis_e/wts2019_e/wts19_toc_e.htm) (accessed on 5 February 2021).
42. Sosa-Baldivia, A.; Ruiz-Ibarra, G. Food availability in Mexico: An analysis of agricultural production over the last 35 years and its projection for 2050. *Pap. Poblac.* **2017**, *23*, 207–230. Available online: <https://rppoblacion.uaemex.mx/article/view/9111> (accessed on 25 October 2017).
43. The World Bank. Available online: <https://data.worldbank.org/indicator/SL.AGR.EMPL.ZS?end=2019&locations=MX&start=1991> (accessed on 5 February 2021).
44. Carrasco-Quintero, M.R.; Ortiz-Hernández, L.; Roldán-Amaro, J.A.; Chávez-Villasana, A. Malnutrition and cognitive development in infants in rural marginalized areas in Mexico. *Gac. Sanit.* **2016**, *30*, 304–307. [CrossRef]
45. Solovieva, Y.; Quintanar, R.; Lázaro, G. Efectos socioculturales sobre el desarrollo psicológico y neurológico en niños preescolares. *Cuad. Hispanoam. Psicol. México* **2006**, *6*, 9–20.
46. Gómez-Merino, F.C.; Hernández-Anguiano, A.M. El Contexto del Sector Agroalimentario en México. In *Líneas Prioritarias de Investigación. Informe de Gestión 2009–2011*; Hernández-Anguiano, A.M., Gómez-Merino, F.C., Pérez-Hernández, L.M., Villanueva-Jiménez, J.A., Eds.; Colegio de Postgraduados: Estado de México, México, 2013; ISBN 978-607-715-135-7.
47. Delgado-Carranza, C.; Bautista, F.; Ihl, T.J.; Palma-López, D. Duración del periodo de lluvias y aptitud de tierras para la agricultura de temporal. *Ecosistemas Recur. Agropecu.* **2017**, *4*, 485. [CrossRef]
48. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat, 2019). *Programa Nacional Hídrico 2019–2014*; Comisión Nacional del Agua (Conagua): Copilco el Bajo, Mexico, 2019. Available online: <http://187.191.71.192/portales/resumen/48732> (accessed on 2 February 2021).
49. Comisión Nacional del Agua (Conagua, 2018). *Estadísticas del Agua en México, 2018ed*; Conagua: Ciudad de México, México, 2018. Available online: [http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM\\_2018.pdf](http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf) (accessed on 2 February 2021).
50. Arce-Romero, A.; Monterroso-Rivas, A.I.; Gómez-Díaz, J.D.; Palacios-Mendoza, M.A.; Navarro-Salas, E.N.; López-Blanco, J.; Conde-Álvarez, A.C. Crop yield simulations in Mexican agriculture for climate change adaptation. *Atmósfera* **2020**, *33*, 215–231. [CrossRef]
51. Durieux, V.; Gevenois, P.A. Bibliometric Indicators: Quality Measurements of Scientific Publication. *Radiology* **2010**, *255*, 342. [CrossRef]
52. Mongeon, P.; Paul-Hus, A. The journal coverage of Web of Science and Scopus: A comparative analysis. *Scientometrics* **2016**, *106*, 213–228. [CrossRef]
53. Govaerts, B.; Sayre, K.D.; Goudeseune, B.; De Corte, P.; Lichter, K.; Dendooven, L.; Deckers, J. Conservation agriculture as a sustainable option for the central Mexican highlands. *Soil Tillage Res.* **2009**, *103*, 222–230. [CrossRef]
54. Riojas, C. La naturaleza de las articulaciones regionales en México a través del tiempo. *Amerika* **2011**, *4*. [CrossRef]
55. Rocchi, L.; Boggia, A.; Paolotti, L. Sustainable agricultural systems: A bibliometrics analysis of ecological modernization approach. *Sustainability* **2020**, *12*, 9635. [CrossRef]

56. El Chami, D.; Daccache, A.; El Moujabber, M. How can sustainable agriculture increase climate resilience? A systematic review. *Sustainability* **2020**, *12*, 3119. [CrossRef]
57. Wezel, A.; Soldat, V. A quantitative and qualitative historical analysis of the scientific discipline of agroecology. *Int. J. Agric. Sustain.* **2009**, *7*, 3–18. [CrossRef]
58. Aznar-Sánchez, J.A.; Belmonte-Ureña, L.J.; Velasco-Muñoz, J.F.; Manzano-Agugliaro, F. Economic analysis of sustainable water use: A review of worldwide research. *J. Clean. Prod.* **2018**, *198*, 1120–1132. [CrossRef]
59. Aznar-Sánchez, J.A.; Velasco-Muñoz, J.F.; Belmonte-Ureña, L.J.; Manzano-Agugliaro, F. Innovation and technology for sustainable mining activity: A worldwide research assessment. *J. Clean. Prod.* **2019**, *221*, 38–54. [CrossRef]
60. Aznar-Sánchez, J.A.; Velasco-Muñoz, J.F.; Belmonte-Ureña, L.J.; Manzano-Agugliaro, F. The worldwide research trends on water ecosystem services. *Ecol. Indic.* **2019**, *99*, 310–323. [CrossRef]
61. Cossarini, D.M.; MacDonald, B.H.; Wells, P.G. Communicating marine environmental information to decision makers: Enablers and barriers to use of publications (grey literature) of the Gulf of Maine Council on the Marine Environment. *Ocean. Coast. Manag.* **2014**, *96*, 163–172. [CrossRef]
62. Garrigós-Simón, F.; Sanz-Blas, S.; Narangajavana, Y.; Buzova, D. The Nexus between Big Data and Sustainability: An Analysis of Current Trends and Developments. *Sustainability* **2021**, *13*, 6632. [CrossRef]
63. Hernández-Díaz, P.M.; Polanco, J.A.; Escobar-Sierra, M.; Filho, W.L. Holistic integration of sustainability at universities: Evidences from Colombia. *J. Clean. Prod.* **2021**, *305*, 127145. [CrossRef]
64. Abad-Segura, E.; Batlles-delaFuente, A.; González-Zamar, M.D.; Belmonte-Ureña, L.J. Implications for Sustainability of the Joint Application of Bioeconomy and Circular Economy: A Worldwide Trend Study. *Sustainability* **2021**, *13*, 7182. [CrossRef]
65. Velasco-Muñoz, J.F.; Aznar-Sánchez, J.A.; Belmonte-Ureña, L.J.; Román-Sánchez, I.M. Sustainable Water Use in Agriculture: A Review of Worldwide Research. *Sustainability* **2018**, *10*, 1084. [CrossRef]
66. Cogato, A.; Meggio, F.; Migliorati, M.; Marinello, F. Extreme Weather Events in Agriculture: A Systematic Review. *Sustainability* **2019**, *11*, 2547. [CrossRef]
67. Ngwenya, S.; Boshoff, N. Participation of ‘international national organisations’ in Africa’s research: A bibliometric study of agriculture and health in Zimbabwe. *Scientometrics* **2020**, *124*, 533–553. [CrossRef]
68. Kumar, A.; Mallick, S.; Swarnakar, P. Mapping Scientific Collaboration: A Bibliometric Study of Rice Crop Research in India. *J. Sci. Res.* **2020**, *9*, 29–39. [CrossRef]
69. Ubiergo-Corvalán, P.A.; Rodríguez-Galván, M.G.; Zaragoza-Martínez, M.L.; Ponce-Díaz, P.; Casas, A.; Mariaca-Méndez, R. Agrobiodiversity of edible vegetable in the indigenous territory maya-ch’ol Chiapas, Mexico. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* **2020**, *23*, 46. Available online: <http://www.revista.ccba.uady.mx/urn:ISSN:1870-0462-tsaes.v23i2.3192> (accessed on 27 February 2021).
70. Castro-Sánchez, E.I.; Moreno-Calles, A.I.; Meneses-Eternod, S.; Farfán-Heredia, B.; Blancas, J.; Casas, A. Management of wild edible fungi in the meseta Purépecha Region, Michoacán, México. *Sustainability* **2019**, *11*, 3779. [CrossRef]
71. Moreno-Calles, A.I.; Casas, A.; Rivero-Romero, A.D.; Romero-Bautista, Y.A.; Rangel-Landa, S.; Fisher-Ortíz, R.A.; Alvarado-Ramos, F.; Vallejo-Ramos, M.; Santos-Fita, D. Ethnoagroforestry: Integration of biocultural diversity for food sovereignty in Mexico. *J. Ethnobiol. Ethnomed.* **2016**, *12*, 54. [CrossRef] [PubMed]
72. Prospero-Bernal, F.; López-González, F.; Martínez-García, C.G.; Arriaga-Jordán, C.M. Assessment of the sustainability between 2010 and 2015 of small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico. *ITEA* **2020**, *116*, 41–56. [CrossRef]
73. Espinoza-Guzmán, M.A.; Velásquez, L.R.S.; López, M.R.P.; Sánchez, F.J.S.; Borrego, D.A.; García, Z.F.R. Dynamics of changes in the agroecosystem of a shade-grown coffee plantation in the upper la antigua river basin, Veracruz. *Madera Bosques* **2020**, *26*, e2621974. [CrossRef]
74. Albarrán-Portillo, B.; García-Martínez, A.; Ortiz-Rodea, A.; Rojo-Rubio, R.; Vázquez-Armijo, J.F.; Arriaga-Jordán, C.M. Socioeconomic and productive characteristics of dual purpose farms based on agrosilvopastoral systems in subtropical highlands of central Mexico. *Agrofor. Syst.* **2019**, *93*, 1939–1947. [CrossRef]
75. García-Pérez, J.A.; Barois, I.; Alarcón-Gutiérrez, E. Growth and survival of the Mayan palm *Chamaedorea hooperiana* in two villages of Los Tuxtlas Biosphere Reserve, Veracruz, Mexico: A comparison between primary and secondary forests. *Agrofor. Syst.* **2018**, *92*, 1237–1252. [CrossRef]
76. Ferguson, B.G.; Diemont, S.A.W.; Alfaro-Arguello, R.; Martin, J.F.; Nahed-Toral, J.; Álvarez-Solís, D.; Pinto-Ruíz, R. Sustainability of holistic and conventional cattle ranching in the seasonally dry tropics of Chiapas, Mexico. *Agric. Syst.* **2013**, *120*, 38–48. [CrossRef]
77. Molina-Guerrero, C.E.; Sanchez, A.; Vázquez-Núñez, E. Energy potential of agricultural residues generated in Mexico and their use for butanol and electricity production under a biorefinery configuration. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2020**, *27*, 28607–28622. [CrossRef]
78. Di Bitonto, L.; Reynel-Avila, H.E.; Mendoza-Castillo, D.I.; Pastore, C.; Bonilla-Petriciolet, A. Mexican biomass wastes: Valorization for potential application in bioenergy. *Bulg. Chem. Commun.* **2019**, *51*, 99–102. [CrossRef]
79. Medina-Santana, A.A.; Flores-Tlacuahuac, A.; Cárdenas-Barrón, L.E.; Fuentes-Cortés, L.F. Optimal design of the water-energy-food nexus for rural communities. *Comput. Chem. Eng.* **2020**, *143*, 107120. [CrossRef]
80. Reyes-González, A.; Reta-Sánchez, D.G.; Sánchez-Duarte, J.I.; Ochoa-Martínez, E.; Rodríguez-Hernández, K.; Preciado-Rangel, P. Estimation of evapotranspiration of forage corn supported with remote sensing and in situ measurements. *Terra Latinoam.* **2019**, *37*, 279–290. [CrossRef]

81. López-Hernández, M.; Arteaga-Ramírez, R.; Ruiz-García, A.; Vázquez-Peña, M.A.; López-Resano, J.I. Productividad del agua normalizada para el cultivo de maíz (*Zea mays*) en Chapingo, México. *Agrociencia* **2019**, *53*, 811–820.
82. Vanderplank, S.; Ezcurra, E.; Delgadillo, J.; Felger, R.; McDade, L.A. Conservation challenges in a threatened hotspot: Agriculture and plant biodiversity losses in Baja California, Mexico. *Biodivers. Conserv.* **2014**, *23*, 2173–2182. [[CrossRef](#)]
83. Marín-Celestino, A.E.; Ramos-Leal, J.A.; Martínez-Cruz, D.A.; Tuxpan-Vargas, J.; De Lara-Bashulto, J.; Morán-Ramírez, J. Identification of the Hydrogeochemical Processes and Assessment of Groundwater Quality, Using Multivariate Statistical Approaches and Water Quality Index in a Wastewater Irrigated Region. *Water* **2019**, *11*, 1702. [[CrossRef](#)]
84. González-Bravo, R.; Nápoles-Rivera, F.; Ponce-Ortega, J.M.; El-Halwagi, M.M. Involving integrated seawater desalination-power plants in the optimal design of water distribution networks. *Resour. Conserv. Recycl.* **2015**, *104*, 181–193. [[CrossRef](#)]
85. Fernández, K.G.; Moreno-Calles, A.I.; Casas, A.; Blancas, J. Contributions of urban collective gardens to local sustainability in Mexico City. *Sustainability* **2020**, *12*, 7562. [[CrossRef](#)]
86. Fonteyne, S.; Gamiño, M.M.; Tejeda, A.S.; Verhulst, N. Conservation Agriculture Improves Long-term Yield and Soil Quality in Irrigated Maize-oats Rotation. *Agronomy* **2019**, *9*, 845. [[CrossRef](#)]
87. Santillano-Cázares, J.; Núñez-Ramírez, F.; Ruíz-Alvarado, C.; Cárdenas-Castañeda, M.E.; Ortiz-Monasterio, I. Assessment of Fertilizer Management Strategies Aiming to Increase Nitrogen Use Efficiency of Wheat Grown Under Conservation Agriculture. *Agronomy* **2018**, *8*, 304. [[CrossRef](#)]
88. Fuentes, M.; Hidalgo, C.; Etchevers, J.; León, F.; Guerrero, A.; Dendooven, L.; Verhulst, N.; Govaerts, B. Conservation agriculture, increased organic carbon in the top-soil macro-aggregates and reduced soil CO emissions. *Plant. Soil* **2012**, *355*, 183–197. [[CrossRef](#)]
89. Rivers, A.; Barbercheck, M.; Govaerts, B.; Verhulst, N. Conservation agriculture affects arthropod community composition in a rainfed maize-wheat system in central Mexico. *Appl. Soil Ecol.* **2016**, *100*, 81–90. [[CrossRef](#)]
90. Hernández-Bedolla, J.; Solera, A.; Paredes-Arquiola, J.; Pedro-Monzonis, M.; Andreu, J.; Sánchez-Quispe, S.T. The Assessment of Sustainability Indexes and Climate Change Impacts on Integrated Water Resource Management. *Water* **2017**, *9*, 213. [[CrossRef](#)]
91. Molina-Navarro, E.; Hallack-Alegría, M.; Martínez-Pérez, S.; Ramírez-Hernández, J.; Mungaray-Moctezuma, A.; Sastre-Merlín, A. Hydrological modeling and climate change impacts in an agricultural semiarid region. Case study: Guadalupe River basin, Mexico. *Agric. Water Manag.* **2016**, *175*, 29–42. [[CrossRef](#)]
92. Díaz-Garza, A.M.; Fierro-Rivera, J.I.; Pacheco, A.; Schüßler, A.; Gradilla-Hernández, M.S.; Senés-Guerrero, C. Temporal Dynamics of Rhizobacteria Found in Pequin Pepper, Soybean, and Orange Trees Growing in a Semi-arid Ecosystem. *Front. Sustain. Food Syst.* **2020**, *4*, 602283. [[CrossRef](#)]
93. Baez-González, A.D.; Fajardo-Díaz, R.; Padilla-Ramírez, J.S.; Osuna-Ceja, E.S.; Kiniry, J.R.; Meki, M.N.; Acosta-Díaz, E. Yield performance and response to high plant densities of dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars under semi-arid conditions. *Agronomy* **2020**, *10*, 1684. [[CrossRef](#)]
94. Orduño-Torres, M.A.; Kallas, Z.; Ornelas-Herrera, S.I. Farmers' environmental perceptions and preferences regarding climate change adaptation and mitigation actions; towards a sustainable agricultural system in México. *Land Use Pol.* **2020**, *99*, 105031. [[CrossRef](#)]
95. Shinbrot, X.A.; Jones, K.W.; Rivera-Castañeda, A.; López-Báez, W.; Ojima, D.S. Smallholder Farmer Adoption of Climate-Related Adaptation Strategies: The Importance of Vulnerability Context, Livelihood Assets, and Climate Perceptions. *Environ. Manag.* **2019**, *63*, 583–595. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

Home > Journal profile

JCR YEAR

2020

Favorite Export

# Sustainability

Open Access since 2009

ISSN

N/A

EISSN

2071-1050

JCR ABBREVIATION

SUSTAINABILITY-BASEL

ISO ABBREVIATION

Sustainability

## Journal information

EDITION

Social Sciences Citation Index (SSCI)

Science Citation Index Expanded (SCIE)

CATEGORY

ENVIRONMENTAL STUDIES - SSCI

GREEN & SUSTAINABLE SCIENCE & TECHNOLOGY - SCIE

GREEN & SUSTAINABLE SCIENCE & TECHNOLOGY - SSCI

ENVIRONMENTAL SCIENCES - SCIE

LANGUAGES

English

REGION

SWITZERLAND

1ST ELECTRONIC JCR YEAR

2013

## Publisher information

PUBLISHER

MDPI

ADDRESS

ST ALBAN-ANLAGE 66, CH-4052 BASEL, SWITZERLAND

PUBLICATION FREQUENCY

24 issues/year

## Journal Impact Factor

The Journal Impact Factor (JIF) is a journal-level metric calculated from data indexed in the Web of Science Core Collection. It should be used with careful attention to the many factors that influence citation rates, such as the volume of publication and citations characteristics of the subject area and type of journal. The Journal Impact Factor can complement expert opinion and informed peer review. In the case of academic evaluation for tenure, it is inappropriate to use a journal-level metric as a proxy measure for individual researchers, institutions, or articles. [Learn more](#)

2020 JOURNAL IMPACT FACTOR

3.251

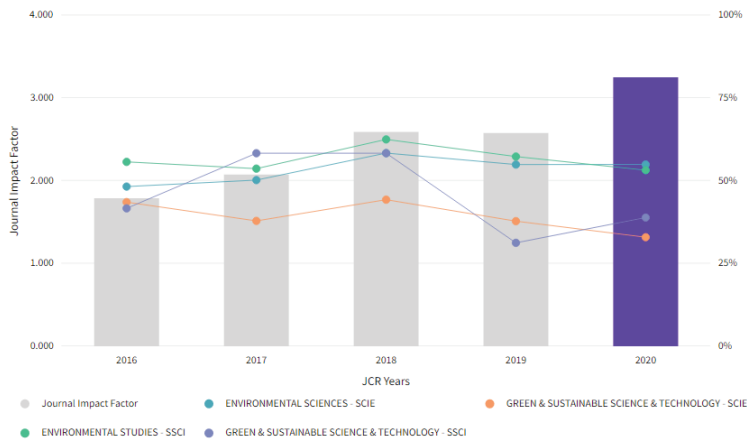
[View calculation](#)

JOURNAL IMPACT FACTOR WITHOUT SELF CITATIONS

2.355

[View calculation](#)

### Journal Impact Factor Trend 2020



[View all years](#)

### Journal Impact Factor contributing items

	Citable items (11,999)	Citing Sources (3,936)
	TITLE	CITATION COUNT
<a href="#">Export</a>	Is Overtourism Overused? Understanding the Impact of Tourism in a City Context	87
	A Comprehensive Review of Thermal Energy Storage	85
	What Drives the Implementation of Industry 4.0? The Role of Opportunities and Challenges in the Context of Sustainability	67
	Industry 4.0 and Sustainability Implications: A Scenario-Based Analysis of the Impacts and Challenges	53
	Hydrologic Alteration at the Upper and Middle Part of the Yangtze River, China: Towards Sustainable Water Resource Management Under Increasing Water Exploitation	50
	Industry 4.0 in Management Studies: A Systematic Literature Review	49
	A Bibliometric Analysis and Visualization of Medical Big Data Research	44
	Who Uses Smart City Services and What to Make of It: Toward Interdisciplinary Smart Cities Research	43
	Blockchain Practices, Potentials, and Perspectives in Greening Supply Chains	43
	Pricing and Service Level Decisions under a Sharing Product and Consumers' Variety-Seeking Behavior	41

[View All in Web of Science](#)

## Rank by Journal Impact Factor

Journals within a category are sorted in descending order by Journal Impact Factor (JIF) resulting in the Category Ranking below. A separate rank is shown for each category in which the journal is listed in JCR. Data for the most recent year is presented at the top of the list, with other years shown in reverse chronological order. [Learn more](#)

EDITION  
Science Citation Index Expanded (SCIE)

CATEGORY  
ENVIRONMENTAL SCIENCES

124/274

JCR YEAR	JIF RANK	JIF QUARTILE	JIF PERCENTILE	
2020	124/274	Q2	54.93	<div style="width: 54.93%;"></div>
2019	120/265	Q2	54.91	<div style="width: 54.91%;"></div>
2018	105/251	Q2	58.37	<div style="width: 58.37%;"></div>
2017	121/242	Q2	50.21	<div style="width: 50.21%;"></div>
2016	119/229	Q3	48.25	<div style="width: 48.25%;"></div>

EDITION  
Social Sciences Citation Index (SSCI)

CATEGORY  
ENVIRONMENTAL STUDIES

59/125

JCR YEAR	JIF RANK	JIF QUARTILE	JIF PERCENTILE	
2020	59/125	Q2	53.20	<div style="width: 53.20%;"></div>
2019	53/123	Q2	57.32	<div style="width: 57.32%;"></div>
2018	44/116	Q2	62.50	<div style="width: 62.50%;"></div>
2017	51/109	Q2	53.67	<div style="width: 53.67%;"></div>
2016	47/105	Q2	55.71	<div style="width: 55.71%;"></div>





# APÉNDICE 2. The Use of Water in Agriculture in Mexico and Its Sustainable Management: A Bibliometric Review

---

Agronomy, 2020, 10(12), 1957

Factor de impacto 3.417 y cuartil Q1 en 2020 en Journal  
Citation Reports- Thomson Reuters

Review

# The Use of Water in Agriculture in Mexico and Its Sustainable Management: A Bibliometric Review

Claudia A. Ochoa-Noriega <sup>1</sup>, José A. Aznar-Sánchez <sup>1,\*</sup> , Juan F. Velasco-Muñoz <sup>1</sup>  and Alejandro Álvarez-Bejar <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Economy and Business, Research Centre CIAIMBITAL and CAESCG, University of Almería, 04120 Almería, Spain; claudia08a@hotmail.com (C.A.O.-N.); jfvelasco@ual.es (J.F.V.-M.)

<sup>2</sup> Department of Economy, National Autonomous University of México, Mexico D.F. 04510, Mexico; abejar@unam.mx

\* Correspondence: jaznar@ual.es

Received: 20 November 2020; Accepted: 9 December 2020; Published: 12 December 2020



**Abstract:** The development of agricultural activity in Mexico is generating environmental externalities that could compromise its future. One of the principal challenges facing the Mexican agricultural sector is to find a way to continue growing without jeopardising the availability and quality of its water resources. The objective of this article is to analyse the dynamics of the research on the use of water in agriculture in Mexico and its sustainable management. To do this, a review and a bibliometric analysis have been carried out on a sample of 1490 articles. The results show that the research has focused on the pollution of water bodies, climate change, the quality of water, the application of technology in order to make water use more efficient, biodiversity, erosion, agronomic practices that reduce water consumption, underground water sources, and conservation agriculture. Although research focusing on sustainability is still in its infancy, it has become a priority field. A gap in the research has been detected in terms of the economic and social dimensions of sustainability. There is also a lack of holistic studies that include all three of the pillars of sustainability (environmental, economic, and social).

**Keywords:** agriculture; water management; water resources; irrigation; sustainable management; sustainability; bibliometric analysis; Mexico

## 1. Introduction

Today's society must face a series of challenges in order to guarantee the survival of a constantly growing population, ensuring the same opportunities for future generations based on the principal of sustainability [1,2]. These include the supply of water and food, the eradication of hunger and poverty, and the conservation of a healthy natural environment [3,4]. These challenges are closely related to one another and are particularly relevant in the most disadvantaged regions. Agriculture is an economic activity that connects the different objectives proposed. It is the principal supplier of food on a global level. Therefore, it plays a fundamental role in food provision [5]. In addition, agriculture is one of the principal activities in rural areas. In some cases, it is the only possible activity and, therefore, the only engine of growth for the economies of these areas [6,7]. On the other hand, this sector is the principal consumer of water resources, so it has a direct impact on the availability of water [8,9]. Furthermore, agriculture is a source of environmental pollution and is too large of a degree responsible for the over-exploitation and degradation of water sources [10,11].

Mexican agriculture is a paradigmatic example of the relevance of this sector. According to data of the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Mexico has a national territory of 198 million hectares, of which 145 million are dedicated to agricultural activity [12,13].

This area is divided into 30 million hectares for crops and 115 million for pastures. Although its share of Gross domestic product (GDP) is barely 4%, agriculture is an important element for the country's development, as it constitutes a tool that helps to ensure food security [14,15]. Furthermore, it also forms a base for reinforcing progress and the growth of production, which can lead to improved standards of living and a greater production capacity of the rural sectors. Mexican agriculture is a fundamental activity for the rural environment, where 24 million Mexicans live, which is a quarter of the country's population. It also represents 50% of the revenue of this population [13,15,16].

The extensive area of Mexico encompasses a diverse range of climate areas [17]. In general, two clearly differentiated areas can be distinguished. First, two-thirds of the country's territory has arid and semi-arid climates while the areas in the southern part of the country have a mild, tropical climate [12]. Overall, Mexico has 451,585 million cubic metres of renewable fresh water, taking into account rainfall, evapotranspiration, and the exit and entry flows of water with neighbouring countries [18]. The agricultural sector is the principal consumer of water, representing 76% of total consumption. In total, 63.6% of the water used in agriculture comes from surface sources and 36.4% of the water comes from underground sources. The National Water Plan 2019–2024 identifies the inefficient use of water as one of the problems related to water resources, particularly in the agricultural sector, which generates water losses of more than 40% [19].

In a global context, Mexico's overuse on its water resources is low, at 19.5% [18]. However, two-thirds of its territory is in arid or semi-arid areas (north, centre, and north-east) with annual rainfalls of less than 500 mm [20]. Since the 1920s, large hydraulic infrastructures have benefited the northwest, contributing to the take-off of a modern and capitalist agriculture, but also a great demand for water. This is why, in these regions, there is a high level of overuse, which fluctuates between 40% and 100% [18,19]. Furthermore, 105 of the 653 aquifers in Mexico are over-exploited, 32 have saline soil and brackish water, and 18 are affected by sea intrusion [19,21]. On the other hand, approximately 69 of the country's 757 water basins have deficits, as the flow granted or assigned exceeds that of the renewable water [19,21]. In addition, the possible effects derived from climate change could have a significant impact on water resources in the whole of the Mexican territory with the increase in temperature and the alteration of rainfall patterns. It is estimated, for example, that, by the end of the century, rainfall will have decreased by up to 30% [19]. On the other hand, one of the principal problems highlighted by farmers in relation to the development of the agricultural activity is the loss of crops due to climate causes, particularly droughts [22]. The areas most affected by drought in recent years are Baja California, Sonora, and Sinaloa [18].

In recent years, the country has been boosting its agricultural activity and is now among the leading producers on a global level [12,23]. There has been a strong concentration of exports in fruit and vegetables in only one country (the United States). This is due to the increase of the presence of Mexican products in external markets, driven by the quality and variety of the produce, as well as the tariff advantages arising from the North American Free Trade Agreement (NAFTA). Furthermore, there is a need to feed the growing Mexican population, which is estimated to increase by 17% by 2050 [15]. The struggle to eradicate poverty is another reason to strengthen agriculture, given that almost 20% of the population is living below the national food poverty line, and 5% of the population is classified as undernourished [13]. Even so, the margin to improve the use of natural resources in Mexico is still wide and could increase the levels of agricultural production and productivity [24]. However, this commitment by the sector could put water resources at risk in the medium and long term [20,25]. In this situation, there is an urgent need to develop agricultural water management models aimed at guaranteeing the sustainability of a strategic sector for the Mexican economy, increasing production and ensuring the supply of water resources [26–28].

Within this context, an increasing number of contributions have been published that study the use of water in agriculture in Mexico. However, to date, no studies have analysed these contributions as a whole. Therefore, the objective of this article is to analyse the dynamics of the research on the use of water in agriculture in Mexico and its sustainable management. The methodology selected

for achieving this objective is bibliometric analysis. Additionally, the results obtained will enable us to identify the principal driving agents of the knowledge in this field and the most relevant lines of research.

## 2. Methodology

### 2.1. Bibliometric Analysis

This methodology was developed in the middle of the last century in order to identify, organise, and evaluate the constituent elements of a specific field of study [29]. Today, bibliometric analysis has become one of the principal tools for reviewing a large amount of existing literature in any scientific discipline [30–32]. Its success is largely due to the availability of cartographic techniques for representing the bibliographic information stored in different databases and statistical and mathematical methods for determining the trends in a research field [33,34]. According to Durieux and Gevenois [35], bibliometric analysis can be based on three different kinds of indicators: quantity indicators, which measure productivity, relevance indicators, which show the impact of the publications, and structural indicators, which identify the connections between the different elements of the same research field. In this study, the three types of indicators are analysed and the traditional approach based on co-occurrence analysis is applied following Robinson et al. [36].

### 2.2. Sample Selection

The Scopus database has been chosen for selecting the sample of studies to analyse in this review because it is the largest database of abstracts and citations of peer-reviewed literature, it is the most accessible, it offers greater processing capabilities, and it is the most used in bibliometric studies on agriculture and water resources [7,37,38]. In addition, there are other search engines such as Web of Science (WoS), according to Gavel and Iselid [39]. Furthermore, 84% of the WoS titles are also indexed in Scopus, while only 54% of the Scopus titles are indexed in WoS. To carry out this study, two samples of studies were selected including one general sample on the use of water in agriculture in Mexico and another focused on its sustainable management. Both searches had common restrictions. The search was specified for the period of 1990 to 2019. This period is marked by the implementation of NAFTA, which is of great importance in shaping Mexico's export agriculture. Documents published in 2020 have not been included so that complete annual periods can be compared [40]. In order to avoid duplications, only original articles have been included in the sample [41]. The parameters used to select the sample of documents on the use of water in agriculture in Mexico were: TITLE-ABS-KEY (water OR irrigation OR "water management" OR "water resource\*" OR "water \*use\*" OR "hydrological resource\*") AND TITLE-ABS-KEY (agricultur\* OR crop\* OR farm\* OR cultivation OR agrosystem\* OR agroecosystem\*) AND TITLE-ABS-KEY (Mexico OR Aguascalientes OR "Baja California" OR Campeche OR Chiapas OR Chihuahua OR Coahuila OR Colima OR Durango OR Guanajuato OR Guerrero OR Hidalgo OR Jalisco OR Michoacán OR Morelos OR Nayarit OR "Nuevo León" OR Oaxaca OR Puebla OR Querétaro OR "Quintana Roo" OR "San Luis Potosí" OR Sinaloa OR Sonora OR Tabasco OR Tamaulipas OR Tlaxcala OR Veracruz OR Yucatán OR Zacatecas). In order to obtain the second sample, the following was added to the parameters used in the first: TITLE-ABS-KEY (sustainab\*). As a result, a final sample of 1490 articles on the use of water in agriculture in Mexico was obtained and 436 articles for the case of sustainable management were obtained. The selection of the sample was carried out in May 2020.

### 2.3. Data Processing

After selecting the samples of articles, the information was downloaded. The data were prepared before being analysed. To do this, duplications were eliminated, omissions and errors were corrected, and incomplete information was sought [42]. The analysis phase was then carried out. First, the evolution of the number of articles was examined, together with the subject areas in which the documents are classified in the Scopus database. Then the journals, institutions, and authors that

had most published on the subject area, which is the object of this study, were identified, as were the principal international collaborations in the articles. The number of studies was used as the indicator of productivity. To evaluate the impact of the publications, the following quality indicators were selected: the counting of citations, the H index, and the impact factor of the Scimago Journal Rank journals (SJR). The H index shows the number  $h$  of a total of  $N$  documents that include  $h$  citations in each of them [43]. The SJR shows a weighting of the number of the citations received, taking into account the material and the prestige of the journal in which the citation is made [44]. Finally, cartographic techniques were used to visualise the co-occurrence network of keywords to determine the research trends [45]. The tools used were Excel (version 2016, Microsoft, Redmond, DC, USA), SciMaT (v1.1.04, Soft Computing and Intelligent Information Systems research group, University of Granada, Granada, Spain), and VOSviewer (version 1.6.5., Leiden University, Leiden, the Netherlands). The methodology described above has been used in other works [28,32,40]. Figure 1 shows an overall view of the methodology applied in this study.

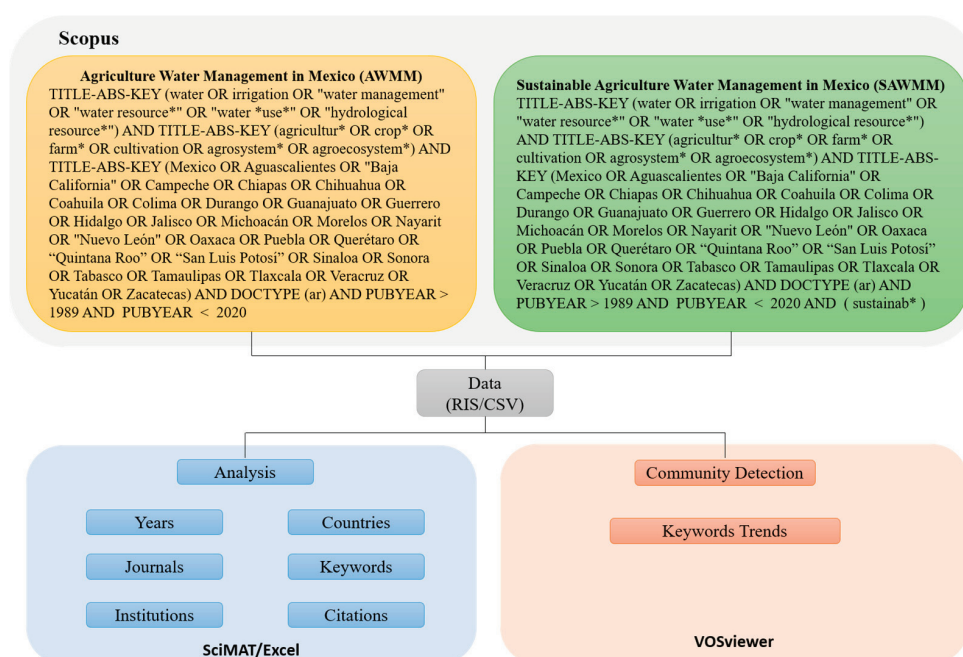


Figure 1. Summary of the methodology.

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. General Evolution on Agricultural Water Management in Mexico Research

Table 1 shows the evolution of the principal variables related to the research on agricultural water management in Mexico (AWMM) and sustainable agricultural water management in Mexico (SAWMM) in the period of 1990 to 2019. The total number of articles published in this period was 1490 in the case of research on AWMM and 436 in the case of SAWMM. The research on SAWMM represented 29.3% of the overall research on AWMM. The number of articles on AWMM increased from three in 1990 to 129 in 2019. In the case of the articles on SAWMM, in 1990, only one article was published, while, in 2019, this figure increased to 55. Both lines of research have gained importance in recent years, as 63.62% of the articles on AWMM and 73.85% on SAWMM have been published in the last 10 years. After the year 2000, we can observe a point of inflection, where the research on SAWMM began to gain more relevance within the research on AWMM. The average annual growth of the articles on SAWMM was 14.8% while that of articles on AWMM was 13.9%. This enables us to affirm that the research line on SAWMM has been gaining relevance within the general research on AWMM in recent years.

Table 1. Major characteristics of agricultural water management research.

Year	A		AU		J		C		TC		TC/CA	
	SAWMM	AWMM	SAWMM	AWMM	SAWMM	AWMM	SAWMM	AWMM	SAWMM	AWMM	SAWMM	AWMM
1990	1	3	1	7	1	3	1	3	0	0	0.0	0.0
1991	1	6	1	21	1	6	1	3	0	0	0.0	0.0
1992	0	2	0	7	0	2	0	3	1	1	0.5	0.1
1993	1	6	1	13	1	5	1	3	0	1	0.3	0.1
1994	0	6	0	20	0	6	0	4	2	4	1.0	0.3
1995	0	7	0	13	0	6	0	1	0	12	1.0	0.6
1996	2	20	7	60	2	18	3	9	0	19	0.6	0.7
1997	1	12	4	46	1	11	1	3	0	31	0.5	1.1
1998	4	18	11	64	4	17	1	5	7	71	1.0	1.7
1999	4	23	16	81	4	22	2	6	11	78	1.5	2.1
2000	8	27	25	92	7	26	4	7	13	104	1.5	2.5
2001	4	28	22	110	4	21	5	6	14	117	1.8	2.8
2002	9	37	22	136	7	29	5	12	21	164	2.0	3.1
2003	6	26	17	89	5	20	4	7	31	197	2.4	3.6
2004	12	46	48	174	10	33	9	13	43	225	2.7	3.8
2005	8	35	32	145	7	30	4	10	49	300	3.1	4.4
2006	12	67	41	293	11	56	4	10	68	379	3.6	4.6
2007	10	51	38	240	9	37	7	12	106	585	4.4	5.4
2008	17	58	67	259	15	49	4	10	119	652	4.9	6.2
2009	14	64	63	275	11	52	8	18	203	812	6.0	6.9
2010	10	51	48	242	9	41	3	9	178	889	7.0	7.8
2011	28	90	111	380	22	60	9	14	235	1023	7.2	8.3
2012	26	73	106	312	24	60	11	18	271	1210	7.7	9.1
2013	24	96	109	422	21	67	8	20	365	1334	8.6	9.6
2014	24	81	104	413	22	63	7	21	431	1617	9.6	10.5
2015	26	98	121	490	24	75	10	21	453	1789	10.4	11.3
2016	36	87	161	412	30	69	13	15	512	1941	10.9	12.1
2017	50	127	236	601	43	86	13	21	564	2107	10.9	12.6
2018	43	116	315	676	34	73	9	14	699	2430	11.5	13.3
2019	55	129	295	651	45	95	14	25	833	2782	12.2	14.1

A: The annual number of total articles. AU: the annual number of authors. J: the annual number of journals. C: the annual number of countries. TC: the annual number of citations in cumulative articles. TC/CA: annual total citation per cumulative article.

During the whole period analysed, a total of 5314 authors participated in the 1490 articles on AWMM. In the case of research on SAWMM, 1759 authors collaborated on the 436 articles published on this subject matter. In both cases, this variable has grown considerably. Specifically, the number of authors grew from seven in 1990 to 651 in 2019 in the case of research on AWMM and from one to 295 in the case of research on SAWMM. The average number of authors per article increased from 2.33 to 5.04 in the research on AWMM and from one to 5.36 in that on SAWMM. In total, 1490 articles on AWMM were published in 541 different journals, while 436 articles on SAWMM were published in 226 journals. The average number of articles per journal remained practically constant during the whole period at around one in the case of research on SAWMM and 1.22 in the case of research on AWMM. With respect to the countries that participated in carrying out the studies, during the whole period analysed, there were a total of 54 for AWMM and 35 for SAWMM. The number of countries increased from three to 25 for AWMM and from one to 14 for SAWMM.

In the case of citations, as a whole, the studies on AWMM obtained a total of 20,874 citations during the whole period analysed, while, in the case of SAWMM, there were 5229. The citations in the case of SAWMM represent around 25% of the total citations obtained in the general subject area. The number of citations increased from one in 1992 to 2782, and 833 in 2019, for the articles on AWMM and SAWMM, respectively. The average number of citations obtained per article increased from 0.1 to 14.1 in the research on AWMM and from 0.5 to 12.2 in that on SAWMM.

### 3.2. Evolution of Research by Subject Area

Table 2 shows the number of articles published during the whole period analysed in both lines of research, classified in accordance with the subject categories established by Scopus. It should be taken into account that the same article may be classified in more than one category simultaneously. As we can see, in both lines of research, the categories with the highest number of articles are Environmental Sciences, Agricultural and Biological Sciences, and Earth and Planetary Sciences. In the period of 1990 to 2019, 54.4% of the articles on AWMM were published under the category Environmental Sciences, 49.6% in the category of Agricultural and Biological Sciences, and 16.3% in the category of Earth and Planetary Sciences. In the case of research on SAWMM, these percentages were 62.2%, 47.5%, and 15.1%, respectively. In general, in both lines of research, the categories related to environmental and technical fields predominated.

**Table 2.** Number of articles published by subject category.

AWMM	Total	%	SAWMM	Total	%
Environmental Sciences	810	54.4	Environmental Sciences	271	62.2
Agricultural and Biological Sciences	724	49.6	Agricultural and Biological Sciences	207	47.5
Earth and Planetary Sciences	243	16.3	Earth and Planetary Sciences	66	15.1
Engineering	144	10.7	Social Sciences	64	14.7
Biochemistry, Genetics, and Molecular Biology	123	8.3	Engineering	45	10.3
Social Sciences	121	8.1	Biochemistry, Genetics, and Molecular Biology	39	9.9
Medicine	79	5.3	Energy	28	6.4
Immunology and Microbiology	62	4.2	Chemical Engineering	11	2.5
Pharmacology, Toxicology, and Pharmaceutics	60	4.0	Medicine	11	2.5
Business, Management, and Accounting	15	1.0	Business, Management, and Accounting	9	2.1
Economics, Econometrics, and Finance	13	0.9	Economics, Econometrics, and Finance	9	2.1

Sustainability spans across three fields: environmental, economic, and social. In the case of research on SAWMM, higher percentages were found in the categories of the social and economic dimensions, showing the greater importance that these areas have in this line of research. Specifically, the Social Sciences category represents 14.7% in the case of SAWMM while it only accounts for 8.1% in the case of AWMM. The economic categories (Economics, Econometrics and Finance, and Business,



Management, and Accounting) represent 4.2% in the case of SAWMM and only 1.9% in the case of research on AWMM. Therefore, although the social and economic fields have a greater relevance in the case of research related to sustainability, the still incipient nature of this line of research means that it still has not reached values similar to those in the environmental field. Hence, it is necessary to broaden the research from the social and economic perspectives and carry out holistic studies that take into account all three dimensions of sustainability.

### 3.3. Most Relevant Journals

Tables 3 and 4 show the most prolific journals in terms of AWMM and SAWMM research in the period of 1990 to 2019 and the principal characteristics of their articles. If we compare the two tables, we can observe that only five journals have published on both subject areas (*Tecnología y Ciencias del Agua*, *Agrociencia*, *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, *Science of the Total Environment*, and *Soil and Tillage Research*). Furthermore, in both cases, the journal with the highest number of articles published is *Tecnología y Ciencias del Agua*. If we analyse Table 3, we can see that the principal journals in the case of research on AWMM are from five different countries, three in Europe (UK, Spain, and Netherlands) and two in America (Mexico and USA). In total, this group of journals has published 336 articles within the sample, which represent 22.6% of the total. These data do not enable us to confirm whether there is a central nucleus of journals that leads this line of publication. *Tecnología y Ciencias del Agua*, with a total of 102 articles, is the journal that published the most articles on AWMM. This journal has an H index of 6, a total of 165 citations, and its average number of citations per article is 1.6. Moreover, it has a Scimago Journal Rank (SJR) impact factor of 0.195 and has been publishing on AWMM since the year 2000. With almost half the number of articles, it is followed by the journals *Agrociencia* and *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, which have published a total of four articles each. *Agrociencia* has an H index of 7, a total of 155 citations, and 3.4 citations per article and its SJR impact factor is 0.181. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, meanwhile, has an H index of 8, a total of 211 citations, an average number of citations per article of 4.6, and an SJR impact factor of 0.190. Despite having published only 16 articles on the subject area, the journal *Soil and Tillage Research* has the highest H index in the entire table (12). Furthermore, it has the highest values of the total citations and average number of citations per article with 557 and 34.8, respectively. The journal that has been publishing on the subject for the longest is *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, as it published its first articles on the subject in 1993 and continues publishing in this line of research today.

**Table 3.** Major characteristics of the most active journals related to agricultural water management in Mexico (AWMM) research.

Journal	A	SJR	H index	C	TC	TC/A	1st A	Last A
<i>Tecnología y Ciencias del Agua</i> *	102	0.195 (Q3)	6	Mexico	165	1.6	2000	2019
<i>Agrociencia</i>	46	0.181 (Q3)	7	Mexico	155	3.4	2004	2019
<i>Revista Internacional de Contaminación Ambiental</i>	46	0.190 (Q4)	8	Mexico	211	4.6	1998	2019
<i>Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology</i>	24	0.515 (Q2)	11	USA	306	12.8	1993	2019
<i>Water Science and Technology</i>	20	0.471 (Q2)	11	UK	341	17.1	1995	2016
<i>Investigaciones Geograficas</i>	18	0.190 (Q3)	4	Spain	48	2.7	2004	2017
<i>Agricultural Water Management</i>	16	1.369 (Q1)	10	Netherlands	289	18.1	1999	2018
<i>Environmental Monitoring and Assessment</i>	16	0.571 (Q2)	9	Netherlands	144	9.0	2000	2019
<i>Science of the Total Environment</i>	16	1.661 (Q1)	9	Netherlands	295	18.4	2006	2019
<i>Soil and Tillage Research</i>	16	1.791 (Q1)	12	Netherlands	557	34.8	2000	2018
<i>Wit Transactions on Ecology and the Environment</i>	16	0.142 (Q4)	2	UK	14	0.9	2006	2019

A: the annual number of total articles. SJR: Scimago Journal Ranking. C: country. TC: the annual number of citations in total articles. TC/A: total citation per article. 1st A: first article of SPMM research by journal. Last A: last article. \* Includes *Ingeniería Hidráulica En Mexico*. This journal changed its name in 2009. In 2010, it became *Tecnología y Ciencias del Agua*.

**Table 4.** Major characteristics of the most active journals related to sustainable agricultural water management in Mexico (SAWMM) research.

Journal	A	SJR	H index	C	TC	TC/A	1st A	Last A
<i>Tecnología y Ciencias del Agua</i> *	29	0.195 (Q3)	3	Mexico	48	1.7	2004	2019
<i>Revista Internacional de Contaminación Ambiental</i>	12	0.190 (Q4)	4	Mexico	38	3.2	2011	2018
<i>Soil and Tillage Research</i>	11	1.791 (Q1)	10	Netherlands	477	43.4	2000	2018
<i>Water</i>	11	0.657 (Q1)	4	Switzerland	39	3.5	2012	2019
<i>Agrociencia</i>	10	0.181 (Q3)	2	Mexico	13	1.3	2007	2019
<i>Sustainability</i>	8	0.581 (Q2)	3	Switzerland	21	2.6	2015	2019
<i>Agriculture Ecosystems and Environment</i>	7	1.719 (Q1)	6	Netherlands	235	33.6	1991	2018
<i>Ecological Engineering</i>	7	1.122 (Q1)	4	Netherlands	37	5.3	2013	2019
<i>Environmental Earth Sciences</i>	7	0.604 (Q2)	5	Germany	50	7.1	2010	2019
<i>Field Crops Research</i>	7	1.767 (Q1)	5	Netherlands	349	49.9	2002	2018
<i>Science of the Total Environment</i>	7	1.661 (Q1)	5	Netherlands	45	6.4	2012	2019

A: the annual number of total articles. SJR: Scimago Journal Ranking. C: country. TC: the annual number of citations in total articles. TC/A: total citation per article. 1st A: first article of SPMM research by journal. Last A: last article.

\* Includes *Ingeniería Hidráulica En México*. This journal changed its name in 2009. In 2010, it became *Tecnología y Ciencias del Agua*.

Meanwhile, if we analyse the research on SAWMM, we can see that the principal journals belong to only four countries, including three in Europe (Netherlands, Switzerland, and Germany) and Mexico. In this case, the total articles published by these journals during the period analysed represent 26.6% of the total. *Tecnología y Ciencias del Agua* is also the journal with the highest number of articles published, with a total of 29. This journal has an H index of 3, a total of 48 citations, and its average number of citations per article is 1.7. This journal began to publish on AWMM in the year 2000 and on SAWMM in 2004. The *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* is the journal with the second highest number of articles with a total of 12. It has an H index of 4 and 38 citations in total. This journal obtained 3.2 citations per article. It began to publish on AWMM in 1998 and published its first article on SAWMM in 2011. It is followed by the journals *Soil and Tillage Research* and *Water*, with 11 articles each. *Soil and Tillage Research* has the highest H index of the group (10) and also the highest average number of citations per article (43.4 citations per article). The journal *Water* has an H index of 4, a total of 39 citations, and its average number of citations per article is 3.5. The journal that has been publishing in the research on SAWMM for the longest in the table is *Agriculture, Ecosystems, and Environment*, which published its first article on the subject in 1991, even though it has only published seven articles in total.

### 3.4. International Collaboration

Table 5 shows the results of the analysis of the collaboration networks established between Mexico and its principal collaborators in the research on AWMM and SAWMM. The average percentage of studies carried out through international collaboration is higher in the research on SAWMM than in the case of AWMM with 41.3% and 35.5%, respectively. This difference can be explained because the research on sustainability is considered as being more multidisciplinary and, therefore, more collaborative. The table also shows the principal international collaborators in both cases, with the majority being common to both. If we analyse the differences, in the case of research on AWMM, we find Italy and China in the group of principal collaborators while, in the case of research on SAWMM, Saudi Arabia is incorporated. Seven of the principal collaborators in the case of the research on SAWMM are from the most prolific countries with respect to research on a global level on Sustainable Water Use in Agriculture (USA, Spain, Germany, France, Australia, UK, and Netherlands) [42]. It is noteworthy that, although China is the most important country on a global level in research on SWUA, it does not appear among the most important collaborators in the case of research on Mexico. In terms of the number of citations, the articles carried out through international collaboration have a higher average number in both lines of research than the articles carried out without an international collaboration.

**Table 5.** Main characteristics of the international collaboration of Mexico related to AWMM and SAWMM research.

	IC (%)	NC	Main Collaborators	TC/A	
				IC	NIC
AWMM	35.5	59	USA, Spain, Germany, France, Canada, UK, Australia, Belgium, Italy, Chile, Netherlands	22.7	9.2
SAWMM	41.3	36	USA, Spain, Germany, Canada, France, Belgium, Australia, UK, Netherlands, Saudi Arabia	19.7	6.6

IC: international collaborations. NC: total number of international collaborators. TC/A: total citation per article. NIC: no international collaborations.

### 3.5. Most Relevant Institutions

Tables 6 and 7 show the most prolific institutions in terms of AWMM and SAWMM research in the period of 1990 to 2019 and the principal characteristics of their articles. In both cases, all of the institutions are in Mexico except for the *University of Arizona* in the USA. The majority of the institutions have published in both lines of research except for the *Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste*, *Universidad Autónoma de Chapingo*, *Universidad de Sonora*, *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo* and *Tecnológico de Monterrey*.

**Table 6.** Major characteristics of the most active institutions related to AWMM research.

Institution	C	A	TC	TC/A	H Index	IC (%)	TC/A	
							IC	NIC
Universidad Nacional Autónoma de México	Mexico	338	5723	16.9	40	28.4	23.6	14.3
Colegio de Postgraduados	Mexico	122	1378	11.3	14	26.2	32.7	3.7
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias	Mexico	117	1118	9.6	15	33.3	20.1	4.3
Instituto Politécnico Nacional	Mexico	97	877	9.0	17	18.6	12.9	8.2
Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo	Mexico	74	4583	61.9	36	82.4	61.3	64.8
Centro de Investigaciones Biológicas Del Noroeste	Mexico	65	732	11.3	16	24.6	8.4	12.2
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	Mexico	64	363	5.7	13	23.4	3.7	6.3
Universidad Autónoma de Chapingo	Mexico	60	347	5.8	9	25.0	12.8	3.4
Universidad de Sonora	Mexico	49	530	10.8	15	30.6	12.3	10.1
University of Arizona	USA	48	992	20.7	16	100.0	20.7	0.0
Instituto de Ecología, A.C.	Mexico	48	577	12.0	14	37.5	18.9	7.9

C: country. A: the annual number of total articles. TC: the annual number of citations in total articles. TC/A: total citation per article. IC: international collaborations. NIC: no international collaborations.

**Table 7.** Major characteristics of the most active institutions related to SAWMM research.

Institution	C	A	TC	TC/A	H Index	IC (%)	TC/A	
							IC	NIC
Universidad Nacional Autónoma de México	Mexico	82	969	11.8	17	29.3	10.9	12.2
Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo	Mexico	32	1337	41.8	22	81.3	43.8	33.2
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias	Mexico	29	436	15.0	9	48.3	23.4	7.3
Colegio de Postgraduados	Mexico	28	304	10.9	6	35.7	26.2	2.3
Instituto Politécnico Nacional	Mexico	27	184	6.8	9	18.5	4.6	7.3
University of Arizona	USA	23	383	16.7	10	100.0	16.7	0.0
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	Mexico	22	71	3.2	4	31.8	4.7	2.5
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	Mexico	19	153	8.1	7	42.1	15.0	3.0
Instituto de Ecología, A.C.	Mexico	18	183	10.2	8	33.3	15.8	7.3
Tecnológico de Monterrey	Mexico	17	155	9.1	7	47.1	16.8	2.3

C: country. A: the annual number of total articles. TC: the annual number of citations in total articles. TC/A: total citation per article. IC: international collaborations. NIC: no international collaborations.

In the research on AWMM, the *Universidad Nacional Autónoma de México* is in first place with 338 articles. It has the highest total number of citations with 5723, an average of 16.9 citations per article, and an H index of 40. This is followed by the *Colegio de Postgraduados* with 122 articles, 1378 citations, an average of 11.3 citations per article, and an H index of 14. Next is the *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias* with 117 articles, a total of 1118 citations, an average of 9.6 citations per article, and an H index of 15. The *Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo* holds the fifth position in terms of the number of articles with a total of 74 and it is the institution with the highest average number of citations per article at 61.9. Furthermore, it has a total number of citations of 4583 and an H index of 36. With respect to the international collaboration of the institutions, the average percentage of articles carried out through collaboration is 39.1%. In this respect, The *University of Arizona* reveals 100% of collaboration, given that the whole of the sample has had the participation of a Mexican institution. The *Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo*, with 82.4%, is the Mexican institution with the highest percentage of an international collaboration. The average number of citations in the articles written through international collaboration was 20.7 while, for the rest of the articles, it was 12.3.

In the case of research on SAWMM, the first position is also held by the *Universidad Nacional Autónoma de México* with 82 articles. Furthermore, it has an H index of 17 and a total of 969 citations. The institution with the second highest number of articles is the *Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo* with 32 articles. This institution has 1337 citations and the highest H index of the group with 22. It also has the highest average number of citations per article (41.8). Next is the *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*, which has 29 articles, 436 citations, and an H index of 9. The average number of citations of the articles written through international collaboration in this group of institutions was 17.8 as opposed to 7.7 in the rest.

### 3.6. Most Relevant Authors

Tables 8 and 9 include the most productive authors in the research on AWMM and SAWMM and show the most salient characteristics of their articles. In general, these groups of authors are affiliated to nine different institutions in three countries. As we would expect, the majority of the authors are affiliated with a Mexican institution. There are only two authors affiliated with an American entity and another with a Belgian institution. The majority of the authors have published in both lines of research. In the case of research on AWMM, the author with the highest number of articles is Federico Páez-Osuna with a total of 28. Furthermore, this author has been publishing on this subject matter for a long time, as his first article was published in 1993 and he continues to publish today. His articles have received a total of 753 citations, an average number of citations per article of 26.9, and an H index of 15. He is followed by Christina D. Siebe with 26 articles. This author has accumulated a total of 807 citations, has an average of 31.1 citations per article, and an H index of 16. The following author is Bram Govaerts with 19 articles. This author accumulates a total of 675 citations, an average of 35.5 citations per article, and an H index of 13. This is the only author who does not belong to a Mexican institution. Matthew P. Reynolds is the author with the highest number of citations with a total of 1723 and the highest average number of citations per article with 95.7.

In the research on SAWMM, we find that the most prolific author, with 17 articles, is Bram Govaerts. This author also has the highest number of citations with a total of 650 and the highest H index (12). The average number of citations per article of this author is higher in the case of research on SAWMM than in general research (38.2 and 35.5 citations, respectively). The following author is Nele Verhulst with 13 articles. This author has a total of 278 citations and an H index of 8. The average number of citations per article obtained by this author in the case of research on SAWMM is 21.4 citations, as opposed to 20.2 citations of general research. The next author is José María Ponce-Ortega with 11 articles. This author accumulates a total of 116 citations, an average of 10.5 citations per article, and an H index of six. Jozef A. Deckers, affiliated with an institution in Belgium, is the author with the highest average number of citations per article (75.3). The most veteran

author is also, in this case, Federico Páez-Osuna, who began to publish on SAWMM in 1998 and still does today.

**Table 8.** Major characteristics of the most active authors related to AWMM research.

Author	A	TC	TC/A	H Index	C	Affiliation	First Article	Last Article
Páez-Osuna, Federico	28	753	26.9	15	Mexico	Universidad Nacional Autónoma de México	1993	2019
Siebe, Christina D.	26	807	31.1	16	Mexico	Universidad Nacional Autónoma de México	1995	2019
Govaerts, Bram	19	675	35.5	13	USA	Cornell University	2006	2018
Dendooven, Luc	18	529	29.4	13	Mexico	Centro de Investigacion y de Estudios Avanzados	2002	2019
Reynolds, Matthew P.	18	1723	95.7	16	Mexico	Centro Internacional de Mejoramiento de Maiz y Trigo	1996	2016
Verhulst, Nele	15	303	20.2	9	Mexico	Centro Internacional de Mejoramiento de Maiz y Trigo	2011	2019
Ruiz-Fernández, Ana C.	14	496	35.4	11	Mexico	Universidad Nacional Autónoma de México	1997	2016
Sayre, Kenneth D.	14	1195	85.4	14	Mexico	Centro Internacional de Mejoramiento de Maiz y Trigo	1998	2012
López-López, Eugenia	13	227	17.5	8	Mexico	Instituto Politécnico Nacional	1998	2018
Mahlknecht, Jürgen	13	340	26.2	9	Mexico	Tecnologico de Monterrey	2004	2019

A: the annual number of total articles. TC: total number of citations in total articles. TC/A: total citations per article. C: country.

**Table 9.** Major characteristics of the most active authors related to SAWMM research.

Author	A	TC	TC/A	H Index	C	Affiliation	1st Article	Last Article
Govaerts, Bram	17	650	38.2	12	USA	Cornell University	2006	2018
Verhulst, Nele	13	278	21.4	8	Mexico	Centro Internacional de Mejoramiento de Maiz y Trigo	2011	2019
Ponce-Ortega, José María	11	116	10.5	6	Mexico	Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	2012	2019
Sayre, Kenneth D.	9	535	59.4	9	Mexico	Centro Internacional de Mejoramiento de Maiz y Trigo	2006	2012
Páez-Osuna, Federico	7	189	27.0	6	Mexico	Universidad Nacional Autónoma de México	1998	2019
Siebe, Christina D.	7	149	21.3	5	Mexico	Universidad Nacional Autónoma de México	2012	2019
Deckers, Jozef A.	6	452	75.3	6	Belgium	University of Leuven	2006	2011
Dendooven, Luc	6	221	36.8	5	Mexico	Centro de Investigacion y de Estudios Avanzados	2009	2019
El-Halwagi, Mahmoud M.	6	109	18.2	5	USA	Texas A&M University	2012	2017
Mahlknecht, Jürgen	6	80	13.3	5	Mexico	Tecnologico de Monterrey	2008	2019

A: the annual number of total articles. TC: total number of citations in total articles. TC/A: total citation per article. C: country.

### 3.7. Keywords Analysis

Figures 2 and 3 show the network maps of keywords in the different lines of research on AWMM and SAWMM. The size of the circle varies depending on the number of times the term has been used, while the colour represents the group in which the keyword is included depending on the number of co-occurrences.

As could be expected, in Figure 2, we can find a large number of different clusters (a total of 9), reflecting the diversity of the topics within the general research. The red cluster refers to the pollution of water bodies. In Mexico, more than half of the waste water is not treated [46]. The uncontrolled discharging of untreated, reused water can generate negative effects derived from the pollution of water bodies and agricultural soils [47]. Pérez-Castresana et al. [48] find, for example, that the quality of the water of the River Atoyac, on which the agricultural activities greatly depend in the area of Puebla, has been compromised due to the discharging of large amounts of poorly treated waste water.

Meanwhile, the application of fertilizers has also been shown to be a cause of pollution of water and agricultural soils [49]. García-Hernández et al. [24] analysed the research on the effect of the use of pesticides in Mexico, finding that they have had negative impacts on the land and coastal ecosystems and on the health of the agricultural workers and their families.

The green cluster refers to the effects of climate change on the availability and management of water. Hernández-Bedolla et al. [50] developed indices to evaluate the availability of water in different scenarios, concluding that the principal factors that affect its availability are the decrease in rainfall and the high temperatures. A study on the possible effects of climate change on the Guadalupe River basin in the north of Mexico shows that the run-off could decrease by anywhere from 45% to 60% while the recharging of the underground waters could fall by up to 74% [51]. The scarcity of water resources as a consequence of the effects of climate change place the survival of the agricultural sector at risk, and, therefore, jeopardize the capacity to feed the population. For example, in Mexico, it is estimated that wheat production, which currently amounts to around 3.3 million tonnes, will decrease as a result of climate change [52].

The blue cluster refers to the quality of the water since the spread of certain anthropogenic activities causes the pollution of water resources. This can generate problems in the supply of water fit for human consumption and for agricultural irrigation. De Oca et al. [53] find that the changes in the physical and chemical composition derived from human actions and the changes in the uses of the land have given rise to a reduction in the essential nutrients of the water, which can have an impact on the health of the consumers. In terms of agriculture, Saldaña-Robles et al. [54] conclude that irrigation with water contaminated with arsenic leads to an accumulation of this substance in the soil and its concentration increases in the crops, affecting their growth and yields.

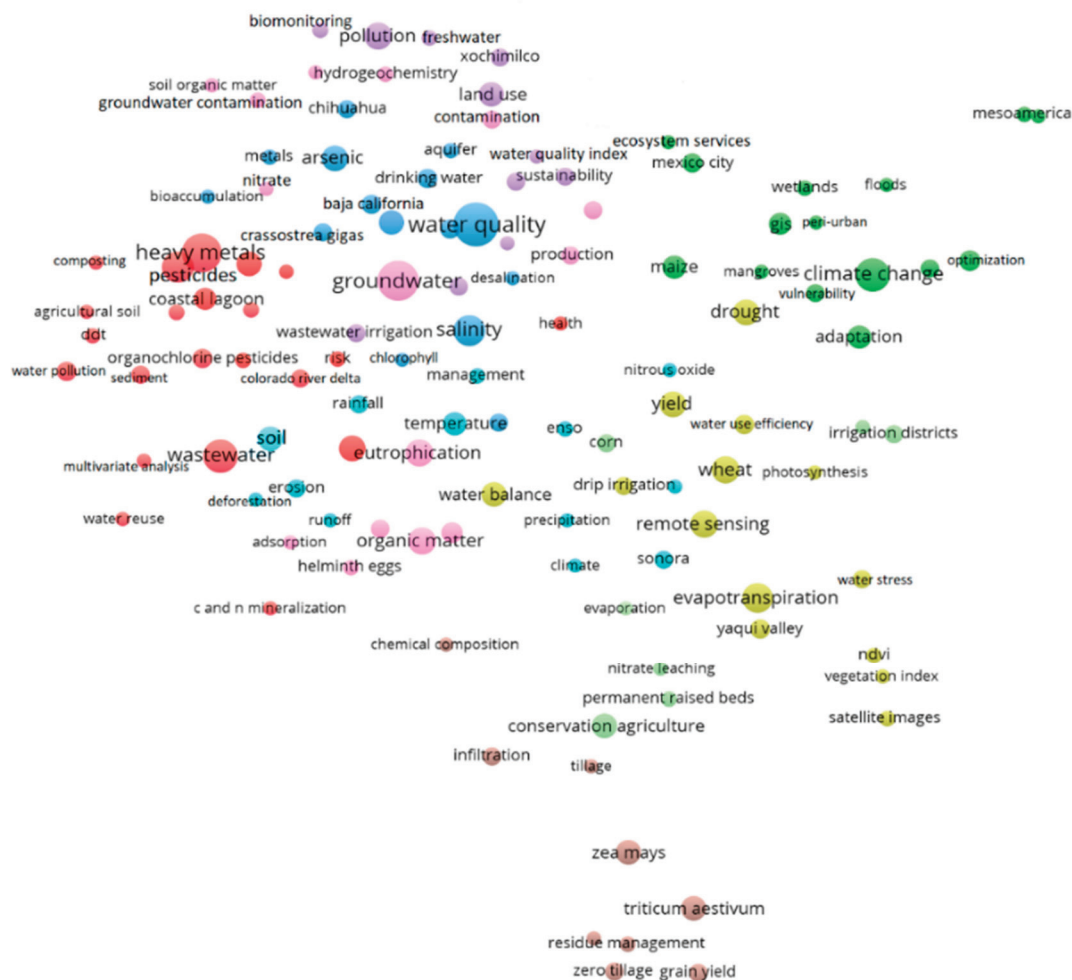
The yellow cluster includes studies focused on the use of remote sensors and satellite images to estimate the yields and water consumption of the crops. For example, these technologies are used to calculate the evapotranspiration of forage maize crops, which enables a more efficient planning of the use of water resources, particularly in arid and semi-arid areas where the water is a limiting factor for agricultural production [55]. Reyes-González et al. [56] develop evapotranspiration maps based on remote sensing multi-spectral vegetation indexes to quantify the water consumption of crops, according to their growth phase. López-Hernández et al. [57] show that the determination of productivity through evapotranspiration can help increase the yields of the crops, as it enables the application of irrigation efficiently in accordance with their needs. Palacios-Vélez et al. [58] used satellite images to estimate the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and evapotranspiration with the objective of conducting an anticipated estimate of the yield of the wheat crop.

The purple cluster examines the research on the effects that the changes in the land uses and pollution can generate on the biodiversity and conservation of natural spaces and water bodies. The loss of pastures due to the expansion of irrigated crop land is putting the survival of many species at risk as it has transformed their habitat [59]. Andrade-Herrera et al. [60] conclude that the intensification of the agricultural activity and the greater use of pesticides have led to a loss of biodiversity as a result of soil pollution. Vanderplank et al. [61] find that the intrusion of sea water in the aquifers as a result of unsustainable extraction, principally for agricultural irrigation, has had indirect effects on the adjacent ecosystems, leading to the loss of more than 20 native plants in the valley of San Quintín.

The light blue cluster studies erosion, which is one of the main causes of the degradation of the soil and depends on many factors, such as the type of land and soil, the land use, or the climate [62]. Silva-García et al. [63] carried out a study to determine the loss of soil as a consequence of water erosion in the Lake Chapala basin, concluding that it was produced mainly in the seasonal crops and that the organic material suffers the greatest losses. Meanwhile, López-Santos et al. [64] found that the implementation of actions to control soil erosion, such as correct rainwater management or the incorporation of organic material, is still limited among farmers.

The brown cluster shows a research line based on two crops that are fundamental in the Mexican diet: maize (*zea mays*) and wheat (*Triticum aestivum*) [15]. In this research field, certain agronomic

practices are studied, which can improve the efficiency of the use of water and reduce water pollution. Paquini-Rodríguez et al. [65] conducted a study with varieties of wheat in different scenarios and found that using a lower amount of water could obtain the same yields. Honsdorf et al. [66] carried out a study with wheat in different agronomic environments, conventional tillage, and permanent raised beds in order to determine the importance of tillage in crops. Rangel-Fajardo et al. [67] analysed 25 varieties of maize with the objective of identifying their tolerance to water stress during germination. Grahmann et al. [68] found that it is necessary to promote practices that reduce nitrate pollution since the results of their study revealed that 19% of the nitrate applied in a wheat crop and 34% in a maize crop was lost by leaching.



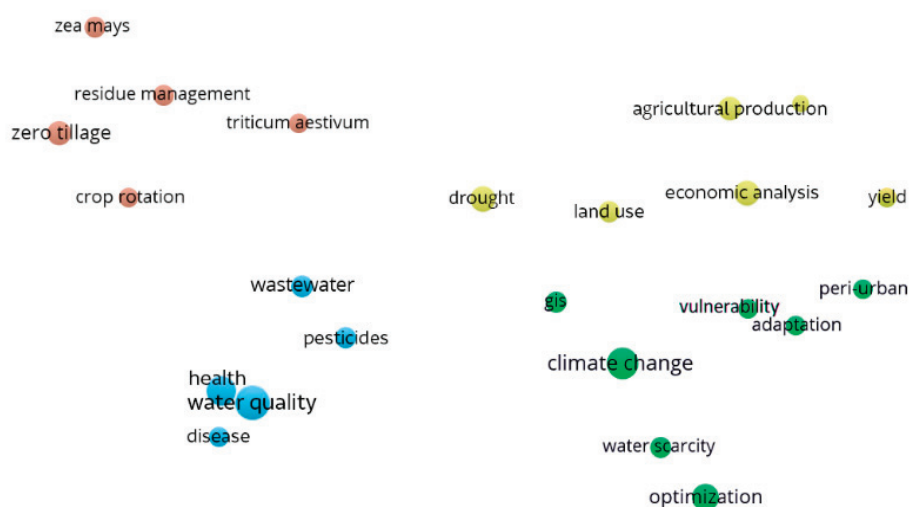
**Figure 2.** Trends in main keywords related to agricultural water management in Mexico (AWMM) research.

The pink cluster studies underground waters. A large part of the Mexican territory is arid or semi-arid, which means that many areas depend largely on underground water sources that are overexploited. Therefore, it is necessary to carry out actions that allow this situation to be controlled and reversed. For example, Saíz-Rodríguez et al. [69] conducted a study to identify possible locations of artificial recharging of the aquifers in the Valley of Guadalupe (Baja California) while González-Trinidad et al. [70] did the same for the State of Zacatecas. On the other hand, with respect to agricultural activity, incorporating conservation practices and increasing the organic material of the soil can favour the infiltration of rainwater and increase the productivity of the soil, reducing the water needs of the crops [71]. Furthermore, the quality of the underground waters is also being affected by salinisation and pollution due to the use of waste water for agricultural irrigation and

fertilizers [72]. To do this, it is necessary to design a plan for the use of the aquifers and create action plans that enable the reversal of the salinisation processes to which the aquifers are subjected and, therefore, avoid situations of collapse over the long term [73].

The light green cluster refers to conservation agriculture, which comprises a series of techniques such as minimum tillage, the permanent cover of the soil, and the diversification of the crops, which enable a more efficient use of the natural resources [74]. The application of conservation agriculture together with the efficient management of fertilizers can increase the yields and quality of the production of the crops [75]. Fuentes et al. [76] carried out a study on the maize crop and concluded that the application of conservation agriculture can increase the carbon content of the soil and reduce CO<sub>2</sub> emissions. Therefore, conservation agriculture can also favour a better control of plagues, as it improves the quality and reduces the erosion of the soil, creating an ideal habitat for organisms [77].

If we analyse the research on SAWMM, we find four differentiated clusters (Figure 3) with three focused on the fields of sustainability and a fourth based on a more technical perspective of the research.



**Figure 3.** Trends in main keywords related to sustainable agricultural water management in Mexico (SAWMM) research.

The green cluster refers to the environmental dimension of sustainability. It is focused on the research of climate change effects on the availability and management of water resources. This confirms that the environmental perspective of sustainability receives more attention than the rest of the dimensions. In this respect, farmers must take into account the climate variations as part of their production system in order to guarantee the survival of their economic activity and food security [78]. Furthermore, it will also be necessary to identify and study the agricultural areas most prone to variations in order to be able to design specific adaptation plans that minimise their vulnerability to climate change [79].

The blue cluster studies the social dimension, particularly with respect to health. The changes in the uses of the land and the spread of certain anthropogenic practices have led to the contamination of natural resources, which can affect the quality of life and the health of people. The presence of emerging contaminants (faecal sterols, alcaphenols, and pesticides) has been detected in wells in agricultural and urban areas [80]. Contreras et al. [81] carried out a study that compared the incidence of diarrhoeal diseases in children under the age of five in areas that use untreated waste water for irrigation and in which well water is used, concluding that diarrhoea is more frequent in the cases where waste water is used. The accumulation of heavy metals in the soil can put public health at risk since these elements concentrate in the water sources and are absorbed by plants, affecting the quality and security of food [82].



The yellow cluster focuses on the economic dimension, as the increase in demand for water and the possible effects derived from climate change can endanger the survival of agriculture [83]. For example, Bautista-Capetillo et al. [84] found that droughts led to losses for the region of Zacatecas with a value of 478 million dollars in a period of 10 years. Granados et al. [85] conducted a study in Guanajuato in which they concluded that the variability of rainfall has given rise to a loss in the productivity of maize and bean crops, which has reduced the revenue and quality of life of the area.

The brown cluster focuses on the study of the most ideal agronomic practices for maize and wheat crops in order to improve production and efficiency in water use to guarantee the sustainability of these crops.

#### 4. Conclusions

The objective of this article is to analyse the dynamics of the research on the use of water in agriculture in Mexico and especially its sustainable management. To achieve it, a bibliometric analysis has been carried out on a sample of 1490 articles in the research on AWMM and 436 articles in the case of the research on SAWMM. For each of the lines of research, a productivity analysis has been developed based on the number of articles, the journals, the subject categories, the authors, affiliation, and collaboration relations. The principal topics developed in each of them have also been analysed according to the keywords used.

The results reveal that both lines of research have gained importance in recent years. Although research focusing on the use of water in agriculture in Mexico with a focus on sustainability is still in its infancy, it has become a priority field. This result is consistent with the trend observed on a global level in research in this field, particularly related to the fulfilment of some of the sustainable development objectives of the United Nations. In both cases, the principal subject categories are Environmental Sciences, Agricultural and Biological Sciences, and Earth and Planetary Sciences. This enables us to affirm that, in both cases, there is a predominance of research from a technical and environmental perspective. In the case of the research on SAWMM, the social and economic dimensions of sustainability received greater attention than in the case of the research on AWMM. However, it is necessary to promote research from these two approaches and also all three dimensions of sustainability together.

The analysis of the collaboration networks established by Mexico has enabled us to determine that the number of studies carried out through an international collaboration is higher in the case of research on SAWMM than in the general research on AWMM. In this way, we can see that, similarly to other fields of study, sustainability is not only more multidisciplinary, but it is studied to a greater extent through international collaboration between institutions.

The analysis of keywords reveals nine clusters in the overall subject, focused on topics such as the pollution of water bodies, climate change, the quality of water, the application of technology in order to make a more efficient use of water, biodiversity, erosion, agronomic practices that reduce water consumption, underground water sources, and conservation agriculture. With regard to research on SAWMM, three clusters have been found focused on the three dimensions of sustainability and a fourth analysing more technical aspects of agriculture. The topics on climate change and the technical aspects to improve water efficiency are common in both lines of research.

**Author Contributions:** The four authors have equally contributed to this paper. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** This research received no external funding.

**Acknowledgments:** This work was partially supported by the Spanish Ministry of Economy and Competitiveness and the European Regional Development Fund by means of the research project ECO2017-82347-P.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest.

## References

1. Fróna, D.; Szenderák, J.; Rákos, M.H. The Challenge of Feeding the World. *Sustainability* **2019**, *11*, 5816. [CrossRef]
2. Oberle, B.; Bringezu, S.; Hatfield-Dodds, S.; Hellweg, S.; Schandl, H.; Clement, J. Global Resources Outlook 2019: Natural Resources for the Future We Want. Available online: [http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/15879/1/unep\\_252\\_global\\_resource\\_outlook\\_2019\\_web.pdf](http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/15879/1/unep_252_global_resource_outlook_2019_web.pdf) (accessed on 27 July 2020).
3. Ceratti, M. Dos Planetas Más Para Poder Vivir en Este. Available online: <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2016/08/09/objetivo-desarrollo-sostenible-ods-12-consumo> (accessed on 27 July 2020).
4. Aznar-Sánchez, J.A.; Piquer-Rodríguez, M.; Velasco-Muñoz, J.F.; Manzano-Agugliaro, F. Worldwide research trends on sustainable land use in agriculture. *Land Use Policy* **2019**, *87*, 104069. [CrossRef]
5. Food and Agriculture Organization of the United Nations. *High Level Expert Forum—How to Feed the World in 2050*; Office of the Director, Agricultural Development Economics Division: Rome, Italy, 2009.
6. Baguma, D.; Loiskandl, W. Rainwater harvesting technologies and practises in rural Uganda: A case study. *Mitig. Adapt. Strat. Glob. Chang.* **2010**, *15*, 355–369. [CrossRef]
7. Dias, C.S.L.; Rodrigues, R.G.; Ferreira, J.J. What’s new in the research on agricultural entrepreneurship? *J. Rural. Stud.* **2019**, *65*, 99–115. [CrossRef]
8. Foley, J.A.; Ramankutty, N.; Brauman, K.A.; Cassidy, E.S.; Gerber, J.S.; Johnston, M.; Mueller, N.D.; O’Connell, C.; Ray, D.K.; West, P.C.; et al. Solutions for a cultivated planet. *Nature* **2011**, *478*, 337–342. [CrossRef] [PubMed]
9. Velasco-Muñoz, J.F.; Aznar-Sánchez, J.A.; Belmonte-Ureña, L.J.; López-Serrano, M.J. Advances in Water Use Efficiency in Agriculture: A Bibliometric Analysis. *Water* **2018**, *10*, 377. [CrossRef]
10. Cunningham, S.A.; Attwood, S.J.; Bawa, K.S.; Benton, T.G.; Broadhurst, L.M.; Didham, R.K.; McIntyre, S.; Perfecto, I.; Samways, M.J.; Tschardtke, T.; et al. To close the yield-gap while saving biodiversity will require multiple locally relevant strategies. *Agric. Ecosyst. Environ.* **2013**, *173*, 20–27. [CrossRef]
11. Mancosu, N.; Snyder, R.L.; Kyriakakis, G.; Spano, D. Water Scarcity and Future Challenges for Food Production. *Water* **2015**, *7*, 975–992. [CrossRef]
12. FAO (Food and Agricultural Organization). *El sistema alimentario en México—Oportunidades Para el Campo Mexicano en la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible*; FAO: Ciudad de México, Mexico, 2019. Available online: <http://www.fao.org/3/CA2910ES/ca2910es.pdf> (accessed on 27 July 2020).
13. SIAP (Food, Agricultural and Fisheries Information Service). *2019 Food & Agriculture Overview*; SIAP: Mexico City, Mexico, 2019. Available online: [https://nube.siap.gob.mx/gobmx\\_publicaciones\\_siap/pag/2019/Agricultural-Atlas-2019](https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2019/Agricultural-Atlas-2019) (accessed on 27 July 2020).
14. WTO (World Trade Organization). *World Trade Statistical Review 2019*. Available online: [https://www.wto.org/english/res\\_e/statis\\_e/wts2019\\_e/wts19\\_toc\\_e.htm](https://www.wto.org/english/res_e/statis_e/wts2019_e/wts19_toc_e.htm) (accessed on 27 July 2020).
15. Sosa-Baldivia, A.; Ruíz-Ibarra, G. Food availability in Mexico: An analysis of agricultural production over the last 35 years and its projection for 2050. *Pap. Poblac.* **2017**, *23*, 207–230.
16. The World Bank. 2020. Available online: <https://data.worldbank.org/indicator/SL.AGR.EMPL.ZS?end=2019&locations=MX&start=1991> (accessed on 29 July 2020).
17. Riojas, C. La naturaleza de las articulaciones regionales en México a través del tiempo. *Amerika* **2011**, *4*. [CrossRef]
18. Conagua (Comisión Nacional del Agua). *Estadísticas del Agua en México*; Edición 2018; Conagua: Ciudad de México, México, 2018. Available online: [http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM\\_2018.pdf](http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf) (accessed on 29 July 2020).
19. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat); Comisión Nacional del Agua (Conagua). *Programa Nacional Hídrico 2019–2014*. 2019. Available online: <http://187.191.71.192/portales/resumen/48732> (accessed on 29 July 2020).
20. Gómez-Merino, F.C.; Hernández-Anguiano, A.M. El Contexto del Sector Agroalimentario en México. In *Líneas Prioritarias de Investigación. Informe de Gestión 2009–2011*; Hernández-Anguiano, A.M., Gómez-Merino, F.C., Pérez-Hernández, L.M., Villanueva-Jiménez, J.A., Eds.; Colegio de Postgraduados: Estado de México, México, 2013; ISBN 978-607-715-135-7.
21. Delgado-Carranza, C.; Bautista, F.; Ihl, T.J.; Palma-López, D. Duración del periodo de lluvias y aptitud de tierras para la agricultura de temporal. *Ecosistemas Recur. Agropecu.* **2017**, *4*, 485–497. [CrossRef]

22. ENA (Encuesta Nacional Agropecuaria). 2017. Available online: <https://www.inegi.org.mx/programas/ena/2017/> (accessed on 29 July 2020).
23. Romero, A.A.; Rivas, A.I.M.; Díaz, J.D.G.; Mendoza, M.; Ángel, P.; Salas, E.N.N.; Blanco, J.L.; Álvarez, A.C.C. Crop yield simulations in Mexican agriculture for climate change adaptation. *Atmósfera* **2020**, *33*, 215–231. [[CrossRef](#)]
24. García-Hernández, J.; Leyva-Morales, J.B.; Martínez-Rodríguez, I.E.; Hernández-Ochoa, M.I.; Aldana-Madrid, M.L.; Rojas-García, A.E.; Betancourt-Lozano, M.; Pérez-Herrera, N.E.; Perera-Ríos, J.H. Estado actual de la investigación sobre plaguicidas en México. *Rev. Int. Contam. Ambient.* **2018**, *34*, 29–60. [[CrossRef](#)]
25. Bonilla-Moheno, M.; Redo, D.J.; Aide, T.M.; Clark, M.L.; Grau, H.R. Vegetation change and land tenure in Mexico: A country-wide analysis. *Land Use Policy* **2013**, *30*, 355–364. [[CrossRef](#)]
26. Komiyama, H.; Takeuchi, K. Sustainability science: Building a new discipline. *Sustain. Sci.* **2006**, *1*, 1–6. [[CrossRef](#)]
27. Yarime, M.; Takeda, Y.; Kajikawa, Y. Towards institutional analysis of sustainability science: A quantitative examination of the patterns of research collaboration. *Sustain. Sci.* **2009**, *5*, 115–125. [[CrossRef](#)]
28. Velasco-Muñoz, J.F.; Aznar-Sánchez, J.A.; Batlles-Delafuente, A.; Fidelibus, M.D. Sustainable Irrigation in Agriculture: An Analysis of Global Research. *Water* **2019**, *11*, 1758. [[CrossRef](#)]
29. Garfield, E.; Sher, I.H. New factors in the evaluation of scientific literature through citation indexing. *Am. Doc.* **1963**, *14*, 195–201. [[CrossRef](#)]
30. Huang, L.; Zhang, Y.; Guo, Y.; Zhu, D.; Porter, A.L. Four dimensional Science and Technology planning: A new approach based on bibliometrics and technology roadmapping. *Technol. Forecast. Soc. Chang.* **2014**, *81*, 39–48. [[CrossRef](#)]
31. Aznar-Sánchez, J.A.; García-Gómez, J.J.; Velasco-Muñoz, J.F.; Carretero-Gómez, A. Mining Waste and Its Sustainable Management: Advances in Worldwide Research. *Minerals* **2018**, *8*, 284. [[CrossRef](#)]
32. Aznar-Sánchez, J.A.; Belmonte-Ureña, L.J.; López-Serrano, M.J.; Velasco-Muñoz, J.F. Forest Ecosystem Services: An Analysis of Worldwide Research. *Forests* **2018**, *9*, 453. [[CrossRef](#)]
33. Albort-Morant, G.; Henseler, J.; Leal-Millán, A.; Carrión, G.A.C. Mapping the Field: A Bibliometric Analysis of Green Innovation. *Sustainability* **2017**, *9*, 1011. [[CrossRef](#)]
34. Opejin, A.K.; Aggarwal, R.M.; White, D.D.; Jones, J.L.; Maciejewski, R.; Mascaro, G.; Sarjoughian, H.S. A Bibliometric Analysis of Food-Energy-Water Nexus Literature. *Sustainability* **2020**, *12*, 1112. [[CrossRef](#)]
35. Durieux, V.; Gevenois, P.A. Bibliometric Indicators: Quality Measurements of Scientific Publication. *Radiology* **2010**, *255*, 342–351. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
36. Robinson, D.K.R.; Huang, L.; Guo, Y.; Porter, A.L. Forecasting Innovation Pathways (FIP) for new and emerging science and technologies. *Technol. Forecast. Soc. Chang.* **2013**, *80*, 267–285. [[CrossRef](#)]
37. Figueroa-Rodríguez, K.A.; Álvarez-Ávila, M.D.C.; Castillo, F.H.; Rindermann, R.S.; Sandoval, B.F. Farmers' Market Actors, Dynamics, and Attributes: A Bibliometric Study. *Sustainability* **2019**, *11*, 745. [[CrossRef](#)]
38. Kumar, A.; Mallick, S.; Swarnakar, P. Mapping Scientific Collaboration: A Bibliometric Study of Rice Crop Research in India. *J. Sci. Res.* **2020**, *9*, 29–39. [[CrossRef](#)]
39. Gavel, Y.; Iselid, L. Web of Science and Scopus: A journal title overlap study. *Online Inf. Rev.* **2008**, *32*, 8–21. [[CrossRef](#)]
40. Aznar-Sánchez, J.A.; Belmonte-Ureña, L.J.; Velasco-Muñoz, J.F.; Manzano-Agugliaro, F. Economic analysis of sustainable water use: A review of worldwide research. *J. Clean. Prod.* **2018**, *198*, 1120–1132. [[CrossRef](#)]
41. Ngwenya, S.; Boshoff, N. Participation of 'international national organisations' in Africa's research: A bibliometric study of agriculture and health in Zimbabwe. *Scientometrics* **2020**, *124*, 533–553. [[CrossRef](#)]
42. Velasco-Muñoz, J.F.; Aznar-Sánchez, J.A.; Belmonte-Ureña, L.J.; Román-Sánchez, I.M. Sustainable Water Use in Agriculture: A Review of Worldwide Research. *Sustainability* **2018**, *10*, 1084. [[CrossRef](#)]
43. Alonso, S.; Cabrerizo, F.J.; Herrera-Viedma, E.; Herrera, F. h-Index: A review focused in its variants, computation and standardization for different scientific fields. *J. Informetr.* **2009**, *3*, 273–289. [[CrossRef](#)]
44. Falagas, M.E.; Kouranos, V.D.; Arencibia-Jorge, R.; Karageorgopoulos, D.E. Comparison of SCImago journal rank indicator with journal impact factor. *FASEB J.* **2008**, *22*, 2623–2628. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
45. Aznar-Sánchez, J.A.; Velasco-Muñoz, J.F.; Belmonte-Ureña, L.J.; Manzano-Agugliaro, F. Innovation and technology for sustainable mining activity: A worldwide research assessment. *J. Clean. Prod.* **2019**, *221*, 38–54. [[CrossRef](#)]

46. Robledo-Zacarias, V.H.; Velázquez-Machuca, M.A.; Montañez-Soto, J.L.; Pimentel-Equihua, J.L.; Vallejo-Cardona, A.A.; López-Calvillo, M.D.; Venegas-González, J. Hydrochemistry and emerging contaminants in industrial urban wastewater in Morelia, Michoacán, Mexico. *Rev. Int. Contam. Ambie.* **2017**, *33*, 221–235. [[CrossRef](#)]
47. Gilabert-Alarcón, C.; Salgado-Méndez, S.O.; Daesslé, L.W.; Mendoza-Espinosa, L.G.; Villada-Canela, M. Regulatory Challenges for the Use of Reclaimed Water in Mexico: A Case Study in Baja California. *Water* **2018**, *10*, 1432. [[CrossRef](#)]
48. Castresana, G.P.; Flores, V.T.; Reyes, L.L.; Aldana, F.H.; Vega, R.C.; Perales, J.L.M.; Suastegui, W.A.G.; Diaz, A.; Silva, A.H. Atoyac River Pollution in the Metropolitan Area of Puebla, México. *Water* **2018**, *10*, 267. [[CrossRef](#)]
49. Rodríguez-Aguilar, B.A.; Martínez-Rivera, L.M.; Peregrina-Lucano, A.A.; Ortiz-Arrona, C.I.; Cárdenas-Hernández, O.G. Analysis of pesticide residues in the surface water of the Ayuquila-Armeria River watershed, Mexico. *Terra Latinoam.* **2019**, *37*, 151–161. [[CrossRef](#)]
50. Hernández-Bedolla, J.; Solera, A.; Paredes-Arquiola, J.; Pedro-Monzonis, M.; Andreu, J.; Sánchez-Quispe, S.T. The Assessment of Sustainability Indexes and Climate Change Impacts on Integrated Water Resource Management. *Water* **2017**, *9*, 213. [[CrossRef](#)]
51. Molina-Navarro, E.; Hallack-Alegría, M.; Martínez-Pérez, S.; Ramírez-Hernández, J.; Mungaray-Moctezuma, A.; Sastre-Merlín, A. Hydrological modeling and climate change impacts in an agricultural semiarid region. Case study: Guadalupe River basin, Mexico. *Agric. Water Manag.* **2016**, *175*, 29–42. [[CrossRef](#)]
52. Hernandez-Ochoa, I.M.; Pequeno, D.N.L.; Reynolds, M.; Babar, M.A.; Sonder, K.; Milan, A.M.; Hoogenboom, G.; Robertson, R.; Gerber, S.; Rowland, D.L.; et al. Adapting irrigated and rainfed wheat to climate change in semi-arid environments: Management, breeding options and land use change. *Eur. J. Agron.* **2019**, *109*, 125915. [[CrossRef](#)]
53. De Oca, R.M.G.F.; Ramos-Leal, J.A.; Solache-Ríos, M.J.; Martínez-Miranda, V.; Fuentes-Rivas, R.M. Modification of the Relative Abundance of Constituents Dissolved in Drinking Water Caused by Organic Pollution: A Case of the Toluca Valley, Mexico. *Water Air Soil Pollut.* **2019**, *230*, 171. [[CrossRef](#)]
54. Saldaña-Robles, A.; Abraham-Juárez, M.R.; Saldaña-Robles, A.L.; Saldaña-Robles, N.; Ozuna, C.; Gutiérrez-Chávez, A.J. The Negative Effect of Arsenic in Agriculture: Irrigation Water, Soil And Crops, State of the Art. *Appl. Ecol. Environ. Res.* **2018**, *16*, 1533–1551. [[CrossRef](#)]
55. Reyes-González, A.; Reta-Sánchez, D.G.; Sánchez-Duarte, J.I.; Ochoa-Martínez, E.; Rodríguez-Hernández, K.; Preciado-Rangel, P. Estimation of evapotranspiration of forage corn supported with remote sensing and in situ measurements. *Terra Latinoam.* **2019**, *37*, 279–290. [[CrossRef](#)]
56. Reyes-González, A.; Kjaersgaard, J.; Trooien, T.; Hay, C.; Ahiablame, L. Estimation of Crop Evapotranspiration Using Satellite Remote Sensing-Based Vegetation Index. *Adv. Meteorol.* **2018**, *2018*, 1–12. [[CrossRef](#)]
57. López-Hernández, M.; Arteaga-Ramírez, R.; Ruiz-García, A.; Vázquez-Peña, M.A.; López-Resano, J.I. Productividad del agua normalizada para el cultivo de maíz (*Zea mays*) en Chapingo, México. *Agrociencia* **2019**, *53*, 811–820.
58. Palacios-Vélez, E.; Palacios-Sánchez, L.; Espinosa-Espinosa, J.L. Early estimation of the wheat crop yield in irrigation district 038, Río Mayo, Sonora, México/Estimación temprana del rendimiento de la cosecha de trigo en el distrito de riego 038, Río Mayo, Sonora, México. *Tecnol. Cienc. Agua* **2019**, *10*, 225–240. [[CrossRef](#)]
59. Pool, D.B.; Panjabi, A.O.; Macías-Duarte, A.; Solhjem, D.M. Rapid expansion of croplands in Chihuahua, Mexico threatens declining North American grassland bird species. *Biol. Conserv.* **2014**, *170*, 274–281. [[CrossRef](#)]
60. Andrade-Herrera, M.; Escalona-Segura, G.; González-Jáuregui, M.; Reyna-Hurtado, R.A.; Vargas-Contreras, J.A.; Osten, J.R.-V. Presence of Pesticides and Toxicity Assessment of Agricultural Soils in the Quintana Roo Mayan Zone, Mexico Using Biomarkers in Earthworms (*Eisenia fetida*). *Water Air Soil Pollut.* **2019**, *230*, 59. [[CrossRef](#)]
61. Vanderplank, S.; Ezcurra, E.; Delgadillo, J.; Felger, R.; McDade, L.A. Conservation challenges in a threatened hotspot: Agriculture and plant biodiversity losses in Baja California, Mexico. *Biodivers. Conserv.* **2014**, *23*, 2173–2182. [[CrossRef](#)]
62. Estrada-Herrera, I.R.; Hidalgo-Moreno, C.; Guzmán-Plazola, R.; Almaraz Suárez, J.J.; Navarro-Garza, H.; Etchevers-Barra, J.D. Soil quality indicators to evaluate soil fertility. *Agrociencia* **2017**, *51*, 813–831.

63. Silva-García, J.T.; Cruz-Cárdenas, G.; Ochoa-Estrada, S.; Estrada-Godoy, F.; Nava-Velázquez, J.; Álvarez-Bernal, D. Loss of soil from water erosion in the basin Chapala Lake, Michoacan, Mexico. *Tecnol. Cienc. Agua* **2017**, *8*, 117–128. [[CrossRef](#)]
64. López-Santos, A.; Bueno-Hurtado, P.; Arreola-ávila, J.G.; Emmanuel Pérez-Salinas, J. Conservation activities of soils identified through indices kappa indices in northeast of Durango, Mexico. *Agrociencia* **2017**, *51*, 591–605.
65. Paquini-Rodríguez, S.L.; Benítez-Riquelme, I.; Villaseñor-Mir, H.E.; Muñoz-Orozco, A.; Vaquera-Huerta, H. Gains in yield and its components under normal and limited irrigation of Mexican wheat cultivars. *Rev. Fitotec. Mex.* **2016**, *39*, 367–378.
66. Honsdorf, N.; Mulvaney, M.J.; Singh, R.P.; Ammar, K.; Burgueño, J.; Govaerts, B.; Verhulst, N. Genotype by tillage interaction and performance progress for bread and durum wheat genotypes on irrigated raised beds. *Field Crop. Res.* **2018**, *216*, 42–52. [[CrossRef](#)]
67. Rangel-Fajardo, M.A.; Gómez-Montiel, N.; Tucuch-Haas, J.I.; De la Cruz Basto-Barbudo, D.; Villalobos-González, A.; Burgos-Díaz, J.A. Polyethylene glicol 8000 to identify corn tolerant to water stress during germination. *Agron. Mesoam.* **2019**, *30*, 255–266. [[CrossRef](#)]
68. Grahmman, K.; Verhulst, N.; Palomino, L.M.; Bischoff, W.-A.; Govaerts, B.; Buerkert, A. Ion exchange resin samplers to estimate nitrate leaching from a furrow irrigated wheat-maize cropping system under different tillage-straw systems. *Soil Tillage Res.* **2018**, *175*, 91–100. [[CrossRef](#)]
69. Saiz-Rodríguez, J.A.; Banda, M.A.L.; Salazar-Briones, C.; Ruiz-Gibert, J.M.; Mungaray-Moctezuma, A. Allocation of Groundwater Recharge Zones in a Rural and Semi-Arid Region for Sustainable Water Management: Case Study in Guadalupe Valley, Mexico. *Water* **2019**, *11*, 1586. [[CrossRef](#)]
70. González-Trinidad, J. Dynamics of Land Cover Changes and Delineation of Groundwater Recharge Potential Sites in the Aguanaval Aquifer, Zacatecas, Mexico. *Appl. Ecol. Environ. Res.* **2017**, *15*, 387–402. [[CrossRef](#)]
71. Aguilar-García, R.; Ortega-Guerrero, M.A. Analysis of the water dynamics in the unsaturated zone, in a soil subject to conservation practices: Implications for aquifer management and adaptation to climatic change. *Rev. Mex. Cienc. Geol.* **2017**, *34*, 91–104.
72. Celestino, A.E.M.; Ramos-Leal, J.; Cruz, D.A.M.; Tuxpan, J.; Bashulto, J.D.L.; Ramírez, J.M. Identification of the Hydrogeochemical Processes and Assessment of Groundwater Quality, Using Multivariate Statistical Approaches and Water Quality Index in a Wastewater Irrigated Region. *Water* **2019**, *11*, 1702. [[CrossRef](#)]
73. Mahlknecht, J.; Merchán, D.; Rosner, M.; Meixner, A.; Ledesma-Ruiz, R. Assessing seawater intrusion in an arid coastal aquifer under high anthropogenic influence using major constituents, Sr and B isotopes in groundwater. *Sci. Total. Environ.* **2017**, *587–588*, 282–295. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
74. Fonteyne, S.; Gamiño, M.-A.M.; Tejeda, A.S.; Verhulst, N. Conservation Agriculture Improves Long-term Yield and Soil Quality in Irrigated Maize-oats Rotation. *Agronomy* **2019**, *9*, 845. [[CrossRef](#)]
75. Santillano-Cázares, J.; Núñez-Ramírez, F.; Ruíz-Alvarado, C.; Cárdenas-Castañeda, M.E.; Ortiz-Monasterio, J.I. Assessment of Fertilizer Management Strategies Aiming to Increase Nitrogen Use Efficiency of Wheat Grown Under Conservation Agriculture. *Agronomy* **2018**, *8*, 304. [[CrossRef](#)]
76. Fuentes, M.; Hidalgo, C.; Etchevers, J.; De León, F.; Guerrero, A.; Dendooven, L.; Verhulst, N.; Govaerts, B. Conservation agriculture, increased organic carbon in the top-soil macro-aggregates and reduced soil CO<sub>2</sub> emissions. *Plant Soil* **2012**, *355*, 183–197. [[CrossRef](#)]
77. Rivers, A.; Barbercheck, M.; Govaerts, B.; Verhulst, N. Conservation agriculture affects arthropod community composition in a rainfed maize—Wheat system in central Mexico. *Appl. Soil Ecol.* **2016**, *100*, 81–90. [[CrossRef](#)]
78. Paredes-Tavares, J.; Gómez-Albores, M.A.; Mastachi-Loza, C.A.; Delgado, C.D.; Becerril-Piña, R.; Martínez-Valdés, H.; Bâ, K.M. Impacts of Climate Change on the Irrigation Districts of the Rio Bravo Basin. *Water* **2018**, *10*, 258. [[CrossRef](#)]
79. Ahumada-Cervantes, R.; Angulo, G.V.; Rodríguez-Gallegos, H.B.; Flores-Tavizón, E.; Felix-Gastelum, R.; Romero-Gonzalez, J.; Granados-Olivas, A. An indicator tool for assessing local vulnerability to climate change in the Mexican agricultural sector. *Mitig. Adapt. Strat. Glob. Chang.* **2017**, *22*, 137–152. [[CrossRef](#)]
80. González-Acevedo, Z.I.; Zarate, M.A.G.; Flores-Lugo, I.P. Emerging contaminants and nutrients in a saline aquifer of a complex environment. *Environ. Pollut.* **2019**, *244*, 885–897. [[CrossRef](#)]

81. Contreras, J.D.; Meza, R.; Siebe, C.; Rodríguez-Dozal, S.; López-Vidal, Y.; Castillo-Rojas, G.; Amieva, R.I.; Solano-Gálvez, S.G.; Mazari-Hiriart, M.; Silva-Magaña, M.A.; et al. Health risks from exposure to untreated wastewater used for irrigation in the Mezquital Valley, Mexico: A 25-year update. *Water Res.* **2017**, *123*, 834–850. [[CrossRef](#)]
82. Castro-González, N.P.; Calderón-Sánchez, F.; Moreno-Rojas, R.; Tamariz-Flores, J.V.; Reyes-Cervantes, E. Heavy metals pollution level in wastewater and soils in the alto balsas sub-basin in Tlaxcala and Puebla, Mexico. *Rev. Int. Contam. Ambient.* **2019**, *35*, 335–348. [[CrossRef](#)]
83. Duchin, F.; López-Morales, C. Do Water-Rich Regions Have a Comparative Advantage in Food Production? Improving the Representation of Water for Agriculture in Economic Models. *Econ. Syst. Res.* **2012**, *24*, 371–389. [[CrossRef](#)]
84. Bautista-Capetillo, C.; Carrillo, B.; Picazo, G.; Júnez-Ferreira, H. Drought Assessment in Zacatecas, Mexico. *Water* **2016**, *8*, 416. [[CrossRef](#)]
85. Granados, R.; Soria, J.; Cortina, M. Rainfall variability, rainfed agriculture and degree of human marginality in North Guanajuato, Mexico. *Singap. J. Trop. Geogr.* **2017**, *38*, 153–166. [[CrossRef](#)]

**Publisher’s Note:** MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



© 2020 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

JCR YEAR  
2020

# Agronomy-Basel

Open Access since 2011

ISSN  
N/A

EISSN  
2073-4395

JCR ABBREVIATION  
AGRONOMY-BASEL

ISO ABBREVIATION  
Agronomy-Basel

## Journal information

EDITION  
Science Citation Index Expanded (SCIE)

CATEGORY  
AGRONOMY - SCIE  
PLANT SCIENCES - SCIE

LANGUAGES  
English

REGION  
SWITZERLAND

1ST ELECTRONIC JCR YEAR  
2017

## Publisher information

PUBLISHER  
MDPI

ADDRESS  
ST ALBAN-ANLAGE 66, CH-4052 BASEL, SWITZERLAND

PUBLICATION FREQUENCY  
12 issues/year

The Journal Impact Factor (JIF) is a journal-level metric calculated from data indexed in the Web of Science Core Collection. It should be used with careful attention to the many factors that influence citation rates, such as the volume of publication and citations characteristics of the subject area and type of journal. The Journal Impact Factor can complement expert opinion and informed peer review. In the case of academic evaluation for tenure, it is inappropriate to use a journal-level metric as a proxy measure for individual researchers, institutions, or articles. [Learn more](#)

2020 JOURNAL IMPACT FACTOR

3.417

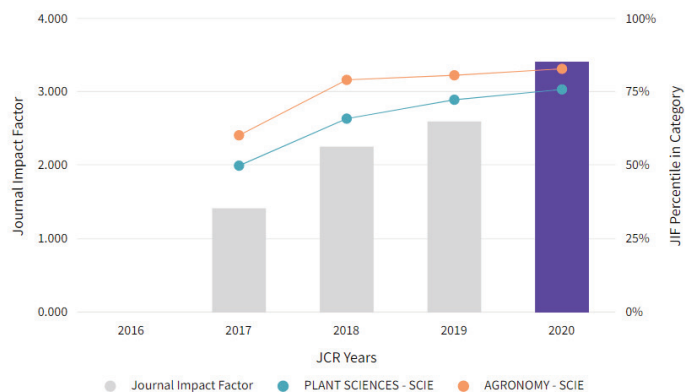
[View calculation](#)

JOURNAL IMPACT FACTOR WITHOUT SELF CITATIONS

2.671

[View calculation](#)

## Journal Impact Factor Trend 2020



## Journal Impact Factor contributing items

Export

Citable items (1,189)

Citing Sources (776)

TITLE	CITATION COUNT
Potassium: A Vital Regulator of Plant Responses and Tolerance to Abiotic Stresses	55
Biopesticides Application in Horticultural Crops under Abiotic Stress Conditions	45
Plant Biopesticides: Importance of the Quality and Yield of Horticultural Crops and the Improvement of Plant Tolerance to Abiotic Stress-A Review	33
Increasing Sustainability of Growing Media Constituents and Stand-Alone Substrates in Soilless Culture Systems	26
ACC Deaminase Producing PGPR <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> and <i>Agrobacterium fabrum</i> along with Biochar Improve Wheat Productivity	24
An Update on the Impact of Climate Change in Viticulture and Potential Adaptations	23
Microalgal Biopesticides and Biofertilisers in Crop Productions	23
Root Phenotyping for Drought Tolerance: A Review	22

## Rank by Journal Impact Factor

Journals within a category are sorted in descending order by Journal Impact Factor (JIF) resulting in the Category Ranking below. A separate rank is shown for each category in which the journal is listed in JCR. Data for the most recent year is presented at the top of the list, with other years shown in reverse chronological order. [Learn more](#)

EDITION  
Science Citation Index Expanded (SCIE)

CATEGORY  
AGRONOMY  
16/91

JCR YEAR	JIF RANK	JIF QUARTILE	JIF PERCENTILE
2020	16/91	Q1	82.97
2019	18/91	Q1	80.77
2018	19/89	Q1	79.21
2017	35/87	Q2	60.34

EDITION  
Science Citation Index Expanded (SCIE)

CATEGORY  
PLANT SCIENCES  
57/235

JCR YEAR	JIF RANK	JIF QUARTILE	JIF PERCENTILE
2020	57/235	Q1	75.96
2019	65/234	Q2	72.44
2018	78/228	Q2	66.01
2017	112/223	Q3	50.00





**APÉNDICE 3. Analysis of the Acceptance of Sustainable Practices in Water Management for the Intensive Agriculture of the Costa de Hermosillo (Mexico)**

---

**Agronomy, 2022, 12(1), 154**

**Factor de impacto 3.417 y cuartil Q1 en 2020 en Journal Citation Reports- Thomson Reuters**

## Article

# Analysis of the Acceptance of Sustainable Practices in Water Management for the Intensive Agriculture of the Costa de Hermosillo (Mexico)

Claudia Ochoa-Noriega, Juan F. Velasco-Muñoz , José A. Aznar-Sánchez \*  and Belén López-Felices 

Department of Economy and Business, Research Centre on Mediterranean Intensive Agrosystems and Agrifood Biotechnology (CIAIMBITAL), University of Almería, 04120 Almería, Spain; claudia08a@hotmail.com (C.O.-N.); jfvelasco@ual.es (J.F.V.-M.); blopezfelices@ual.es (B.L.-F.)

\* Correspondence: jaznar@ual.es

**Abstract:** Mexico, as many countries, relies on its aquifers to provide at least 60% of all irrigation water to produce crops every year. Often, the water withdrawal goes beyond what the aquifer can be replenished by the little rainfall. Mexico is a country that has experienced a successful process of regional development based on the adoption of intensive agricultural systems. However, this development has occurred in an unplanned way and displays shortcomings in terms of sustainability, particularly in the management of water resources. This study analysed the case of Costa de Hermosillo, which is one of the Mexican regions in which this model of intensive agriculture has been developed and where there is a high level of overexploitation of its groundwater resources. Based on the application of a qualitative methodology involving different stakeholders (farmers, policymakers, and researchers), the main barriers and facilitators for achieving sustainability in water resources management have been identified. A series of consensus-based measures were contemplated, which may lead to the adoption of sustainable practices in water management. Useful lessons can be drawn from this analysis and be applied to other agricultural areas where ground and surface water resources are overexploited, alternative water sources are overlooked, and where stakeholders have conflicting interests in water management.

**Keywords:** intensive agriculture; water management; participatory assessment; stakeholders; sustainable development



**Citation:** Ochoa-Noriega, C.; Velasco-Muñoz, J.F.; Aznar-Sánchez, J.A.; López-Felices, B. Analysis of the Acceptance of Sustainable Practices in Water Management for the Intensive Agriculture of the Costa de Hermosillo (Mexico). *Agronomy* **2022**, *12*, 154. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010154>

Academic Editors: Jorge F. S. Ferreira

Received: 10 November 2021

Accepted: 5 January 2022

Published: 8 January 2022

**Publisher's Note:** MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



**Copyright:** © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Introduction

Of the objectives included in the 2030 Agenda of the United Nations, the eradication of poverty and hunger and access to drinking water are the most urgent for the survival of a large part of the population [1]. These objectives are closely related and their fulfilment is threatened by different factors. First, the population is growing much faster than food producers' capacity to respond [2]. It is estimated that the population will increase from 7.7 to 9.7 billion people by 2050 [3]. Furthermore, global economic development has given rise to the expansion of the population segment classified as middle class, which has a higher level of income, generating a modification in consumption patterns due to the evolution of global lifestyles [2]. Consequently, consumer preferences require a greater use of resources, which threatens the sustainability of the production system. It is estimated that in order to satisfy global demand for the year 2050, based on current consumption patterns, the resources equivalent to those of three planet earths would be necessary [4]. In food production alone, it has been estimated that by the year 2050, an increase in production of between 25 and 110% will be required, depending on the different possible scenarios [5,6].

As a principal supplier, not only of food but also a wide range of raw materials, agriculture plays a prominent role in ensuring food security [7]. In addition to satisfying the growing demand, agricultural production systems must adapt to the consequences of global

climate change [8]. These consequences include the alteration of rainfall cycles, long periods of drought and imbalances in the supply of water; more frequent and more unpredictable and extreme weather phenomena; and changes in soil humidity, evapotranspiration flows and surface run-off [9,10]. The agricultural expansion and intensification taking place over the last few decades has enabled unprecedented growth in food production. However, it has had a severe impact on forest and aquatic systems [11]. Deforestation practices related to agriculture are the world's second largest threat in terms of conservation of biodiversity [12,13], given that approximately three quarters of the world's forests have been lost due to this activity [14].

The main limiting factor for the expansion and intensification of agriculture is the availability of water [15]. Furthermore, as the leading consumer of water resources on a global level, agriculture has reduced the quality and quantity of available water on a global level in recent decades [11,16]. Agriculture uses between 60 and 90% of the available water, depending on the climate and economic development of the region [17,18]. An increase in irrigation to satisfy the growing demand for food will severely affect the availability of water for the natural ecosystems and even human supply [19,20]. According to the 2020 United Nations report on water resources, there are currently 2.2 billion people across the world who have limited access to drinking water [21].

Mexico has become an agricultural power in terms of cultivated area, production and volume of exports [22]. It is also one of the world's principal suppliers of food [23]. The country has an area of 198 million hectares, of which approximately 73% is used for agricultural activities [24,25]. Agriculture accounts for approximately 4% of Gross National Product (GNP) [26]. In recent years, the share of Mexican agricultural products in foreign markets has increased, thanks to their quality and variety and the tariff advantages derived from the North American Free Trade Agreement (NAFTA) [27]. Furthermore, the agricultural activity has played a fundamental role in the regional development of Mexico [28]. Approximately 20% of the country's population is in a situation of food poverty, and 5% are classified as malnourished [25]. This situation is even more critical in the rural environment, where agriculture represents 50% of the income of the family [29,30]. According to the 2018 report on the evolution of the Sustainable Development Goals (SDGs), 58.2% of the Mexican rural population lived in a situation of poverty [31]. This figure was as high as 71.9% among the indigenous population (a total of twelve million people) [31]. It is estimated that the children living in the rural areas have a growth delay of 43.4%, more than double that of the national average of Mexico, with negative effects on motor and cognitive development [32,33].

Mexico is a paradigmatic example of a country which has experienced a successful process of regional development based on the evolution of traditional agricultural models towards modern agricultural systems [28]. However, this development has occurred in an unplanned way and displays shortcomings in terms of sustainability [23,31]. Due to its location and climate conditions, Mexican agriculture is particularly sensitive to the problem of water. Some of the principal agricultural regions suffer from serious deficit problems in their water bodies. Furthermore, this country is located in an area particularly vulnerable to the impacts of global climate change, most of all in terms of water resources and agricultural management [21,25]. In addition, this development has been based on the use of poor environmental management practices, fundamentally with respect to the management of water resources and the unequal distribution of land and infrastructures [23,29]. As a result, this country is a perfect laboratory for studying the agricultural development experienced by developing countries. Therefore, the objective of this study is to analyse one of the Mexican regions (Costa de Hermosillo) that has experienced an agricultural modernisation process more intensely, based on the overexploitation of its groundwater resources. Furthermore, it seeks to identify the principal barriers and facilitators for obtaining sustainability in the management of water resources in this region. Finally, it attempts to find a series of measures that will contribute to the adoption of sustainable practices in water management in the agricultural region studied.

The state of Sonora holds the third position in terms of the value of national agricultural production, with more than 15327 million pesos (748 million US\$), accounting for 13.7% of the national total and a cultivated area of 411,090 hectares. The Costa de Hermosillo represents 12% of the total surface area with 49524 hectares and 23.2% of the total value of production with 3556 million pesos (173 million US\$) [34]. The agriculture of the Costa de Hermosillo has evolved from traditional production systems based on corn, wheat and cotton crops to an intensive agricultural model based on the use of new technologies and innovation processes in production, storage and distribution [35,36]. This transformation began with the coming into force of the North American Free Trade Agreement (NAFTA) in 1994 [27]. Currently, the predominant crops are tomatoes, pumpkins, asparagus, green chili, melon, citrus fruits, cucumber, watermelon, grapes and walnuts, which are mainly exported. The state has a vast hydraulic infrastructure made up of a system of dams and pipelines for irrigation, which is carried out principally through gravity and flooding [37].

The Colonisation Decree of 1949 establishes three forms of land ownership; small owners, settlers and ejido members [38]. This ownership structure gave rise to a concentration of water as a result of the prior concentration of land [38]. The small owners have the private ownership of a farm for which the volume of groundwater used for irrigation cannot exceed 100 ha based on Clause XV of Article 27 of the constitution. In practice, this condition is not fulfilled [39]. The small owners have farms of between 200 and 400 ha. Furthermore, different members of the same family own farms resulting in the formation of large family farms with thousands of hectares [40]. The settler sector is formed by 66 settler associations, fruit of the migration from other regions. These associations were granted the right to collectively farm the low-quality land close to the coast, which were affected by the salinisation due to the seawater intrusion into the aquifer [41]. These lands have now been abandoned and the settlers work as day labourers for the small owners or have emigrated, mostly to the United States [41]. Finally, the ejido sector is made up of 28 scattered rural villages which were established from 1964 [42]. The crop area of the ejidos is of a low quality and is leased to the small owners or used for subsistence production in small farms by the ejido members, who sell their produce directly to consumers [39].

The use and exploitation of the groundwater is regulated through the National Water Act of 1992 (LAN). Article 3 of this Act allows the exploitation of the aquifers for the use of the resources through an individual license or concession granted to the private farmers by the National Water Commission (CONAGUA), which must be registered in the Public Registry of Water Rights (REPDA) [43]. Article 4 provides that the authority and administration of the aquifer correspond to the Federal Executive Body, which exercises these responsibilities directly or through the CONAGUA which, in turn, must be made up of a technical board and should have close ties with the Basin Councils of the respective water basin body responsible for monitoring, administrating or managing the use of the water resources [43].

Table 1 presents a selection of previous literature on the adoption of sustainable practices in Mexican agriculture. Among these works, the study of soil conservation and water resource management are highlighted as priority issues. Of particular relevance is the study of traditional knowledge in subsistence agricultural production, as a basis for the development of the most vulnerable rural populations. For more detailed information, see the work of Ochoa-Noriega [23], a bibliometric review of sustainable agriculture in Mexico.

**Table 1.** Previous literature on sustainable agricultural management in Mexico.

Title	Author and Year
Adoption of phytodesalination as a sustainable agricultural practice for improving the productivity of saline soils	Lastiri-Hernández et al. 2021 [44]
Analysis of energy consumption for tomato production in low technology greenhouses of Mexico	Ramirez-Arias et al. 2020 [45]
Temporal Dynamics of Rhizobacteria Found in Pequin Pepper, Soybean, and Orange Trees Growing in a Semi-arid Ecosystem	Díaz-Garza et al. 2020 [46]
The Use of Water in Agriculture in Mexico and Its Sustainable Management: A Bibliometric Review	Ochoa-Noriega, et al. 2020 [23]
Sustainability prospective for water resources in Northwestern Mexico: Use of recycled concrete for Agricultural purpose water supply	Gutiérrez-Moreno et al. 2020 [47]
Ecological, Cultural, and Geographical Implications of <i>Brahea dulcis</i> (Kunth) Mart. Insights for Sustainable Management in Mexico	Pérez-Valladares et al. 2020 [48]
The sustainable cultivation of Mexican nontoxic <i>Jatropha curcas</i> to produce biodiesel and food in marginal rural lands	Pérez et al. 2019 [49]
Sustainability and environmental management in the Mexican vegetable sector Vulnerability, innovation and social resilience in the maize ( <i>Zea mays</i> L.) production: The case of the conservation tillage club of chiapas, Mexico	Padilla-Bernal et al. 2019 [50] Díaz-José et al. 2018 [51]
The myth behind sustainable African palm crop. Socio-environmental impacts of palm oil in Chiapas, Mexico	León et al. 2017 [52]
TEK and biodiversity management in agroforestry systems of different socio-ecological contexts of the Tehuacán Valley	Vallejo-Ramos et al. 2016 [53]
Degree of sustainability of rural development in subsistence, intermediate, and commercial farmers, under an autopoietic view point	García et al. 2009 [54]

## 2. Materials and Methods

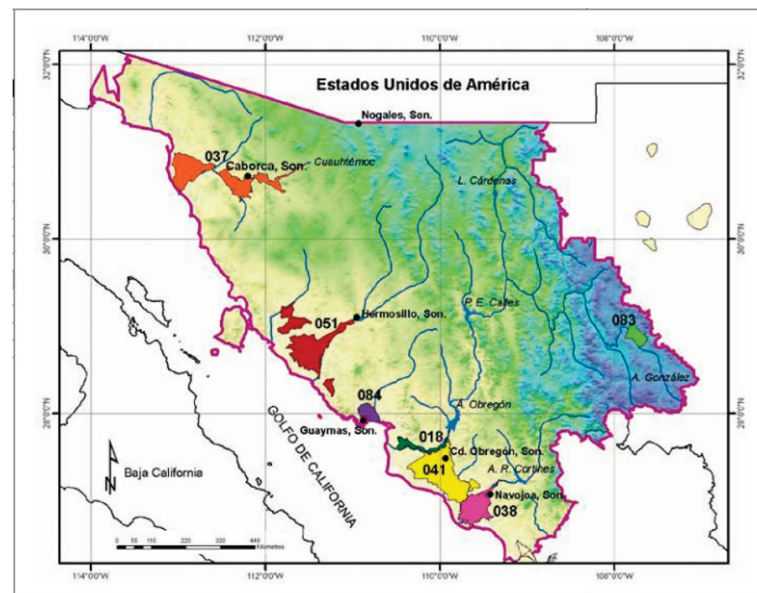
This study seeks to analyse a complex agricultural system that incorporates different types of agents with conflicting objectives. Moreover, it aims to reach a consensus-based proposal for the sustainable management of the water resources available in the system. In order to fulfil this objective, a participatory qualitative methodology has been developed. This type of research provides a more in-depth understanding of the topic of study, the variables involved, the relationships established between them and identifies the critical points, which enables us to appreciate the interactions in complex systems, such as the case of water management systems [55,56]. Finally, even though the potential for generalisation of case studies may be limited, these types of studies can offer a range of possible alternatives to test in similar contexts and can constitute a model with which to reach consensus-based measures in other contexts [57].

### 2.1. Case Study

The study was conducted in the Costa de Hermosillo, in the northeastern region of Mexico, in the central coastal plain of the state of Sonora (Figure 1). The Hermosillo Coast stretches 100 km in a straight line between the city of Hermosillo and Bahía de Kino, on the shores of the Gulf of California. This area has a semi-arid climate, with an annual average rainfall of less than 100 mm, concentrated in the summer months, an annual average temperature of 24 °C which can fluctuate between a maximum of 47 °C and a minimum of −3 °C, and high solar radiation [55].

The Costa de Hermosillo corresponds to irrigation district 051 created in 1953 for the management of its agricultural water resources [58]. This district is supplied by the water basin of the Sonora and Bacoachi rivers, which have irregular flows, a low volume and high infiltration [59]. The principal source of water for irrigation is underground, being one of the largest pump irrigation districts in the country [41]. In 1980, a total of 498 wells were drilled exclusively for agricultural use, accounting for 90% of the available water for this sector [60,61]. The main aquifer of the system is identified as 2619. This aquifer has an average annual recharge of 250 hm<sup>3</sup>/year and an average extraction of 346 hm<sup>3</sup>/year [41]. As a result, there is an average annual deficit of 96 hm<sup>3</sup>/year, which

has translated into a reduction in the total volume of water, giving rise to a process of water intrusion, contaminating the available freshwater [58]. It has been declared as one of the 17 aquifers with saltwater intrusion and as one of the 115 overexploited aquifers on a national level, having the highest deficit of the 61 existing in the state of Sonora [62]. As a consequence of the water resource situation, farms that are unproductive due to the salinity of the soil have been abandoned. The concession of new farms is unfeasible and the rivalry between the different users of water for irrigation has increased.



**Figure 1.** Location of irrigation districts of the basin organisation: Northwestern Mexico. District 051 Costa de Hermosillo, Sonora, Mexico [34]. Sonora borders the American states of Arizona and New Mexico.

The administration and management of the use of the groundwater in this area is carried out through a group license granted to the User's Association of District 051 (AUDR, 051) [63]. This has led to a greater concentration of resources, predominantly by the private farmers who have been able to afford the pumping costs and the investments necessary to meet the standards established in the destination countries for exported crops [40].

## 2.2. Methods

This study has used a series of methods aiming to compile both primary and secondary information, based on the different development stages of the research. First, a literature review was carried out in order to establish the conceptual framework to guide the rest of the process. Second, a series of interviews with experts was conducted on the topic in order to identify the possible management alternatives and principal barriers and facilitators for their adoption. Finally, a workshop was undertaken to assess the different points of view of the groups of stakeholders involved and to draw up a consensus-based proposal for the adoption of the measures to apply.

As a starting point, the literature review is considered as a necessary task in all research studies [63]. The objective of this methodological tool is to identify the most relevant contributions in which the concepts and theories that should be applied are defined and to structure the research problem [64]. In this way, the context is obtained and the theoretical and conceptual foundation is established based on previous studies on the topic and case studies [65]. Furthermore, the experience gained in other analyses enables us to identify the principal variables that intervene in the case study and to delimit their structure of relations, allowing us to establish starting hypotheses [66]. The literature review included both scientific and grey literature. In the first case, the main literature repositories were

used, both in English and Spanish, such as Dialnet, Scielo and Scopus. The grey literature included documents published by official sources such as the National Water Commission, the Official Journal of Mexico, or the United Nations.

The interviews are more or less structured conversations which generate interaction between the parties involved with the objective of obtaining knowledge [67]. As an exploratory method of research, the interviews seek to find new aspects and develop research questions regarding topics that are not clearly defined [68]. In-depth interviews generate an exchange of ideas through interactive conversations with stakeholders with the objective of establishing a close relationship between the participants and the interviewer in order to obtain exhaustive and significant responses [69]. These interviews are not structured or semi-structured. They are based on a script with a series of open questions which are answered during the interview [70]. The method of sample selection was snowballing. This non-probability sampling technique is based on the fact that a small set of study subjects recruits future subjects from among their acquaintances. In this way, the statistical sample grows according to a snowball or domino effect [63]. There were two advantages to using this methodology. On the one hand, it made it possible to contact the right person for the purpose of the study. On the other hand, it allowed for a good predisposition on the part of the interviewee by having the recommendation of another person. A total of seven experts participated: two from academia, two from business, two from administration and one technical professional. The experts were selected from among persons of recognised prestige within the agricultural sector for their leadership position within a relevant organisation (public or private), number of scientific publications, and/or years of experience. A script for the open-ended interview is included in the supplementary material (Supplementary Material 1).

Finally, a workshop was conducted in order to fulfil the objective of designing a management proposal agreed by all of the parties. This methodology enables different stakeholders to collaborate in order to share their knowledge on the theme of study [71]. The workshop is a tool that allows the knowledge from different fields to be synthesised and assessed and conclusions to be drawn [72,73]. Furthermore, it can reinforce the connection between the researchers and policymakers, enabling the development of knowledge that can serve as a base with which to generate policies [74]. The use of this methodology seeks to present all of the knowledge obtained in the previous stages of the research, to incorporate the different points of view of the stakeholders and to reach a consensus-based proposal which allows the adoption of sustainable management practices. In the previous interview phase, farmers, policymakers and researchers were highlighted as the main stakeholder groups. In the case of farmers, it refers to private owners, as they are the main decision-makers in land management. The policymakers are responsible for setting policies and regulations, as well as incentives to encourage behaviour. Researchers are the main providers of knowledge. Through the snowballing procedure, an equal number of members were selected from each group, so that there would be a homogeneous representation of the different groups. In this way, all groups are in the same position to reach an unbiased consensus.

In order to establish a hierarchy with respect to the level of influence of the different factors identified regarding the adoption of each of the practices proposed, a workshop was carried out incorporating the most representative interested parties. The workshop was attended by representatives of farmers (private landowners), policy makers, and researchers. Farmers (private landowners) are the ones who are mainly affected by the proposed measures and who must carry out the practice. Policy makers need to regulate and set incentives to implement the practices. Finally, researchers are in charge of generating the necessary knowledge to guide the whole process. Each of these groups contributed with a total of three participants, so that the different interests and points of view were considered equally.

### 3. Results

The most urgent problem to be addressed, according to the perception of stakeholders, is the scarcity of water resources and the overexploitation of aquifer Costa de Hermosillo (designated in the National Water Law as aquifer 2619), caused by the development of agricultural activities on the Hermosillo Coast. Therefore, different practices have been identified to increase the supply of water for irrigation through diversification of sources. Of all the possible alternatives, two sustainable practices capable of contributing to the recovery of the aquifer through the reduction of abstractions have been selected:

- The harvesting and storage of rainwater (hereinafter P1—practice 1). Given the characteristics of the area of study, the majority of the rainwater is lost through evaporation or run-off. Rainwater can constitute a low-cost resource, requiring only the installation of a small infrastructure to enable its channeling and storage [75,76]. Another relevant aspect is the monitoring of rainfall in order to plan the water needs based on the harvesting of annual rainfall for the crops [75]. This rainfall monitoring should include the total duration of rainfall, the intensity (volume of rain per unit of time) and frequency (the number of precipitations in a given time and with certain characteristics). The compilation of these data enables the design of a climate prediction model for developing technical processes of infrastructures that control the harvesting and storage of rainwater for agricultural use.
- The desalination of seawater (hereinafter P2—practice 2). Desalination is a process in which the salts are eliminated from the water. Although there are different methods of desalination, the most commonly used is reverse osmosis. In this process, the water is conducted through semi-permeable membranes under pressure. The salts are retained in the membranes, while the water molecules circulate.

Five principal barriers and five facilitators were identified for adopting sustainable practices in the management of irrigation water in the area of study (Figure 2). These factors were classified into three different groups: institutional, technical and socio-economic. Barriers include (i) the lack of regulation and the high level of noncompliance with existing legislation; (ii) the current land ownership structure and the concentration of water use rights; (iii) the lack of technical knowledge regarding the proposed innovations; (iv) the low level of rainfall; and (v) the lack of environmental knowledge of farmers. The main facilitators are (i) the existence of institutional incentives for the adoption of sustainable practices; (ii) the continuous process of technological innovation in which the sector is immersed; (iii) the positive disposition of farmers towards technical change; (iv) the collaborative relationships between the different actors; (v) the sector's financing capacity.

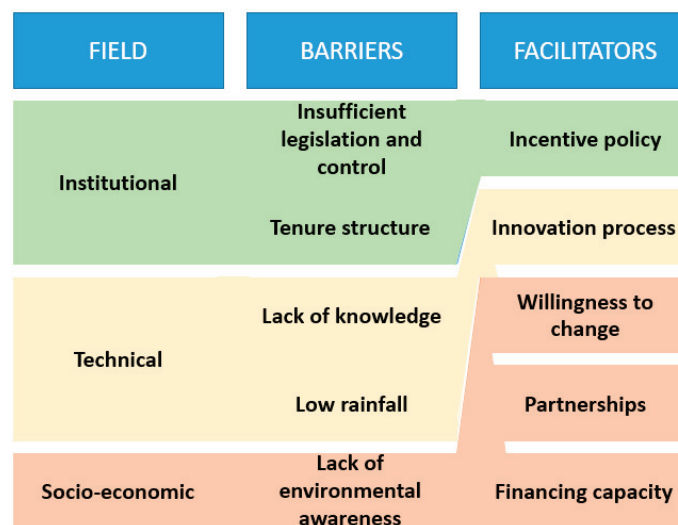
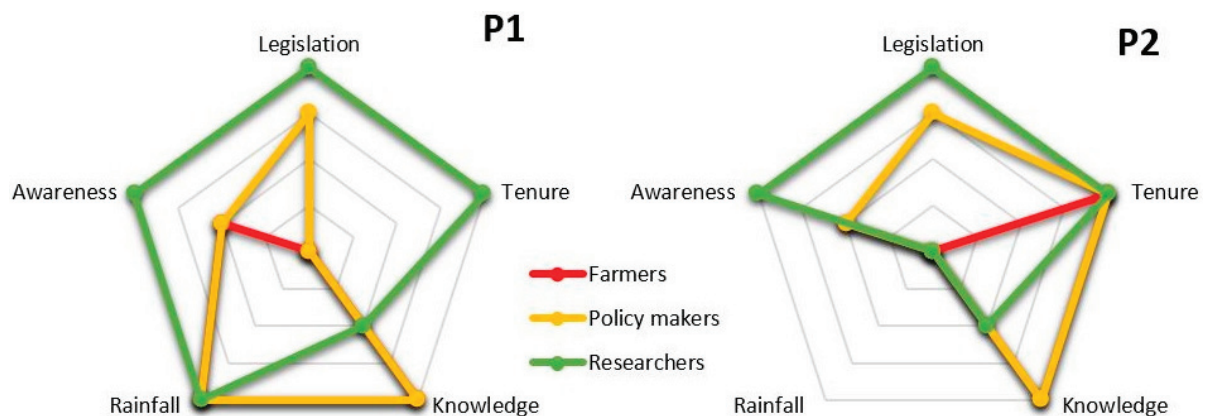


Figure 2. Main barriers and facilitators for the adoption of sustainable practices.



Figure 3 illustrates the results regarding the perception of each group of stakeholders in terms of the level of influence of each barrier to adopting the proposed practices. In this case, the farmers and policymakers show a higher level of agreement. The two groups coincide in considering that the principal barriers to adopting the rainwater harvesting systems are the lack of knowledge of the different aspects of the infrastructure, capacity and return on investment, and the erratic behaviour of the rainfall, which makes it difficult to forecast the water needs at any given time, particularly with the impact of climate change. Meanwhile, the researchers indicated a high degree of noncompliance with the applicable regulations, the low level of environmental awareness among the farmers and policymakers, and the power of the farmers to concentrate the water rights derived from the land ownership regime.

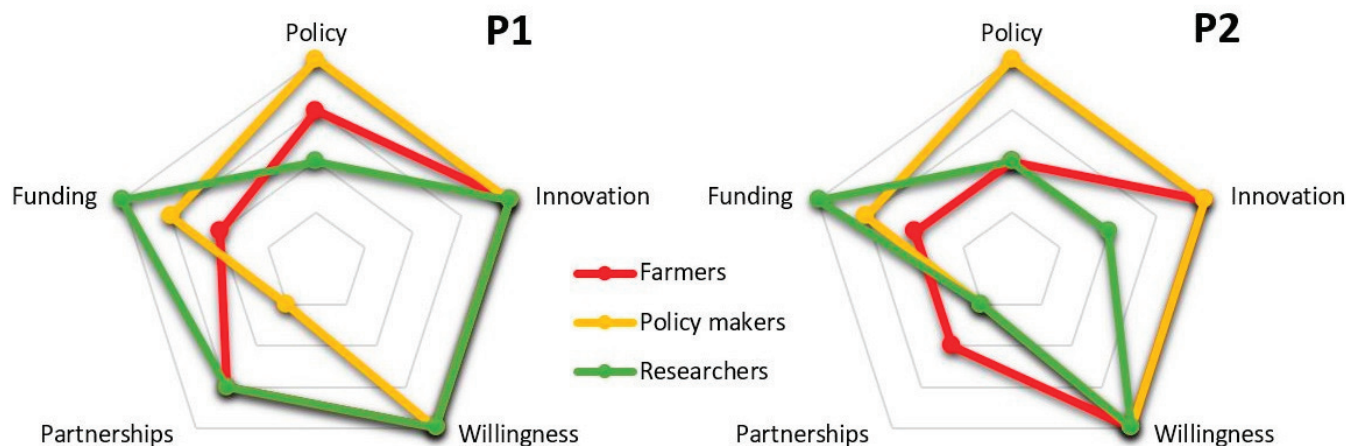


**Figure 3.** Main barriers to the adoption of sustainable practices by group. P1 (harvesting and storage of rainwater, practice 1); P2 (desalination of seawater, practice 2).

With respect to the installation of the desalination plant in the area of study, the three groups identify the ownership regime as the principal obstacle. However, there are different opinions with respect to the reason for this. The researchers and policymakers believe that the negotiating capacity of the farmers can impose objectives to increase the crop area instead of mitigating the overexploitation of the aquifers. On the other hand, the farmers highlight the need for finance from the administration, given that the group of farmers is very small and cannot undertake such a large investment which would be borne by a small number of entrepreneurs. In this case, the rainfall factor is not relevant, as the desalination of seawater does not depend on climate factors. The principal discrepancy regarding the different barriers resides in the fact that the researchers continue to denounce a lack of compliance with the regulations and environmental awareness. The farmers and policymakers claim that there is a gap in the knowledge on a local level regarding the impact of the use of desalinated water. In this respect, the researchers argue that there is sufficient research in favour of the use of this technology, although they acknowledge that more information on a local level is required even though previous studies have been carried out [77,78].

Concerning the factors acting as facilitators for the adoption of the proposed practices, the results are shown in Figure 4. In this case, the responses are more similar as they refer to both management alternatives. With regards to rainwater harvesting, the three groups indicate that the modernisation of agriculture experienced over the last few decades and the disposition of the farmers in following the continuous improvement process are the principal pillars for the adoption of these practices. The policymakers indicated that the administration has already made different proposals to encourage technological development in the region which should serve as an incentive to adopt these practices. Meanwhile, the researchers surveyed in this study support that the sector has sufficient financing capacity to cover the investment necessary for the installation of rainwater

harvesting systems. However, with respect to the installation of the seawater desalination plant, the researchers surveyed in this study do not believe that the prior innovation process will be so positive, given that, to date, the sector has not made an investment of such a scale, so prior experience will not be useful for managing this new additional resource.



**Figure 4.** Main facilitators for adopting sustainable practices by group. P1 (harvesting and storage of rainwater, practice 1); P2 (desalination of seawater, practice 2).

As a result of the workshop and sharing the different points of view, the different groups represented established a series of common points that serve as a guide to design an action plan for the adoption of the different practices proposed. This action plan is based on three pillars. Firstly, commitment to the gradual reduction in groundwater extraction from the aquifer as new water sources become available. Secondly, closer collaboration and communication between the different groups to obtain and disseminate knowledge and to improve the level of environmental awareness. Finally, the design of a public-private financing strategy in order to undertake the investment necessary for the development of the proposed projects.

First, the three groups (farmers, policy makers, and researchers) agree that the situation of the aquifer is unsustainable and threatens the continuity of the agricultural activity in the area in the medium to long term, which is the case of other coastal territories of this region. To address this problem, the farmers consider as positive the reduction of the extraction of groundwater for irrigation until the aquifer has been recharged and other alternative water sources become available for crop irrigation. In this way, the crop areas will not be extended until the water supply is expanded and the possible surplus will be used for recharging the underground water bodies.

Second, to guarantee that this commitment is fulfilled, all of the groups agree that it is necessary to work together to design the best strategy for implementing the new processes. On the one hand, updated technical knowledge is required that will enable the optimisation of the investment. This knowledge should be obtained directly on the farms; so, close collaboration between researchers and farmers is required. Furthermore, the policymakers should provide coverage and get involved in all of the levels for the process to be successful. Therefore, there should be a three-way collaboration. On the other hand, the level of environmental awareness regarding the different processes related to agriculture should be improved, not only in terms of water management, but also those referring to the conservation of the soil and air pollution. These factors give rise to a better conservation of the water resources. Finally, a comprehensive management of the agricultural ecosystem is the only way to maintain the means of subsistence for future generations.

Third, undertaking the proposed investments, particularly the seawater desalination plant, requires a considerable volume of investment. According to the consensus reached, given the general interest in the conservation of the underground water bodies, while maintaining an agricultural production that supports a good part of the population in the

area of study, the best option is the development of a joint financing project between the administration and the entrepreneurs. In this way, the negative externality (negative result of agricultural activity not incorporated in its costs) generated with the overexploitation of the aquifer by the farmers would be internalised and the farmers would be compensated by the positive externality (positive result from agricultural activity not incorporated in its profits) generated by the creation of jobs and the securing of the rural population.

#### 4. Discussion

Among the different aspects that condition the sustainability of the agricultural productive model on the Hermosillo Coast, water supply is a pressing structural problem. This situation is aggravated by the impact of global climate change on temperature and rainfall patterns. Therefore, all actors involved agree that measures must be taken. This is mainly because producers are already aware of the decline in crop productivity due to high groundwater salinity, that is the only source of water for irrigation. Carrillo-Huerta and Gómez-Bretón [78] conducted a study on the evaluation of irrigation technology in a district with an overexploited aquifer in Puebla, Mexico. Among their results, they identified farmers and policy-makers as the key stakeholder groups in water resources management. These results are similar to those obtained in the present study. However, in their case, the path chosen to improve the management of water resources and the state of the aquifer was on the demand side, whereas in this study the focus was on increasing the supply of the resource. Dévora-Isiordia et al. [79] estimated an increase of one tonne per hectare in sorghum production by using desalinated water (0.1 dS/m) instead of brackish well water (10.3 dS/m) in the Yaki Valley, Sonora. In addition, these authors have tested the technical and economic feasibility of using desalinated water in the study area by comparing different technical developments [80]. Their results show that the price of desalinated water (obtained from brackish water) was 0.6 US\$/1000L, while for seawater it was 1.2 US\$/1000L. Other studies show that desalinated water can be more costly in monetary and energy terms when compared to other sources. A report comparing the cost of alternative water supply and efficiency options in California [81] cited that desalinated water was the most expensive source of water to groundwater at 2100\$/acre foot for large projects and 2800–4000\$/acre foot for smaller projects. The cheapest was captured stormwater (590\$/acre foot). The second least expensive was desalinated brackish water (requires less energy than to desalinate seawater). It is shown that reused water could be a more economical alternative source than desalinated seawater. The reason why reused water was not initially included as an alternative in this study was that in the study area there are 44 water treatment plants for reuse for industrial purposes and irrigation of gardens and green areas. Thus, its availability for agriculture is lower. However, the authors of this work propose this as a future line of research due to the fact that some of these plants are underused, the price differential indicated, and the improvement in the circularity of urban water that reuse would entail.

Rainwater harvesting systems, adapted to different types of agricultural practices, are widely developed, and have demonstrated their viability to supplement irrigation in semi-arid environments [76]. Loera-Alvarado et al. [82] conducted a study to test the suitability of runoff water for agricultural use in the State of San Luis Potosí. From their results, they concluded that the runoff water stored in earthen dams is of excellent quality for agricultural use (even in soils with very low permeability) and to grow crops sensitive to salinity and sodium. However, they indicate that it is necessary to assess water suitability in conjunction with the soil-climatic characteristics of the site in order to establish an appropriate management system for each specific case. This would be especially necessary in the case of combining runoff water with desalinated seawater, based on the proposal of this study. López-Hernández et al. [83] compare a rainwater harvesting system with groundwater abstraction for domestic and agricultural use in a municipality in the State of Tlaxcala, Mexico. Their results show that rainwater can be more economically viable than ground-water abstraction when demand is low. A future line of research could compare

the demand for the two types of water in the study area to establish the tipping point in the use of these two resources and influence demand control to minimise water use from the aquifer.

As already mentioned, in the area of study there is a regulation for the concession of the rights to extract groundwater for irrigation, establishing a maximum limit per farmer [39]. These rights are obtained through the User's Association of District 051 (AUDR, 051), up to the maximum allowed by law [63]. However, in practice this condition is not fulfilled. There is a lack of control in terms of the area that is irrigated with groundwater and the amount of water extracted by each concessionaire. On the other hand, the ownership structure of the land has enabled a small group of owners to control large areas [40]. This has given rise to the concentration, in parallel, of the water rights, and has relegated a large part of the population in the area to the role of day labourer. This, in turn, bestows a high degree of negotiating power to the private owners, with respect to the proletariat and the administration, given that their decisions have important repercussions on an environmental, economic and social level for the whole region. From a technical perspective, there is a lack of knowledge on the impact of the adoption of the practices proposed, due to their innovative nature in the area of study [84]. Furthermore, the scarcity of rainfall is a factor to consider, particularly in the case of the practice of rainfall harvesting. In the case of this specific practice, the development of scenarios to evaluate the technical and economic feasibility of the investment is much more relevant. Finally, from a social perspective, the short and medium-term economic criteria play a prominent role in decision-making. Conversely, the main social and environmental impacts are seen in the medium and long term [85]. Social impacts include inequality, job insecurity and deterioration of health, especially for the most vulnerable people [32]. Environmental impacts include the deterioration and depletion of water bodies, the transformation of the landscape, and infertility of the soil [6]. In this respect, there is a low level of awareness of the concept of sustainability among farmers. For their part, the labourers do not have the capacity to influence the decisions of the landowners. They receive low wages, which they supplement with subsistence farming on small, unproductive plots of land. In many cases, they are forced to migrate to improve their living conditions in the USA. Aznar-Sanchez et al. [86] studied the use of desalinated seawater as a measure to increase irrigation water supply and improve the sustainability of an overexploited aquifer in Spain. In their case, the main barriers on the farmers' side were the low level of knowledge about the impact of using this type of water, the increased costs (e.g. due to increased fertiliser use) and the price of water. These last two factors were not identified by the stakeholders in the present study.

Despite these barriers, the area of study has a series of facilitators for the adoption of sustainable practices in the management of water for irrigation. On the institutional level, there is a willingness to offer economic and technical consulting incentives for the adoption of technological innovation, leading to an improvement in exports, all under the umbrella of NAFTA. From a technical perspective, and also since the entry into force of NAFTA, the Costa de Hermosillo has experienced a process of innovation, on both a technological and organisational level [80]. The success of this process has generated great interest in continuous improvement among the farmers. Furthermore, during this period, ties have been established between the farmers through the official bodies and through professionals promoting common interests, such as water management or the marketing of products [39]. Carrillo-Huerta and Gómez-Bretón [78] identified technical assistance as the main contribution of public managers to the adoption of sustainable irrigation practices. On the farmers' side, these authors found that associationism around irrigation communities is the main facilitator towards sustainable management that allows aquifer recovery. In the same way, there is close contact between the agricultural business organisations and the Public Administration. These relationships constitute facilitators when designing legislative proposals and providing resources. Finally, as a result of the exporting activity and its attractiveness for investment, there is sufficient financial capacity to carry out the investments necessary to improve the agricultural production sector in the area of study,

provided that a return on the investment can be gained. Carrillo-Huerta and Gómez-Bretón [78] identified water price as a determining factor in irrigation management in their study from the demand side. This factor has not been pointed out by the stakeholders in our study from the supply side perspective. Aznar-Sanchez et al. [86] identified the possibility of crop diversification and the lack of availability of other alternative sources as the main facilitators for the use of desalinated seawater for irrigation.

Carrillo-Huerta and Gómez-Bretón [78] point out that the lack of consensus in the design and planning of irrigation management measures is the main reason for the current state of deterioration of the aquifer, the result of overexploitation. Therefore, although the proposal made in this paper may be ambitious, having the agreement of the main stakeholders is a positive starting point. The project to build a seawater desalination plant implies the mobilisation of a large amount of resources, not only for the desalination facility, but also for the channelling and transport of water. On the other hand, in 2017, the governor of the state of Sonora, Claudia Pavlovich, led a proposal for the construction of a desalination plant with a capacity of 6,307,200 m<sup>3</sup> per year devoted to human consumption [87]. This project has not yet been implemented. However, it is proof that the proposal made in this paper has broad support and the backing of the political class.

Finally, it should be noted that the main limitation of this study is its exploratory nature and the qualitative information on which it is based. Therefore, the development of a broad stakeholder survey is proposed as a future line of research. The purpose of this survey would be to verify the real support of all stakeholders for the proposal, as well as to identify any possible conflicting points that may be detected.

## 5. Conclusions

The objective of this study is to elaborate a proposal to improve the management of the water resources of the Costa de Hermosillo which would be able to: (i) improve the situation of overexploitation of the underground water bodies, (ii) contribute to the sustainability of the agricultural activity in the area, and (iii) reach a consensus between the different parties involved in order to guarantee the success of its implementation.

The results show that the main concern for different stakeholders to ensure the sustainability of an agricultural system in a semi-arid environment is the availability of water. Technology offers a variety of alternatives to try to increase water supply through sources other than overexploited water bodies. In systems based on the use of groundwater with seawater intrusion problems, alternative water sources such as desalinated seawater, rainwater, brackish water, and reclaimed municipal water are potential alternative sources for groundwater and surface waters.

The results also show that the principal driving factors for adopting innovations in the management of agricultural irrigation are the existence of institutional incentives for adopting sustainable practices; the continual process of technological innovation in which the sector is immersed; the good disposition of the farmers towards technical change; the collaboration relationships between the different stakeholders; and the financing capacity of the sector. The principal elements that hinder the adoption of these practices are the lack of regulation and the high level of non-compliance with the legislation in force; the structure of the current land ownership and the concentration of the water use rights; the lack of technical knowledge pertinent to the innovations proposed; the low level of rainfall; and the lack of environmental knowledge of the farmers.

The principal contribution of this study is a proposal designed by the farmers, policy-makers and researchers of the area to evaluate the implementation of rainwater harvesting systems and the construction of a seawater desalination plant. This proposal is based on three pillars of action: (i) the reduction of extractions, (ii) continuous cooperation and (iii) public-private financing. These pillars constitute the priority lines of work for stakeholders to carry out the plan designed to improve sustainability in the use of water resources for irrigation. Therefore, a strong commitment from all stakeholders in these three areas of action is essential. Furthermore, given that the concentration of land ownership in turn

leads to a concentration of water use rights, it would be desirable to update the forms of water governance in a way that it decouples land use from water use.

**Supplementary Materials:** The following supporting information can be downloaded at: <https://www.mdpi.com/article/10.3390/agronomy12010154/s1>. Supplementary Material 1: Analysis of the acceptance of sustainable practices in water management for the intensive agriculture of the Costa de Hermosillo (Mexico).

**Author Contributions:** Conceptualization, C.O.-N., J.F.V.-M., J.A.A.-S. and B.L.-F.; Formal analysis, C.O.-N. and J.F.V.-M.; Investigation, C.O.-N.; Methodology, C.O.-N., J.F.V.-M., J.A.A.-S. and B.L.-F.; Project administration, J.A.A.-S.; Supervision, J.F.V.-M. and J.A.A.-S.; Validation, J.F.V.-M., J.A.A.-S. and B.L.-F.; Writing—original draft, C.O.-N.; Writing—review & editing, J.F.V.-M., J.A.A.-S. and B.L.-F. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** This research received no external funding.

**Acknowledgments:** This research was partially supported by the Spanish Ministry of Economy and Competitiveness and the European Regional Development Fund by means of the research project ECO2017-82347-P, and from Junta de Andalucía and FEDER aid (project P18-RT-2327 and project UAL-2020-SEJ-D1931, Consejería de Transformación Económica, Industria, Conocimiento y Universidades). And by the FPU19/04549 Predoctoral Contract to Belén López-Felices.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest.

## References

- Koren, O.; Bagozzi, B.E.; Benson, T.S. Food and water insecurity as causes of social unrest: Evidence from geolocated Twitter data. *J. Peace Res.* **2021**, *58*, 67–82. [[CrossRef](#)]
- Oberle, B.; Bringezu, S.; Hatfeld-Dodds, S.; Hellweg, S.; Schandl, H.; Clement, J.; Cabernard, L.; Che, N.; Chen, D.; Droz-Georget, H.; et al. *Global Resources Outlook 2019: Natural Resources for the Future We Want. A Report of the International Resource Panel*; United Nations Environment Programme: Nairobi, Kenya, 2019. Available online: <https://www.resourcepanel.org/file/1161/download?token=gnbLydMn> (accessed on 12 July 2021).
- United Nations Department of Economic and Social Affairs Population Division (UNDESA). Probabilistic population Projections Based on the World Population Prospects: The 2019 Revision. New York, USA, 2019. Available online: <https://population.un.org/wpp> (accessed on 12 July 2021).
- Ceratti, M. *Dos Planetas Más Para Poder Vivir En Este*; World Bank: Washington, DC, USA, 2016. Available online: <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2016/08/09/objetivo-desarrollo-sostenible-ods-12-consumo> (accessed on 12 July 2021).
- Hunter, M.C.; Smith, R.G.; Schipanski, M.E.; Atwood, L.W.; Mortensen, D.A. Agriculture in 2050: Recalibrating targets for sustainable intensification. *Bioscience* **2017**, *67*, 386–391. [[CrossRef](#)]
- Laurett, R.; Paço, A.; Mainardes, E.W. Sustainable Development in Agriculture and its Antecedents, Barriers and Consequences—An Exploratory Study. *Sustain. Prod. Consum.* **2021**, *27*, 298–311. [[CrossRef](#)]
- Velasco-Muñoz, J.F.; Aznar-Sánchez, J.A. The economic valuation of ecosystem services in the agroecosystems in Spain: Conceptual framework and methodology. *Pecunia* **2016**, *22*, 75–93. [[CrossRef](#)]
- Velasco-Munoz, J.F.; Mendoza, J.M.F.; Aznar-Sanchez, J.A.; Gallego-Schmid, A. Circular economy implementation in the agricultural sector: Definition, strategies and indicators. *Resour. Conserv. Recycl.* **2021**, *170*, 105618. [[CrossRef](#)]
- Pedro-Monzón, M.; Solera, A.; Ferrer, J.; Estrela, T.; Paredes-Arquiola, J. A review of water scarcity and drought indexes in water resources planning and management. *J. Hydrol.* **2015**, *527*, 482–493. [[CrossRef](#)]
- Mancosu, N.; Snyder, R.L.; Kyriakakis, G.; Spano, D. Water scarcity and future challenges for food production. *Water* **2015**, *7*, 975–992. [[CrossRef](#)]
- Aznar-Sánchez, J.A.; Piquer-Rodríguez, M.; Velasco-Muñoz, J.F.; Manzano-Agugliaro, F. Worldwide research trends on sustainable land use in agriculture. *Land Use Pol.* **2019**, *67*, 104069. [[CrossRef](#)]
- Maxwell, S.L.; Fuller, R.A.; Brooks, T.M.; Watson, J.E.M. Biodiversity: The ravages of guns, nets and bulldozers. *Nature* **2016**, *536*, 143–145. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Kissinger, G.; Herold, M.; De Sy, V. *Drivers of Deforestation and Forest Degradation: A Synthesis Report for REDD+ Policymakers*; Lexeme Consulting: Vancouver, BC, Canada, August 2012. Available online: <https://www.cifor.org/knowledge/publication/5167/> (accessed on 25 July 2021).
- Forouzani, M.; Karami, E. Agricultural water poverty index and sustainability. *Agron. Sustain. Dev.* **2011**, *31*, 415–432. [[CrossRef](#)]
- Velasco-Muñoz, J.F.; Aznar-Sánchez, J.A.; Batlles-delaFuente, A.; Fidelibus, M.D. Sustainable Irrigation in Agriculture: An Analysis of Global Research. *Water* **2019**, *11*, 1758. [[CrossRef](#)]
- Aznar-Sánchez, J.A.; Velasco-Muñoz, J.F.; Belmonte-Ureña, L.J.; Manzano-Agugliaro, F. The worldwide research trends on water ecosystem services. *Ecol. Indic.* **2019**, *99*, 310–323. [[CrossRef](#)]

17. Aznar-Sánchez, J.A.; Belmonte-Ureña, L.J.; Velasco-Muñoz, J.F.; Manzano-Agugliaro, F. Economic analysis of sustainable water use: A review of worldwide research. *J. Clean. Prod.* **2018**, *198*, 1120–1132. [CrossRef]
18. Adeyemi, O.; Grove, I.; Peets, S.; Norton, T. Advanced monitoring and management systems for improving sustainability in precision irrigation. *Sustainability* **2017**, *9*, 353. [CrossRef]
19. Cunningham, S.A.; Attwood, S.J.; Bawa, K.S.; Benton, T.G.; Broadhurst, L.M.; Didham, R.K.; McIntyre, S.; Perfecto, I.; Samways, M.J.; Tschardtke, T.; et al. To close the yield-gap while saving biodiversity will require multiple locally relevant strategies. *Agric. Ecosyst. Environ.* **2013**, *173*, 20–27. [CrossRef]
20. Fu, H.Z.; Wang, M.H.; Ho, Y.S. Mapping of drinking water research: A bibliometric analysis of research output during 1992–2011. *Sci. Total Environ.* **2013**, *443*, 757–765. [CrossRef]
21. UNESCO. UN-Water, 2020: United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change, Paris, UNESCO. Available online: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000372985/PDF/372985eng.pdf.multi> (accessed on 25 July 2021).
22. Ochoa-Noriega, C.A.; Velasco-Muñoz, J.F.; Aznar-Sánchez, J.A.; Mesa-Vázquez, E. Overview of Research on Sustainable Agriculture in Developing Countries. The Case of Mexico. *Sustainability* **2021**, *13*, 8563. [CrossRef]
23. Ochoa-Noriega, C.A.; Aznar-Sánchez, J.A.; Velasco-Muñoz, J.F.; Álvarez-Bejar, A. The Use of Water in Agriculture in Mexico and Its Sustainable Management: A Bibliometric Review. *Agronomy* **2020**, *10*, 1957. [CrossRef]
24. Food and Agricultural Organization of the United Nations. *El sistema Alimentario en México—Oportunidades Para el Campo Mexicano en la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible*; FAO: Ciudad de México, Mexico, 2019. Available online: <http://www.fao.org/3/CA2910ES/ca2910es.pdf> (accessed on 25 July 2021).
25. Food, Agricultural and Fisheries Information Service. *2019 Food & Agriculture Overview*; SIAP: Mexico City, Mexico, 2019. Available online: [https://nube.siap.gob.mx/gobmx\\_publicaciones\\_siap/pag/2019/Agricultural-Atlas-2019](https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2019/Agricultural-Atlas-2019) (accessed on 21 July 2021).
26. World Trade Organization. World Trade Statistical Review. 2019. Available online: [https://www.wto.org/english/res\\_e/statistics/wts2019\\_e/wts19\\_toc\\_e.htm](https://www.wto.org/english/res_e/statistics/wts2019_e/wts19_toc_e.htm) (accessed on 21 July 2021).
27. Dyer, G.A.; Hernández-Solano, A.; Meza-Pale, P.; Robles-Berlanga, H.; Yúnez-Naude, A. Mexican agriculture and policy under NAFTA. In *Serie Documentos de Trabajo del Centro de Estudios Económicos 2018–04*; El Colegio de México, Centro de Estudios Económicos: Mexico City, Mexico, 2018.
28. Garduño-Rivera, R. Regional Economic Development in Mexico: Past, Present, and Future. In *NAFTA's Impact on Mexico's Regional Development*; New Frontiers in Regional Science: Asian, Perspectives; De León-Arias, A., Aroca, P., Eds.; Springer: Singapore, 2021; Volume 51. [CrossRef]
29. Sosa-Baldivia, A.; Ruíz-Ibarra, G. Food availability in Mexico: An analysis of agricultural production over the last 35 years and its projection for 2050. *Pap. Poblac.* **2017**, *23*, 207–230. Available online: <https://rppoblacion.uaemex.mx/article/view/9111> (accessed on 25 July 2021).
30. The World Bank. 2021. Available online: <https://data.worldbank.org/indicator/SL.AGR.EMPL.ZS?end=2019&locations=MX&start=1991> (accessed on 21 July 2021).
31. Oficina de la Presidencia de la República y Secretario Ejecutivo del Consejo Nacional de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Informe Nacional Voluntario para el Foro Político de Alto Nivel sobre Desarrollo SOSTENIBLE 2018. Bases y Fundamentos en México Para Una Visión del Desarrollo Sostenible a Largo Plazo. Avance en el cumplimiento de la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Available online: [http://www.agenda2030.mx/docs/doctos/InfNalVol\\_FPAN\\_DS\\_2018\\_es.pdf](http://www.agenda2030.mx/docs/doctos/InfNalVol_FPAN_DS_2018_es.pdf) (accessed on 4 August 2021).
32. Carrasco-Quintero, M.R.; Ortiz-Hernández, L.; Roldán-Amaro, J.A.; Chávez-Villasana, A. Desnutrición y desarrollo cognitivo en infantes de zonas rurales marginadas de México. *Gac. Sanit.* **2016**, *30*, 304–307. [CrossRef]
33. Solovieva, Y.; Quintanar, R.; Lázaro, G. Efectos socioculturales sobre el desarrollo psicológico y neurológico en niños preescolares. *Cuad. Hispanoam. Psicol. México* **2006**, *6*, 9–20.
34. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). *Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego, Año Agrícola 2017–2018*; CONAGUA: México D.F., Mexico, 2019. Available online: [https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/EAUR\\_2017-2018.pdf](https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/EAUR_2017-2018.pdf) (accessed on 4 August 2021).
35. Bracamonte, A.; Valle, N.; Méndez, R. La nueva agricultura sonorensis: Historia reciente de un viejo negocio. *Región Soc.* **2007**, *19*, 51–70. [CrossRef]
36. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Recursos Hidráulicos, Pesca y Acuicultura (SAGHARPA). Programa Sectorial de Mediano Plazo de Agricultura, Ganadería, Recursos Hidráulicos, Pesca y Acuicultura 2016–2021. Hermosillo, Mexico. 2016. Available online: [http://sagarhpa.sonora.gob.mx/portal\\_sagarhpa/images/archivos/PMP/PSMPAGRHPAPART1.pdf](http://sagarhpa.sonora.gob.mx/portal_sagarhpa/images/archivos/PMP/PSMPAGRHPAPART1.pdf) (accessed on 4 August 2021).
37. Camarena-Gómez, B.O.; Ochoa-Nogales, C.B.; Valenzuela-Quintanar, A.I. Comunicación y percepción del riego por compuestos orgánicos persistentes en jornaleros agrícolas de Sonora, México. *POLIS Rev. Latinoam.* **2014**, *13*, 275–300.
38. Bravo-Pérez, H.M.; Castro-Ramírez, J.C.; Magaña-Zamora, J.D.; Reyes-Martínez, A. Evaluación de políticas alternativas de suministro de agua en Hermosillo, Sonora, México. *Tecnol. Cien. Agua* **2013**, *4*, 163–169. Available online: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222013000200011](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222013000200011) (accessed on 25 July 2021).
39. Martínez-Peralta, C.M.; Moreno-Vázquez, L.M. Análisis de diseño institucional de las reglas de gestión de la Asociación de Usuarios del DR 051-Costa de Hermosillo. *Estud. Soc.* **2016**, *47*, 41–69.

40. Moreno-Vázquez, J.L. Por Debajo del Agua. In *Sobreexplotación y Agotamiento del Acuífero de la Costa de Hermosillo, 1945–2005*; El Colegio de Sonora: Hermosillo, Mexico, 2005; p. 507. ISBN 9686755551.
41. Martínez-Peralta, C.M. El Dilema de los Comunes en la Gran Irrigación El Caso del Acuífero de la Costa de Hermosillo, Sonora, México, 1970–2010. Ph.D. Thesis, Colegio de Sonora (COLSON), Hermosillo, Mexico, 2014.
42. Pérez-López, E.P. Los Sobrevivientes del Desierto: Producción y Estrategias de Vida Entre los Ejidatarios de la Costa de Hermosillo, Sonora (1932–2010). Ph.D. Thesis, UAM-Xochimilco, México City, Mexico, 2011.
43. Diario Oficial. Ley de Aguas Nacionales. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1992. Available online: [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lan/LAN\\_orig\\_01dic92\\_ima.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lan/LAN_orig_01dic92_ima.pdf) (accessed on 4 August 2021).
44. Lastiri-Hernández, M.A.; Álvarez-Bernal, D.; Moncayo-Estrada, R.; Cruz-Cárdenas, G.; Silva García, J.T. Adoption of phytodesalination as a sustainable agricultural practice for improving the productivity of saline soils. *Environ. Dev. Sustain.* **2021**, *23*, 8798–8814. [[CrossRef](#)]
45. Ramirez-Arias, A.; Campos-Salazar, V.; Pineda-Pineda, J.; Fitz-Rodríguez, E. Analysis of energy consumption for tomato production in low technology greenhouses of Mexico. *Acta Hortic.* **2020**, *1296*, 753–758. [[CrossRef](#)]
46. Diaz-Garza, A.M.; Fierro-Rivera, J.I.; Pacheco, A.; Schüßler, A.; Gradilla-Hernández, M.S.; Senés-Guerrero, C. Temporal Dynamics of Rhizobacteria Found in Pequin Pepper, Soybean, and Orange Trees Growing in a Semi-arid Ecosystem. *Front. Sustain. Food Syst.* **2020**, *4*, 602283. [[CrossRef](#)]
47. Gutiérrez-Moreno, M.; Sánchez-Atondo, A.; Mungaray-Moctezuma, A.; Salazar-Briones, C. Sustainability prospective for water resources in Northwestern Mexico: Use of recycled concrete for Agricultural purpose water supply. *Interciencia* **2020**, *45*, 370–377.
48. Pérez-Valladares, C.X.; Moreno-Calles, A.I.; Casas, A.; Rangel-Landa, S.; Blancas, J.; Caballero, J.; Velazquez, A. Ecological, cultural, and geographical implications of *Brahea dulcis* (Kunth) Mart. insights for sustainable management in Mexico. *Sustainability* **2020**, *12*, 412. [[CrossRef](#)]
49. Pérez, G.; Islas, J.; Guevara, M.; Suárez, R. The sustainable cultivation of Mexican nontoxic *Jatropha curcas* to produce biodiesel and food in marginal rural lands. *Sustainability* **2019**, *11*, 5823. [[CrossRef](#)]
50. Padilla-Bernal, L.E.; Lara-Herrera, A.; Vélez-Rodríguez, A.; Loureiro, M. Sustainability and environmental management in the Mexican vegetable sector. *Acta Hortic.* **2019**, *1258*, 163–170. [[CrossRef](#)]
51. Díaz-José, J.; Guevara-Hernandez, F.; Rodríguez-Larramendi, L.A.; Nahed-Toral, J.; Pinto-Ruiz, R.; Coss, A.L.; Aguirre-López, J.M. Vulnerability, innovation and social resilience in the maize (*Zea mays* L.) production: The case of the conservation tillage club of Chiapas, Mexico. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* **2018**, *21*, 399–408.
52. León, A.; Agustín, A.; Sulvaran, J. The myth behind sustainable african palm crop. Socio-environmental impacts of palm oil in Chiapas, Mexico. *Int. J. Ecol. Dev.* **2017**, *32*, 1–19.
53. Vallejo-Ramos, M.; Moreno-Calles, A.I.; Casas, A. TEK and biodiversity management in agroforestry systems of different socio-ecological contexts of the Tehuacán Valley. *J. Ethnobiol. Ethnomed.* **2016**, *12*, 31. [[CrossRef](#)]
54. García, L.B.; Dávila, J.P.; Acosta, F.O.; Lizán, S.S.; Acuña, I.J.; López, F.G. Degree of sustainability of rural development in subsistence, intermediate, and comercial farmers, under an autopoietic view point. *Rev. Cient.* **2009**, *19*, 650–658.
55. Wisser, D.; Frolking, S.; Douglas, E.M.; Fekete, B.M.; Schumann, A.H.; Vörösmarty, C.J. The significance of local water resources captured in small reservoirs for crop production—A global-scale analysis. *J. Hydrol.* **2010**, *384*, 264–275. [[CrossRef](#)]
56. Queirós, A.; Faria, D.; Almeida, F. Strengths and limitations of qualitative and quantitative research methods. *Eur. J. Educ. Stud.* **2017**, *3*, 369–387. [[CrossRef](#)]
57. Kuntosch, A.; König, B.; Bokelmann, W.A. Systemic Perspective to Horticultural Innovation—The Case of Energy Saving Innovations in German Horticulture Proc. II International Symposium on Horticulture in Europe ed J-C Mauget and S Godet. *Acta Hortic.* **2015**, *1099*, 503–510. [[CrossRef](#)]
58. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2020). Actualización de la Disponibilidad Media anual de Agua en el Acuífero Costa de Hermosillo (2619) Estado de Sonora 2020. Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas. Comisión Nacional del Agua: México D.F., Mexico. Available online: [https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos\\_Acuiferos\\_18/sonora/DR\\_2619.pdf](https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/sonora/DR_2619.pdf) (accessed on 6 August 2021).
59. Díaz-Caravantes, R.E.; Bravo-Peña, L.C.; Alatorre-Cejudo, L.C.; Sánchez-Flores, E. Presión antropogénica sobre el agua subterránea en México: Una aproximación geográfica. *Investig. Geográficas* **2013**, *82*, 93–103. Available online: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46112013000300007&script=sci\\_abstract](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46112013000300007&script=sci_abstract) (accessed on 25 July 2021). [[CrossRef](#)]
60. Olavarrieta-Carmona, M.V. Beneficios de la cuota energética. Estudio de caso de la Costa de Hermosillo, Sonora, México, 2006–2007. *Región Soc.* **2010**, *22*, 146–164. Available online: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-39252010000100007](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-39252010000100007) (accessed on 25 July 2021). [[CrossRef](#)]
61. Hernández-Pérez, J.L. Los Cambios en el Patrón de Cultivos en Sonora a Partir del Proceso de Restauración Agrícola en México: El Caso de la Costa de Hermosillo. Master’s Thesis, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), Hermosillo, Mexico, 2012.
62. Manzanares-Rivera, J.L. Calidad de los recursos hídricos en el contexto de la actividad económica y patrones de salud en Sonora, México. *Salud Colect.* **2016**, *12*, 397–414. [[CrossRef](#)]
63. Flick, U. *Designing Qualitative Research*; SAGE Publications Ltd.: New York, NY, USA, 2007; ISBN 9780761949763. [[CrossRef](#)]
64. Grant, M.J.; Booth, A. A typology of reviews: An analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Inf. Libr. J.* **2009**, *26*, 91–108. [[CrossRef](#)]



65. Velten, S.; Leventon, J.; Jager, N.; Newig, J. What is sustainable agriculture? A systematic review. *Sustainability* **2015**, *7*, 7833–7865. [CrossRef]
66. Reiter, B. Theory and Methodology of Exploratory Social Science Research. *Int. J. Soc. Res. Methodol.* **2017**, *5*, 129–150. Available online: [http://scholarcommons.usf.edu/gia\\_facpub/132](http://scholarcommons.usf.edu/gia_facpub/132) (accessed on 25 July 2021).
67. Qu, S.Q.; Dumay, J. The qualitative research interview. *Qual. Res. Acc. Manag.* **2011**, *8*, 238–264. [CrossRef]
68. Næss, P. Validating explanatory qualitative research: Enhancing the interpretation of interviews in urban planning and transportation research. *Appl. Mobilities* **2018**, *5*, 186–205. [CrossRef]
69. Rosenthal, M. Qualitative research methods: Why, when, and how to conduct interviews and focus groups in pharmacy research. *Curr. Pharm. Teach. Learn.* **2016**, *8*, 509–516. [CrossRef]
70. DiCicco-Bloom, B.; Crabtree, B.F. The qualitative research interview. *Med. Educ.* **2006**, *40*, 314–321. [CrossRef]
71. Ahmed, S.; Asraf, R.M. The workshop as a qualitative research approach: Lessons learnt from a “critical thinking through writing” workshop. *Turk. Online J. Des. Art Commun.* **2018**, *September 2018 Special Edition*, 1504–1510. [CrossRef]
72. MacMillan, D.C.; Marshall, K. The Delphi process—An expert-based approach to ecological modelling in data-poor environments. *Anim. Conserv.* **2006**, *9*, 11–19. [CrossRef]
73. Coleman, S.; Hurley, S.; Koliba, C.; Zia, A. Crowdsourced Delphis: Designing solutions to complex environmental problems with broad stakeholder participation. *Glob. Environ. Chang.* **2017**, *45*, 111–123. [CrossRef]
74. Oreszczyn, S.; Carr, S. Improving the link between policy research and practice: Using a scenario workshop as a qualitative research tool in the case of genetically modified crops. *Qual. Res.* **2008**, *8*, 473–497. [CrossRef]
75. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. *Captación y Almacenamiento de Agua de Lluvia—Opciones Técnicas Para la Agricultura Familiar en América Latina y el Caribe*; FAO: Santiago, Chile, 2013; ISBN 978-92-5-307580-5.
76. Velasco-Muñoz, J.F.; Aznar-Sánchez, J.A.; Batlles de la Fuente, A.; Fidelibus, M.D. Rainwater harvesting for agricultural irrigation: An analysis of global research. *Water* **2019**, *11*, 1320. [CrossRef]
77. Aznar-Sánchez, J.A.; Belmonte-Ureña, L.J.; Velasco-Muñoz, J.F.; Valera, D.L. Aquifer sustainability and the use of desalinated seawater for greenhouse irrigation in the Campo de Nijar, Southeast Spain. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2019**, *16*, 898. [CrossRef]
78. Carrillo-Huerta, M.M.; Gómez-Bretón, E. La tecnología en el uso sustentable del agua para riego en México. El caso del acuífero de Tecamachalco, Puebla, 2017. *Panor. Econ.* **2020**, *15*, 27–56. [CrossRef]
79. Dévora-Isiordia, G.E.; López, M.; Fimbres, G.; Álvarez, J.; Astorga, S. Desalación por ósmosis inversa y su aprovechamiento en la agricultura en el valle del Yaqui, Sonora, México. *Tecnol. Cien. Agua* **2016**, *3*, 155–169. Available online: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222016000300155](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222016000300155) (accessed on 25 July 2021).
80. Dévora-Isiordia, G.E.; González-Enríquez, R.; Ruiz-Cruz, S. Evaluación de procesos de desalinización y su desarrollo en México. *Tecnol. Cienc. Agua* **2013**, *4*, 27–46.
81. Cooley, H.; Phurisamban, R. The Cost of Alternative Water Supply and Efficiency Options in California. Pacific Institute: Oakland, CA, USA, 2016; ISBN 978-1-893790-75-9.
82. Loera-Alvarado, L.A.; Torres-Aquino, M.; Martínez-Montoya, J.F.; Cisneros-Almazán, R.; Martínez-Hernández, J.J. Calidad del agua de escorrentía para uso agrícola captada en bordos de almacenamiento. *Ecosistemas Recur. Agropecu.* **2019**, *6*, 283–295. [CrossRef]
83. López-Hernández, N.A.; Palacios-Vélez, O.L.; Anaya-Garduño, M.; Chávez-Morales, J.; Rubiños-Panta, J.E.; García-Carrillo, M. Diseño de sistemas de captación del agua de lluvia: Alternativa de abastecimiento hídrico. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* **2017**, *8*, 1433–1439. Available online: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342017000601433&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342017000601433&lng=es&tlng=es) (accessed on 25 July 2021). [CrossRef]
84. Villa-Rodríguez, A.O.; Bracamonte-Sierra, A. Procesos de aprendizaje y modernización productiva en el agro noroeste de México: Los casos de la agricultura comercial de la Costa de Hermosillo, Sonora y la agricultura orgánica de la zona sur de Baja California Sur. *Estud. Front.* **2013**, *27*, 217–254. Available online: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-69612013000100008](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-69612013000100008) (accessed on 25 July 2021). [CrossRef]
85. Yáñez-Quijada, A.I.; Camarena-Gómez, B.O. Salud ambiental en localidades agrícolas expuestas en plaguicidas en Sonora. *Soc. Ambiente* **2019**, *7*, 55–82. [CrossRef]
86. Aznar-Sánchez, J.A.; Belmonte-Ureña, L.J.; Velasco-Muñoz, J.F.; Valera, D.L. Farmers’ profiles and behaviours toward desalinated seawater for irrigation: Insights from South-east Spain. *J. Clean. Prod.* **2021**, *296*, 126568. [CrossRef]
87. Gobierno de Sonora. Desaladora Sonora. Available online: <https://desaladora.sonora.gob.mx/> (accessed on 2 December 2021).

JCR YEAR

2020

# Agronomy-Basel

Open Access since 2011

ISSN

N/A

EISSN

2073-4395

JCR ABBREVIATION

AGRONOMY-BASEL

ISO ABBREVIATION

Agronomy-Basel

## Journal information

EDITION

Science Citation Index Expanded (SCIE)

CATEGORY

AGRONOMY - SCIE

PLANT SCIENCES - SCIE

LANGUAGES

English

REGION

SWITZERLAND

1ST ELECTRONIC JCR YEAR

2017

## Publisher information

PUBLISHER

MDPI

ADDRESS

ST ALBAN-ANLAGE 66, CH-4052 BASEL, SWITZERLAND

PUBLICATION FREQUENCY

12 issues/year

The Journal Impact Factor (JIF) is a journal-level metric calculated from data indexed in the Web of Science Core Collection. It should be used with careful attention to the many factors that influence citation rates, such as the volume of publication and citations characteristics of the subject area and type of journal. The Journal Impact Factor can complement expert opinion and informed peer review. In the case of academic evaluation for tenure, it is inappropriate to use a journal-level metric as a proxy measure for individual researchers, institutions, or articles. [Learn more](#)

2020 JOURNAL IMPACT FACTOR

3.417

[View calculation](#)

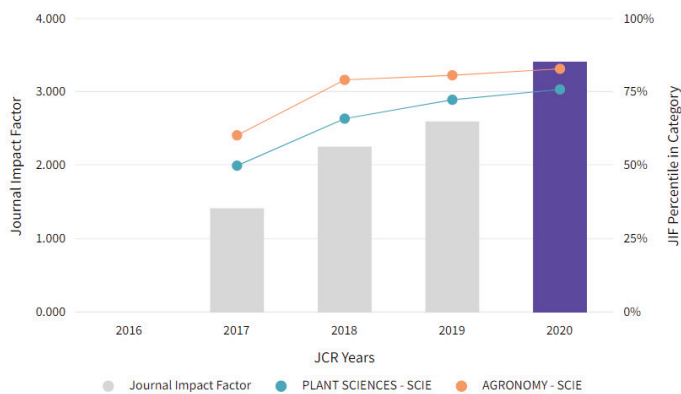
JOURNAL IMPACT FACTOR WITHOUT SELF CITATIONS

2.671

[View calculation](#)

## Journal Impact Factor Trend 2020

Export



## Journal Impact Factor contributing items

Export

Citable items (1,189)

Citing Sources (776)

TITLE	CITATION COUNT
Potassium: A Vital Regulator of Plant Responses and Tolerance to Abiotic Stresses	55
Biostimulants Application in Horticultural Crops under Abiotic Stress Conditions	45
Plant Biostimulants: Importance of the Quality and Yield of Horticultural Crops and the Improvement of Plant Tolerance to Abiotic Stress-A Review	33
Increasing Sustainability of Growing Media Constituents and Stand-Alone Substrates in Soilless Culture Systems	26
ACC Deaminase Producing PGPR <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> and <i>Agrobacterium fabrum</i> along with Biochar Improve Wheat Productivity	24
An Update on the Impact of Climate Change in Viticulture and Potential Adaptations	23
Microalgal Biostimulants and Biofertilisers in Crop Productions	23
Root Phenotyping for Drought Tolerance: A Review	22

## Rank by Journal Impact Factor

Journals within a category are sorted in descending order by Journal Impact Factor (JIF) resulting in the Category Ranking below. A separate rank is shown for each category in which the journal is listed in JCR. Data for the most recent year is presented at the top of the list, with other years shown in reverse chronological order. [Learn more](#)

EDITION  
Science Citation Index Expanded (SCIE)

CATEGORY  
AGRONOMY  
16/91

JCR YEAR	JIF RANK	JIF QUARTILE	JIF PERCENTILE
2020	16/91	Q1	82.97
2019	18/91	Q1	80.77
2018	19/89	Q1	79.21
2017	35/87	Q2	60.34

EDITION  
Science Citation Index Expanded (SCIE)

CATEGORY  
PLANT SCIENCES  
57/235

JCR YEAR	JIF RANK	JIF QUARTILE	JIF PERCENTILE
2020	57/235	Q1	75.96
2019	65/234	Q2	72.44
2018	78/228	Q2	66.01
2017	112/223	Q3	50.00

Supplementary Material 1.

ANALYSIS OF THE ACCEPTANCE OF SUSTAINABLE PRACTICES IN WATER MANAGEMENT FOR THE INTENSIVE AGRICULTURE OF THE COSTA DE HERMOSILLO (MEXICO)

PHASE 2. Semi-structured expert interviews.

Open-ended question blocks:

1. Contextualisation of the case study.
2. Current situation of the agricultural production model in the study area.
3. Regulation applicable to the case study (land ownership, development of agricultural activity, and irrigation water use).
4. Main obstacles to sustainability in the agricultural production model. Analysis of threats and opportunities.
5. Analysis of the agricultural production model in the case study (strengths and weaknesses, main actors).
6. Possible practices to be implemented to improve the situation and overcome the obstacles of the agricultural production model in terms of sustainability.
7. Main drivers for the adoption of the proposed sustainable practices (barriers and facilitators).
8. Possible measures to achieve the widespread adoption of practices capable of improving the sustainability of the agricultural production model in the study area.

Breakdown of possible questions to address each block of questions:

1. Contextualisation of the case study.
  - a. What was the situation of the agricultural production model prior to NAFTA?
  - b. What have been the main impacts on the study area following NAFTA?
    - i. Economics.
    - ii. Environmental.
    - iii. Social.
2. Current situation of the agricultural production model in the study area.
  - a. Main stakeholders involved.
  - b. Land tenure structure.
  - c. Workforce.
  - d. Financial capacity.
  - e. Main crops.
  - f. Future projection.
  - g. Income distribution.
3. Regulation applicable to the case study (land ownership, development of agricultural activity, and irrigation water use).
  - a. Regarding ownership of land and exploitation of the means of production.
  - b. In terms of water resources.
  - c. Regarding agricultural management and the natural environment.
4. Main obstacles to sustainability in the agricultural production model. Analysis of threats and opportunities.
  - a. What are the main external challenges facing the agricultural model?
  - b. What about internal challenges?

- c. What are the main external opportunities for the model?
  - d. What about internal opportunities?
- 5. Analysis of the agricultural production model in the case study (strengths and weaknesses, main actors).
  - a. What are the main strengths of the model in meeting the challenges?
  - b. What are the main weaknesses of the model to ensure its sustainability?
- 6. Possible practices to be implemented to improve the situation and overcome the obstacles of the agricultural production model in terms of sustainability.
  - a. On land management.
  - b. Regarding the use of inputs.
  - c. Regarding water use.
  - d. Regarding the use of machinery.
  - e. In terms of manpower.
  - f. Regarding varieties and crops.
  - g. Regarding the handling and transport of goods.
  - h. With regard to marketing.
- 7. Main drivers for the adoption of the proposed sustainable practices (barriers and facilitators).
  - a. In terms of stakeholders.
  - b. In the legal field.
  - c. In terms of financing.
  - d. Regarding the level of environmental awareness.
  - e. In terms of technical expertise.
  - f. In terms of technology availability.
- 8. Possible measures to achieve the widespread adoption of practices capable of improving the sustainability of the agricultural production model in the study area.
  - a. In terms of stakeholders.
  - b. In the legal field.
  - c. In terms of financing.
  - d. Regarding the level of environmental awareness.
  - e. In terms of technical expertise.
  - f. In terms of technology availability.



UNIVERSIDAD DE ALMERÍA  
PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS  
HUMANAS Y SOCIALES



UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS

HUMANAS Y SOCIALES

