

# **FASCÍCULO 4.** **El Agua en la** **agricultura: riego,** **producción urbana,** **innovación y conflictos** **ambientales**

**Coordinación:**

Ignacio Ocampo Fletes

Jorge Flores Velázquez

Ana Alicia Palacios Fonseca

# **LA CRISIS DEL AGUA EN EL SIGLO XXI: PERSPECTIVAS Y SOLUCIONES**

## **DIRECTORIO**

### **EL COLEGIO DE TLAXCALA, A. C.**

Dr. Serafín Ríos Elorza

**Presidente**

Dr. Wilfrido Gutiérrez Ortiz

**Secretario Técnico**

Dra. Adriana Montserrat Pérez Serrano

**Directora Académica**

Dra. Ivonne Virginia Campos Rico

**Secretaria de Investigación**

Lic. Mayra Vazquez Velazquez

**Director Administrativo**

Lic. Karen Janeth Tirado Portilla

**Coordinadora de Comunicación Social**

Mtro. Arturo Juárez Martínez

**Coordinador Editorial**

# LA CRISIS DEL AGUA EN EL SIGLO XXI: PERSPECTIVAS Y SOLUCIONES

María de Lourdes Hernández Rodríguez  
Ignacio Ocampo Fletes  
Ángel David Flores Domínguez

*Coordinadores generales*



Primera edición: Julio 2024

©El Colegio de Tlaxcala, A. C.

El Colegio de Tlaxcala, A. C.

Melchor Ocampo No. 28

C.P. 90600, San Pablo Apetatitlán, Tlaxcala

Tel.: (01 246) 46 4 58 74, 46 4 77 25, 46 4 77 26 Ext. 202

Correo electrónico: [elcolegiodetlaxcala@coltlax.edu.mx](mailto:elcolegiodetlaxcala@coltlax.edu.mx)

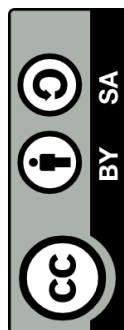
Diseño de interiores: Rafael Cruz Sánchez

Diseño de forros: Alejandro Ángel López Abriz

Todas las personas que participaron en este libro revisaron y aprobaron la versión final de su contribución para su publicación y difusión.

Las opiniones expresadas en las contribuciones de este texto corresponden exclusivamente a sus autores y no reflejan necesariamente las de El Colegio de Tlaxcala, A. C.

ISBN: 978-607-7673-98-9



¡Copia este libro!

Este libro se publica bajo una licencia CC BY-SA, lo cual significa que usted puede copiarlo, redistribuirlo, remezclarlo, transformarlo y construir sobre su contenido para cualquier propósito, incluso comercial, mientras dé el crédito apropiado, provea un enlace a la licencia, e indique si se realizaron cambios.

Si remezcla, transforma, o construye sobre el material, debe distribuir sus contribuciones bajo el mismo licenciamiento que el material original.

Detalles de licenciamiento:

<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

Compartir no es delito.

**FASCÍCULO 4**  
**EL AGUA EN LA AGRICULTURA:**  
**RIEGO, PRODUCCIÓN URBANA,**  
**INNOVACIÓN Y CONFLICTOS**  
**AMBIENTALES**

Ignacio Ocampo Fletes  
Jorge Flores Velázquez  
Ana Alicia Palacios Fonseca

*Coordinadores*

# Índice

<b>Presentación</b>	8
Ignacio Ocampo Fletes	
Jorge Flores Velázquez	
Ana Alicia Palacios Fonseca	
<b>Gestión del riego en la unidad de riego del río Yautepec</b>	13
René Gadea Noguerón	
<b>Acequias para el regadío comunitario en el distrito de riego 096</b>	29
Acela Montes de Oca-Hernández	
Jacinta Palerm-Viqueira	
<b>Pequeños regadíos ancestrales. Represas y bordos en la estancia, Actopan, Hidalgo, México</b>	43
Emmanuel Galindo Escamilla	
Rosa Josefina Bárcenas Argüello	
<b>La comarca lagunera, el distrito de riego 017 y los acuíferos</b>	58
Jacinta Palerm-Viqueira	
Carlos Chairez Araiza	

<b>Riesgo por inundación en zonas agrícolas</b>	82
Michell Deyanira Cruz Santiago	
Rodrigo Roblero Hidalgo	
<b>La calidad del agua en el río Magdalena de la Ciudad de México</b>	94
Abraham Rojano Aguilar	
Jorge Flores Velázquez	
Raquel Salazar Moreno	
Luis Miranda Trujillo	
<b>Tecnificación y modernización de unidades de riego: análisis hidráulico-caso de estudio</b>	105
Erick Dante Mattos Villarroel	
Carlos Francisco Bautista Capetillo	
Cruz Ernesto Aguilar Rodríguez	
Javier Martínez Reyes	
Jorge Flores Velázquez	
<b>Producción agrícola y requerimiento hídrico en Smart Cities</b>	122
Jorge Flores Velázquez	
Ana Alicia Palacios Fonseca	
Abraham Rojano	
Ernesto Aguilar	



## PRESENTACIÓN

El agua es un elemento natural indispensable para toda forma de vida en el planeta; es esencial para los seres humanos, la biodiversidad y el medio ambiente. A pesar de la cantidad de agua en el planeta, la humanidad enfrenta problemas con el agua dulce: escasez, contaminación, abasto insuficiente e inoportuno y desigual distribución (FIDA-IICA, 2021). Estos son desafíos importantes en el desarrollo de las personas y de las comunidades, y deterioran los agroecosistemas productores de alimentos y servicios para la población.

El agua en la agricultura es central para alimentar a la población. La agricultura de regadío ocupa el 70% del agua dulce que se extrae para regar el 20% del total de la superficie cultivada y aporta el 40% de la producción total de alimentos en el mundo; sin embargo, el crecimiento de la población, la urbanización y el cambio climático son algunas causas por la que aumentará la competencia por el agua, e impactarán a la agricultura que tiene el reto de aumentar la producción en un 70% para el 2050, para satisfacer de alimentos a la población en crecimiento (Banco Mundial, 2022).

En México, el área con infraestructura que permite el riego es de aproximadamente 6.5 millones de hectáreas, de las cuales 3.3 millones corresponden a 86 distritos de riego (DR) y los 3.2 millones restantes a más de 40 mil unidades de riego (UR), dos enfoques administrativos y organizativos para la gestión del agua en la agricultura; los DR son considerados proyectos desarrollados por el gobierno federal, y las UR de menos superficie son sistemas de gestión autónoma para operar las obras de infraestructura hidráulica para la captación, derivación, conducción, regulación y distribución (CONAGUA, 2019).

Ante problemas como escasez y contaminación del agua, variabilidad en el cambio climático y la necesidad de aumentar la producción de alimentos para la población, se ha planteado avanzar hacia la gestión sostenible del agua y de los agroecosistemas.

Esto implica trabajar en forma integrada en procesos de administración y distribución del agua, conservación de la infraestructura, participación y organización social, normatividad, gobernanza e innovaciones tecnológicas para hacer eficiente el uso del agua en la agricultura.

En el presente fascículo “el agua en la agricultura: riego, producción urbana, innovación y conflictos ambientales” se presentan ocho contribuciones: dos enfocadas a la capacidad de organización y autogestión de los usuarios de las unidades de riego para operar la infraestructura y el agua, a diferencia del manejo con la intervención del Estado; en el mismo sentido se presenta un trabajo que muestran la capacidad autogestiva en los regadíos ancestrales. Tres estudios analizan problemas ambientales en acuíferos y ríos, y uno de ellos, estima las áreas agrícolas con riesgo de inundaciones; finalmente dos proponen cambios tecnológicos en el riego y en el uso de agua para la producción en zonas urbanas, ambos encaminados al ahorro del agua. Una síntesis de cada contribución se describe a continuación:

**René Gardea Noguerón**, en su contribución titulada “Gestión del riego en la unidad de riego del río Yautepec”, analiza el uso común del agua en el riego, las relaciones que se generan y el marco legal de distribución como elementos para la eficiencia del uso del agua, con el objetivo de conocer el nivel de capacidades organizativas desarrolladas por los usuarios para gestionar el riego. El estudio muestra la capacidad organizativa y administrativa de los usuarios para gestionar la infraestructura y el agua para riego, en un sistema organizativo complejo en el que intervienen diferentes actores. También muestra la capacidad de desempeño de las organizaciones cuando funcionan de manera autónoma, a diferencia de aquellas donde interviene el Estado, encontrando que estas últimas son más débiles. Concluye que existen diferentes formas organizativas entre los usuarios, y las más autogestivas se caracterizan por la participación de los usuarios en la construcción de sus acuerdos y la cooperación en la gestión de la infraestructura y del agua.

**Acela Montes de Oca-Hernández y Jacinta Palerm Viqueira**, en su estudio “Acequias para el regadío comunitario en el Distrito de Riego 096”, analizan el papel que desempeñan los regantes a nivel de una acequia comunitaria frente a la participación de los usuarios en una Asociación Civil en un módulo de un Distrito de Riego. Las autoras describen la infraestructura para la distribución del agua del módulo por medio de niveles y subniveles desde la presa hasta las parcelas, las escalas de medición del agua,

la planeación para la distribución del agua y las cadenas cortas para la distribución de agua, diferenciando el modelo comunitario del modelo burocrático en los que participan diferentes actores. Concluyen que, en el módulo de estudio, en el modelo comunitario son importantes la comunicación y la organización de los implicados basados en la cultura, mientras que en la política de los DR existe un discurso técnico, político y económico.

**Emmanuel Galindo Escamilla y Rosa Josefina Bárcenas Argüello**, en su contribución “Pequeños regadíos ancestrales. Represas y bordos en la estancia, Actopan, Hidalgo, México”, exploran la presencia de pequeñas obras de regadío que conservan infraestructura hidráulica, organización social para su manejo, técnicas agrícolas y cultivos.

Su estudio se enfoca al regadío no convencional, con obras de tierra y piedra sobre lechos de arroyos secos que acumulan agua de lluvia que se utiliza como riego de auxilio para los cultivos, y a los regadíos ancestrales sustentados en una organización social campesina y técnicas ecológicas. El estudio muestra la presencia de cuatro represas para almacenamiento de agua, la infraestructura para la conducción del agua para el riego, el tandeo, los pagos por el derecho al riego, los cultivos y las variedades de semillas criollas.

Concluyen que estas obras son importantes para el riego agrícola donde los ejidatarios mantienen capacidad de gestión para su manejo, y que las técnicas se usan desde el reparto agrario, producto del conocimiento local heredado entre generaciones.

**Jacinta Palerm y Carlos Cháirez**, presentan el estudio “La Comarca Lagunera, el Distrito de Riego 017 y los acuíferos”, en el que analizan la historia ambiental de la Comarca Lagunera de los últimos 150 años. Examinan cómo la transformación de las obras de riego como la construcción de presas y la perforación de pozos, producto de las políticas públicas han deteriorado el ambiente y han afectado a la población, los suelos, las plantas y los animales. Reportan que antes de la construcción de presas se utilizó la técnica de entarquinamiento en cajas de agua que favorecen la infiltración del agua; luego se construyeron las presas de almacenamiento y finalmente la extracción de aguas subterráneas con pozos profundos causando abatimiento de las aguas, desecación de la laguna y manantiales y presencia de arsénico en aguas de consumo humano. Lo anterior llevó a la tecnificación del riego de aguas subterráneas que provocó costos crecientes de energía y, por otro lado, presencia de arsénico. Concluyen que las políticas públicas y la legislación no han dotado de suficientes herramientas o han sido equivocadas para evitar el abatimiento del acuífero.

**Michell Deyanira Cruz Santiago y Rodrigo Roblero Hidalgo** presentan el trabajo “Riesgo por inundación en zonas agrícolas”, en el que estimaron por medio de la modelación hidráulica las áreas agrícolas con riego de inundaciones en la cuenca del río Metztitlán, logrando establecer el criterio de riesgo y un mapa de riesgo. Concluyen que la construcción del mapa de riesgo se obtuvo en términos monetarios, producto de la combinación de los parámetros que afectan los cultivos. Para un análisis más completo de la cuantificación del riesgo en un D.R., sería de gran valor contar con el patrón de cultivos, costos de producción, valor de la cosecha, rendimientos, información precisa de los ciclos productivos y el diagnóstico de la infraestructura.

**Abraham Rojano Aguilar, Jorge Flores Velázquez, Raquel Salazar Moreno y Luis Miranda Trujillo**, con su contribución “La calidad del agua en el río Magdalena de la ciudad de México”, analizan la evolución de la calidad del agua del río Magdalena en la ciudad de México. Los resultados muestran estabilidad de los flujos en los últimos 20 años variando entre 0.2 y 0.4 m<sup>3</sup>/s y el movimiento del agua a través del medio ambiente afecta la concentración y distribución de los contaminantes y los nutrientes en el agua. Se concluye que, enfocándose en solo una variable como la concentración de oxígeno, se puede profundizar más allá de los valores promedio pensando en cómo se mide y cuál es su modelación o limitaciones con la combinación de las ecuaciones de Saint Venant (modelación de flujo) junto con las de transporte como (HEC-RAS para multiespecies en 3 dimensiones para solutos). También existe la posibilidad de hacer pequeños programas computacionales en Python o cualquier otro lenguaje donde se puede obtener solo relaciones muy simplificadas del fenómeno.

**Erick Dante Mattos Villarroel, Carlos Francisco Bautista Capetillo, Cruz Ernesto Aguilar Rodríguez, Javier Martínez Reyes y Jorge Flores Velázquez**, presentan el trabajo “Tecnificación y modernización de unidades de riego: análisis hidráulico-caso de estudio” en el que analizan con el software EPANET 2.0, la tecnificación de la unidad de riego de Cuxpala, municipio de Moyahua, Zacatecas. La baja eficiencia en el uso del agua llevó a plantear un diseño hidráulico presurizado para la modernización y tecnificación de la unidad de riego. Los resultados indican que deben utilizarse en su mayoría tuberías de PVC de clase 5 y de clase 7 para las zonas donde se existen presiones cercanas a los 50 mca, los diámetros óptimos varían de 4” a 24” con velocidades de 0.51 m s<sup>-1</sup> a 3 m s<sup>-1</sup> y presiones de 0.3 a 50 mca, se propone una

operación del sistema con máximo de 15 hidrantes para 4 puertas. Se concluye que el uso de programas computacionales para el desarrollo del diseño de sistemas de riego, en especial para zonas accidentadas, permiten obtener y analizar distintos escenarios y resultados de diferentes puntos del modelo numérico de manera escalár, como mapa de contornos o gráficas, previa validación del modelo.

Finalmente, **Jorge Flores Velázquez, Ana Alicia Palacios Fonseca, Abraham Rojano y Ernesto Aguilar**, presentan la contribución “Producción agrícola y requerimiento hídrico en smart cities” en el que analizan la producción de cultivos en zonas urbanas con la introducción de técnicas disruptivas implantadas como modelos agrícolas, conocidos como fábricas de plantas, granjas verticales, muros y azoteas verdes; la visión de esta tecnología se enfoca al uso eficiente del recurso agua y reducción de contaminación en el transporte. Se concluye que las nuevas tendencias en horticultura consideran herramientas tecnológicas, el uso de microsensores, controladores, actuadores, luces artificiales, etc., en tanto, la permanencia en este mercado demanda conocimientos fisiológicos de las plantas, modelos matemáticos, manejo del cultivo y conocimiento de las variables del clima.

Como puede observarse, el conjunto de trabajos, plantean una serie de problemas en torno al recurso agua en el riego agrícola, y al mismo tiempo aportan elementos para su posible solución. Por otro lado, abren la posibilidad para continuar reflexionando sobre el debate teórico, metodológico y empírico, y aportar soluciones a la problemática del agua de uso agrícola desde un enfoque integral: ambiental, social, cultural y político, que contribuyan a la producción de alimentos y al desarrollo de los territorios agrícolas, por medio de la gestión sostenible del agua.

Ignacio Ocampo Fletes; Colegio de Postgraduados, Campus Puebla (México)

Jorge Flores Velázquez; Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo (México)

Ana Alicia Palacios Fonseca; Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (México)

# **GESTIÓN DEL RIEGO EN LA UNIDAD DE RIEGO DEL RÍO YAUTEPEC**

René Gadea Noguerón

## **Resumen**

El riego es el principal uso de las aguas del río Yautepec. Sin embargo, los recursos de uso común como el agua, tienen que ver con la colectividad para su aprovechamiento, por lo que las relaciones entre usuarios y el marco legal que rigen la distribución de aguas definen la eficiencia del uso del recurso.

**Palabras clave:** administración, organización, usuarios.

## **Introducción**

La administración de las aguas del río Yautepec, habría sido hecha de manera central desde 1927, siendo en un principio las Juntas de Aguas las encargadas de llevar a cabo la distribución de agua para el riego. La Junta de Aguas del río Yautepec, perduraría hasta la creación del Distrito de Riego (DR) Morelos 016 en 1954, conformando sobre el río Yautepec los módulos de riego del Alto Yautepec y el Bajo Yautepec, ocupando las primeras siete tomas de riego y a tres manantiales (Guzmán, 2007). Varias reestructuraciones administrativas posteriores a nivel nacional, conllevaron a que en 1989 se creara la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), y en la década de los 90 se establece el Programa de Transferencia de los Distritos de Riego en el país (Palerm-Viqueira y Martínez-Saldaña, 2009). Este proceso se dio en 1997 en la unidad de riego del río Yautepec, que consistía en transferir

a los usuarios las responsabilidades de administrar, mantener y operar la infraestructura hidroagrícola, a lo que los usuarios de los módulos de riego del Alto y Bajo Yautepec, se opusieron fuertemente, argumentando no estar dispuestos a recibir una infraestructura hidráulica en mal estado y a aumentar las cuotas por el riego, ante dicha oposición, la CONAGUA utilizó la figura de desincorporación para transformar dichos módulos como la unidad de riego del río Yautepec, entregando la unidad a los usuarios en el año 2001 para ser operada de manera autogestiva (CONAGUA, 2010). Estos cambios en el modelo administrativo que se vivió sobre el río Yautepec, sirven de marco para entender la situación actual que se presenta en la unidad de riego Yautepec.

Actualmente la unidad de riego del río Yautepec presenta una diversidad organizativa para el manejo del agua, derivada de los procesos sufridos por los reglamentos legales para la administración de las aguas desde el Estado, mismas que impactaron en la organización de los usuarios a nivel local para dar continuidad a sus actividades agrícolas de riego. Dados los factores sociales y ambientales presentes en el río Yautepec, se realizó una investigación sobre las interacciones entre los usuarios con el marco legal y otro tipo de elementos que intervienen en la productividad del campo, como la producción y comercialización de los productos, así como las condiciones ambientales favorables para su cultivo, que definen la agricultura de riego y las formas locales de gestionar el recurso. Por lo que entender las estrategias desarrolladas en torno a estos elementos, nos permitirá como objetivo, conocer el nivel de capacidades organizativas desarrolladas por los usuarios para gestionar los riegos dentro de los espacios de la unidad de riego del río Yautepec.

## **Marco conceptual**

Como unidad de análisis de los sistemas de riego se utilizaron tres variables relacionadas al estudio de los sistemas de riego y las implicaciones para su función; estas variables se refieren a: 1) el sistema de riego, 2) el tamaño de ese sistema de riego, y 3) la estructura de autoridad que administra ese sistema de riego (niveles organizativos) (Hunt, 1988, en Palerm-Viqueira y Martínez-Saldaña, 2009).

### *Sistema de riego*

Palerm-Viqueira *et al.* (2000), proponen que una definición más acertada sobre el concepto de sistema de riego es la propuesta por Hunt (1988), definido como el curso del agua a partir de una toma hasta la parcela, la cual elimina la incertidumbre causada por las situaciones diferentes que se presentan en el manejo del agua para riego.

### *Tamaño del sistema de riego*

Hunt (1988), lo define como la extensión (medida en ha) de los campos que son regados a partir de una obra de boca toma, es decir, desde una fuente natural hasta la última parcela que se riega, excluye las obras de cabecera como las presas. Palerm-Viqueira (2009), establece una clasificación de tamaños de sistemas de riego, los cuales manifiestan igualmente diferentes tipos de administración en relación a su “tamaño”. Define como de pequeño riego a los que no sobrepasan las 5,000 ha, medianos de 5,000 a 20,000 ha, grandes son los mayores a las 20,000 ha y muy grandes a los que se establecen en más de 500,000 ha.

### *Niveles organizativos*

El nivel organizativo implica formas de organización para la administración del sistema de riego, que pueden ser a nivel de una comunidad, cuando a partir de un depósito de la comunidad, se deriva la red de canales hasta las parcelas. Un nivel organizativo multicomunitario implica que desde un partidador se desvía agua a tres o cuatro comunidades y el canal es compartido hasta los partidores de cada comunidad. Otro nivel es cuando un conjunto de comunidades comparte la misma toma de agua de un río, por último, se considera un nivel organizativo cuando una burocracia hidráulica maneja la presa de derivación (Palerm-Viqueira, 2001).



### *Estructura de la autoridad que administra el sistema*

De manera convencional la tipología de administración de los sistemas de riego está dada por el Estado (burocrática) o por los propios regantes (autogestiva). La administración por el Estado es aquella en la que el Estado sustenta el centro de autoridad y la operación del sistema la hace personal especializado contratado por éste. La administración por los propios regantes (autogestión) es aquella en la que el centro de autoridad está en los regantes mismos, pero con personal especializado contratado para la administración y operación del sistema de riego (burocrático). Una tercera propuesta de Palerm-Viqueira (2001), deriva de la administración autogestiva, en la que son los propios regantes quienes realizan ellos mismos las tareas fundamentales que impone el sistema de riego (no burocrática).

### *La organización social en los sistemas de riego*

Como señala Hunt (1988), diversas tareas de trabajo universalmente encontradas han sido identificadas en sistemas de riego por canales, que incluyen la construcción del sistema físico, la captura de agua del medio, el reparto del agua una vez capturada, mantenimiento del sistema físico, solución de conflictos, y contabilidad (Hunt, 1988, en Palerm-Viqueira y Martínez-Saldaña, 2009). Por lo que interesa conocer si estas tareas están en manos de los regantes o en manos del Estado, deslindando los niveles organizativos existentes en relación con la estructura física del sistema de riego o red. Es decir, los límites entre autogestión y la presencia e intervención del Estado. Y establecer si estas tareas permiten la continuidad del sistema (Palerm-Viqueira *et al.*, 2000).

## **Metodología**

Para el desarrollo de la investigación se obtuvieron datos de campo y de gabinete. El trabajo de campo consistió en hacer recorridos en el área de estudio. Se aplicaron entrevistas con preguntas cerradas, semiabiertas y abiertas a autoridades del riego, fontaneros y a usuarios, para profundizar sobre las formas organizativas locales. Se hizo una identificación y ubicación de la infraestructura hidráulica por medio de planos

y georreferencias. El trabajo de campo se apoyó con registros en diario de campo y registros fotográficos.

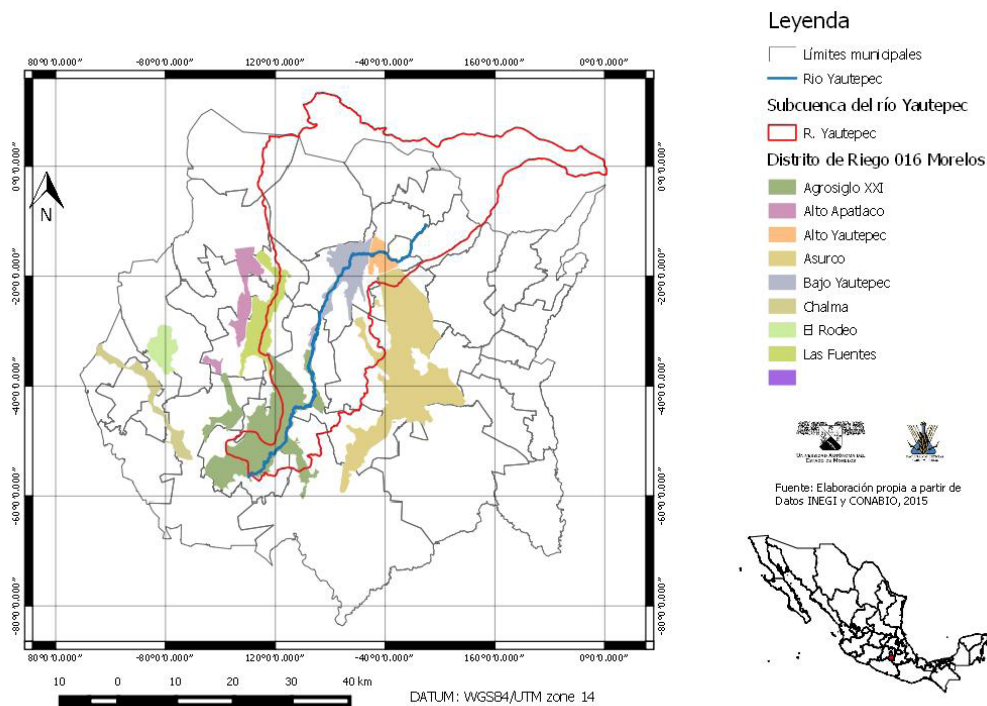
En gabinete se consultaron fuentes bibliográficas referentes al tema de estudio. Se analizaron los sistemas de información geográfica de diferentes fuentes como CONAGUA, INEGI, CONABIO, INE y CEA, para establecer y delimitar la ubicación del área de estudio y documentar las características abióticas, bióticas y socioeconómicas de la zona. Se analizaron las normas y leyes que rigen la distribución de las aguas del río Yautepec.

### Ubicación del área de estudio

La unidad de riego del río Yautepec, formó parte del Distrito de Riego 016 (Figura 1), conformando los módulos de riego del Alto Yautepec y del Bajo Yautepec; se localiza al centro norte del Estado de Morelos, en la cuenca hidrológica alta del río Yautepec, ocupando principalmente ejidos del municipio de Yautepec.

**Figura 1**

*Distrito de Riego 016 Morelos y Subcuenca del río Yautepec*



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INEGI y la CONABIO, 2015.

### Descripción del área de estudio

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo en el área de riego del río Yautepec, considerando los límites administrativos que la CONAGUA establece para conformar la Unidad de Riego del río Yautepec y las organizaciones de usuarios que la componen (Figura 2), como unidad de análisis. En cuya delimitación se contemplan siete presas derivadoras directas del río y tres manantiales, conformando 10 zonas de regadío dentro de esta Unidad de Riego, con una superficie de 3,179.67 ha en su conjunto y unas 300 ha en promedio por zona (CONAGUA, 2015).

**Figura 2**

*Unidad de riego del río Yautepec*



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del RAN, 2015, y datos generados en google earth, 2018.

## **Resultados y discusión**

La unidad de riego Yautepec, cuenta con 10 zonas de riego de acuerdo a la clasificación que hace la CONAGUA en el Plan Director de esta unidad (CONAGUA, 2015). Sin embargo, en términos analíticos se tomó en cuenta el concepto de sistema de riego de Hunt (1988), definido como: el curso del agua a partir de la Toma hasta la última parcela que se riega, a partir de esto determinamos que la unidad se compone de 13 sistemas de riego, ya que, en la zona de riego de la Toma número 5 existen dos canales de riego que se derivan a partir de la presa, uno que lleva agua al margen izquierdo del río y otro que deriva agua hacia el margen derecho, y del manantial El Michate, por medio de un distribuidor, se derivan tres canales de riego (El Michate, El Baño y El Marqués), los cuales riegan áreas independientes con infraestructura hidráulica propia y que no comparten agua; conformando 8 sistemas de riego que son del río Yautepec y 5 sistemas pertenecientes a los manantiales, considerando la superficie, también se determinó que los sistemas de riego pertenecen al pequeño regadío. Dentro del análisis de la organización social, determinamos que los sistemas de riego son manejados por diversos grupos de usuarios, los cuales conforman variadas estructuras organizativas para administrar localmente y de forma autónoma los espacios de riego que poseen, establecidos en base a los límites ejidales o comunales. En ciertos casos dentro de un mismo sistema de riego o hidráulico, se pueden presentar varios de estos sistemas organizativos (multicomunitarios), como ocurre en Tomas como la 1, compuesta por los ejidos de Cocoyoc, Oaxtepec y Cuauhtempan, la Toma 2 por los ejidos de Oaxtepec, Amatlipac, Los Laureles y La Cañada, la Toma 3 por los ejidos de Itzamatitlán, San Carlos, Yautepec, El Caracol y una pequeña propiedad, la Toma 4 por el ejido de Yautepec y una pequeña propiedad, la Toma 5 presenta tres sistemas organizativos, dos del ejido de Yautepec y uno del ejido de San Carlos, y el sistema de riego del manantial El Michate presenta cuatro sistemas organizativos, tres del ejido de Oacalco y uno del ejido de Yautepec. Algunos sistemas de riego son administrados desde la bocatoma hasta la última parcela por un sólo sistema organizativo (comunitarios) como son: la Toma 6 de pequeña propiedad (Col. Diego Ruíz), la Toma 7 administrada por un grupo de usuarios del ejido de Yautepec, el manantial Ahuilicán por el ejido de Tlayca y el manantial Los Otates por el ejido de Tlayacapan. De esta forma se identificaron la presencia de 25 sistemas organizativos dentro de la unidad de riego Yautepec.

Se encontró que los pequeños regadíos de la unidad de riego Yautepec, ya operaban en forma autogestiva desde el reparto agrario y cuya gestión local continuó hasta el presente, a pesar de que en la década de los 50's fueron incorporados al DR 016 Morelos con su creación, en un esfuerzo del Estado por centralizar su control. Como menciona Jiménez (1997), en el contexto nacional esta situación se habría dado por el impulso que se dio a la gran irrigación en el país, dejando de lado al pequeño riego, por lo que estas pequeñas unidades persistirían en manos de los propios productores hasta la actualidad. Con las políticas de transferencia de los grandes Distritos de Riego, el número de grupos de usuarios que administran sus propios sistemas de riego seguramente se incrementa, por lo que resulta interesante conocer la situación que guardan estos pequeños regadíos en su organización local.

### *Estructura Administrativa*

La estructura administrativa en cada sistema de la unidad de riego Yautepec es diferente, ya que cada grupo de usuarios ha desarrollado estrategias particulares de autogestión de manera independiente de las otras comunidades, para garantizar el riego a sus cultivos y el beneficio que se obtiene de una distribución equitativa del agua, existiendo diferencias administrativas en cada sistema organizativo, como por ejemplo, están los sistemas donde el comisariado ejidal tiene una mayor presencia y articulación en la estructura de autoridad con los usuarios, como ocurre en las organizaciones de los ejidos de Cocoyoc (sección de riego en la Toma 1) y Oaxtepec (secciones de riego en las Tomas 1 y 2). Aquellos sistemas donde el consejo de vigilancia juega un papel importante en la administración de la distribución del agua, en los casos de los ejidos de La Cañada (sección de riego en la Toma 2), Amatlipac (sección de riego en la Toma 2), Los Laureles (sección de riego en la Toma 2), Cuauhtempan (sección de riego en la Toma 1), Itzamatitlán (sección de riego en la Toma 3), San Carlos (secciones de riego en las Tomas 3 y 5) y El Caracol (sección de riego en la Toma 3).

Algunos sistemas organizativos tienen constituido un comité de agua para la administración, como ocurre en los ejidos de Tlayca (manantial Ahuilicán) y Tlayacapan (manantial Los Otates), o una Mesa Directiva encargada de la distribución del agua y representación de los usuarios como en la Toma 7 del ejido de Yautepec. En la Toma 6 de

pequeña propiedad (Col. Diego Ruiz), el presidente de la Colonia toma la responsabilidad, pero en la actualidad esta representación no funciona por lo que el fontanero (persona encargada de entregar el agua a los usuarios) mantiene el control del recurso.

Hay otros casos en donde a falta de autoridades y una organización sólida de usuarios, el fontanero es el administrador y responsable directo de la distribución del agua, principalmente en las áreas de riego que pertenecen al ejido de Yautepec (secciones de riego en las Tomas 3, 4, 5 y sección de riego del canal El Marqués del manantial El Michate). En el caso del ejido de Oacalco (canal El Michate, canal el Baño y en su sección de riego en el canal El Marqués del manantial El Michate) se ha observado un proceso dinámico, en el que la autonomía con que se venían desempeñando sus fontaneros cambia, ante una transformación de obligaciones con la nueva administración ejidal electa en 2018, quien ahora exige rendición de cuentas y estrecha su vigilancia sobre de ellos, con el propósito de mejorar la distribución y terminar con una serie de conflictos por distribución de agua, que venían ocurriendo principalmente en el canal El Michate, sin embargo, la situación del ejido antes de este cambio, se desconoce la dirección que pueda tomar este proceso. Como se puede observar no existe una regularidad en las formas de administrar el agua en cada área de riego.

No obstante, se encontró que la única regularidad que se encuentra en la administración, es que en casi todos los casos el fontanero es el encargado de entregar el agua en las parcelas, es quién mantiene un contacto directo con los usuarios y es la única persona autorizada para abrir y cerrar compuertas para poder desarrollar esta actividad, pero su papel es diferente en cada uno de los sistemas de riego.

En algunos casos el fontanero cobra a los usuarios directamente por otorgar los turnos de riego, pero bajo vigilancia de la autoridad ejidal o de la pequeña propiedad (ejidos de San Carlos, Itzamatitlán, El Caracol y la pequeña propiedad de la Toma 3), en estos casos los cobros a los usuarios representan sus ingresos por la función que desempeña. En otros sitios el fontanero actúa de manera autónoma, por la ausencia de una autoridad del agua y el cual cobra a los usuarios por otorgar los turnos de riego, lo que representa de igual forma sus ingresos y tiene la responsabilidad de organizar el mantenimiento de los canales y la bocatoma, como ocurre en el ejido de Yautepec (secciones de riego en las Tomas 3, 4, 5 y sección de riego en el manantial El Michate), en la Col. Diego Ruiz (Toma 6 de pequeña propiedad) y la pequeña propiedad de la Toma 4. En el ejido de Oacalco (manantial El

Michate), hasta antes del año 2018, el fontanero se manejaba de manera autónoma, quien a partir de entonces ya es vigilado por el consejo de vigilancia y el comisariado del ejido. En otras situaciones, el fontanero administra los turnos de riego sin cobrar a los usuarios, ya que recibe un pago del ejido y sus actividades son vigiladas por el comisariado y consejo de vigilancia ejidos de Cocoyoc (sección de riego de la Toma 1) y Oaxtepec (secciones de riego en las Tomas 1 y 2). En los ejidos de La Cañada (sección de riego de la Toma 2), Amatlipac (sección de riego de la Toma 2), Los Laureles (sección de riego de la Toma 2) y Cuauhtempan (sección riego de la Toma 1), el presidente del consejo de vigilancia (de cada ejido) toma el papel de fontanero, administra y entrega el agua para los riegos (cada uno en su área de cultivo) y los usuarios no pagan o le pueden dar un aporte simbólico para cubrir algunos gastos, pero el puesto es marcadamente honorífico. En otras ocasiones, el fontanero sólo se dedica a entregar el agua por indicaciones de un comité de agua, el cual es contratado por este comité, que le destina un salario a partir de los cobros que hace por los turnos de riego, esto se presenta en el caso de los ejidos de Tlayca (manantial Ahuilicán) y Tlayacapan (manantial Los Otates). En la Toma 7 (ejido de Yautepec) es la Mesa Directiva la que controla al fontanero mediante un pago.

La representación del comisariado ejidal en sistemas organizativos como La Cañada, Amatlipac, Los Laureles, Cuauhtempan, El Caracol, Itzamatitlán, Oacalco, Cocoyoc y Oaxtepec, hoy día sigue teniendo relevancia entre los usuarios, quienes reconocen su autoridad frente a la organización para el riego, no obstante, hay una degradación de esta autoridad ejidal en sistemas organizativos como Yautepec, San Carlos, Tlayca y Tlayacapan, quienes han transferido la representación del riego a un comité, una Asociación Civil, una Mesa directiva o a los fontaneros en el caso de algunas secciones de riego del ejido de Yautepec. Por ejemplo, en 1996 los usuarios del ejido de Yautepec desconocieron la autoridad del comisariado sobre los riegos, tratando de transferir el control en otro tipo de figuras de carácter jurídicas y ajenas a las costumbres locales, como una Asociación Civil en la Toma 4, una Mesa Directiva en la Toma 7, que a la fecha no han sido funcionales. En el año 2000, se crea un Comité de Agua para administrar el riego en el ejido de Tlayca, dejando de lado la personalidad del comisariado ejidal y en el ejido de Tlayacapan se constituye también un Comité de Agua, pero en este caso con participación del comisariado ejidal, en los ejidos de Itzamatitlán y San Carlos el comisariado tiene poca presencia ante los usuarios y son los consejos de vigilancia

quienes asumen mayor responsabilidad en los asuntos del riego y la supervisión de los fontaneros, ya que la figura de comisariado ejidal mantiene mayor contacto hacia el exterior de la organización, enfocado a hacer gestiones para la comunidad (de tipo urbano) y los ejidatarios (apoyos al campo) (Cuadro 1).

### *Proceso de centralización-descentralización de la unidad de riego Yautepec*

La complejidad organizativa que se presenta actualmente en la unidad de riego Yautepec, tiene que ver con los procesos sufridos en los reglamentos legales para la administración de las aguas por el Estado de manera central. Con la Desincorporación de la unidad de riego Yautepec en 2001, los grupos de usuarios quedaron totalmente a cargo de sus sistemas de riego, sin influencia de las instituciones de gobierno, esto permitió que los grupos de usuarios tomaran decisiones sobre sus áreas de riego, por lo que se observan dos hechos como resultado de este proceso:

- 1) El fortalecimiento de las organizaciones locales, principalmente aquellas que estuvieron menos influenciadas con la presencia de las instituciones de gobierno, que les permitió el desarrollo de mayores capacidades autogestivas al interior de sus organizaciones, principalmente de los sistemas de riego aguas arriba (Tomas 1, 2, 3, manantial Ahuilicán y de Los Otates) que corresponden a 14 grupos de usuarios de los ejidos de Cocoyoc, Cuauhtempan y Oaxtepec de la Toma 1, Amatlipac, La Cañada, Los Laureles y Oaxtepec de la Toma 2, El Caracol, Itzamatitlán, San Carlos, Yautepec y pequeña propiedad de la Toma 3, el ejido de Tlayca del manantial Ahuilicán y el ejido de Tlayacapan del manantial Los Otates, cuya organización se construye con una participación activa de los usuarios en la elección de sus representantes y en la toma de decisiones. Una autoridad interna (local), puede ser controlada por los mismos usuarios de manera democrática, impidiendo que esta autoridad tome decisiones arbitrarias (Maass y Anderson, 2010).



### Cuadro 1

Autoridad constituida (Gobierno local) hasta el año 2017

Sistemas de riego (Comunitarios* y multicomunitarios**)	Sistemas organizativos (Ejidos <sup>1</sup> y pequeña propiedad <sup>2</sup> )	Con presencia en el sistema organizativo de:								
		Comisariado	Consejo de Vigilancia	Comité de Agua	AC/MD (Presidente)	Fontanero				
						Honorífico	Controlado	Semicontrolado	Con control limitado	Autónomo
Manantial Los Otates*	Tlayacapan <sup>1</sup>	X	X	✓ X			X			
Manantial Ahuicán*	Tlayca <sup>1</sup>		X	✓ X			X			
Toma 1**	Cocoyoc <sup>1</sup>	X	X					✓ X		
	Oaxtepec <sup>1</sup>	X	X					✓ X		
	Cuauhtempan <sup>1</sup>	X	X			✓ X				
Toma 2**	Oaxtepec <sup>1</sup>	X	X					✓ X		
	Amatlipac <sup>1</sup>	X	X			✓ X				
	Los Laureles <sup>1</sup>	X	X			✓ X				
	La Cañada <sup>1</sup>	X	X			✓ X				
Toma 3**	El Caracol <sup>1</sup>	X	X						✓ X	
	Itzamatitlán <sup>1</sup>	X	X						✓ X	
	San Carlos <sup>1</sup>	X	X						✓ X	
	Cocoyoc (Pequeña propiedad <sup>2</sup> )				Pres.				✓ X	
	Yautepec <sup>1</sup>									✓ X
Toma 4**	Yautepec <sup>1</sup>									✓ X
	Pequeña propiedad <sup>2</sup>				+ AC					✓ X
Toma 5**	Canal derivación izquierda**	X	X	San Carlos <sup>1</sup>					✓ X	
	Canal derivación derecha*			Yautepec <sup>1</sup>						✓ X
Toma 6*	Col. Diego Ruiz <sup>2</sup>				+ Pres.				✓ X	
Toma 7*	Yautepec <sup>1</sup>				✓ MD		X			
Manantial El Michate**	Canal El Michate*	Oacalco <sup>1</sup>	X	X						✓ X
	Canal El Baño*	Oacalco <sup>1</sup>	X	X						✓ X
	Canal El Marqués**	Oacalco <sup>1</sup>	X	X						✓ X
		Yautepec <sup>1</sup>								✓ X
✓ Otorga los turnos de riego * Ejido que representa el sistema de riego según CONAGUA 2015a + Estas AC y Presidencia no administran el recurso actualmente										
Nivel Bajo del conflicto por distribución del agua Nivel Medio del conflicto por distribución del agua Nivel Alto del conflicto por distribución del agua										

Los niveles del conflicto por distribución de agua se categorizaron en base ausencia o baja incidencia con resolución a corto plazo, se presentan pero se resuelven en el mediano plazo y, se presentan con mayor frecuencia y su resolución es a largo plazo o no se resuelven.

Fuente: Elaboración propia a partir de información recabada en campo, 2015-2017.

2) El debilitamiento de organizaciones autónomas, sobre todo aquellas más influenciadas por la presencia de las instituciones gubernamentales antes de la desincorporación, como son las de las Tomas 4, 5, 6, 7 y el manantial El Michate, donde se registra un menor control sobre el recurso y menor participación de los usuarios en la elección de sus representantes y en la toma de decisiones, lo que genera conflictos frecuentes por distribución. Estas áreas de riego pertenecen a siete grupos de usuarios que corresponden a los ejidos de Oacalco y Yautepec (manantial El Michate), Yautepec y pequeña propiedad (Toma 4), Yautepec (Toma 5), la pequeña propiedad de la Col. Diego Ruiz (Toma 6) y el ejido de Yautepec (en la Toma 7), situados aguas abajo del río Yautepec. La influencia de las instituciones oficiales en algunos sistemas de riego, ocasionó mayor dependencia hacia esta presencia para la organización local de grupos de usuarios, disminuyendo la capacidad de desarrollar procesos autogestivos sólidos, lo que lleva a que usuarios más intervenidos tengan mayor disposición por aceptar el proceso de transferencia, o sea más fácil que acepten las disposiciones del Estado o se nieguen a abandonar esta relación por sentirse mayormente respaldados por las instituciones oficiales (marco jurídico) para su funcionamiento.

*Propuesta de reincorporación (constitución de una Sociedad de Responsabilidad Limitada)*

Desde el año 2013 y a la actualidad, los usuarios del riego de la unidad enfrentan la propuesta de CONAGUA de reintegrarse al proceso de transferencia, rechazado oficialmente en 2001, mediante la conformación de una S. de R. L., no obstante, la propuesta no es vista como una ventaja por los usuarios que sí mantienen el control en el recurso, siendo más bien un medio político aprovechado por usuarios que tienen dificultades en el control de los usuarios y el agua, que ven en esto una forma de recuperar la administración y mantener mayor influencia en los usuarios a través de los recursos económicos que se dispongan por la federación, esta diferencia de intereses ha impedido que se consolide el proceso.

## Conclusiones

Históricamente la unidad de riego Yautepec, es resultado del proceso que desde la federación intenta unificar la operación y distribución del agua para facilitar administrativamente su control, primero con su centralización, al constituir los módulos del Distrito de Riego 016 Morelos, y después con el proceso de transferencia, descentralizar, pero con el sentido de mantener el control en el recurso y en las organizaciones locales, al conservar su presencia a través de proveer recursos federales a una administración central que unifique las siete Tomas y los tres manantiales que componen la unidad de riego del río Yautepec. Sin embargo, en la unidad de riego del río Yautepec, determinamos tres condiciones que se registran en algunos grupos con administraciones autónomas, sólidas y funcionales que resultan claves para el manejo adecuado del recurso y la resolución inmediata de los conflictos, las cuales son:

- 1) tener un gobierno y una administración estructurada, electos por los usuarios,
- 2) que los usuarios y la administración tengan el control sobre el recurso y el personal y,
- 3) que la participación de los usuarios sea democrática y activa.

La ausencia de agentes externos en la administración propicia una auto-organización, como se da en los sistemas de riego de esta unidad, los grupos de usuarios que han manejado el recurso de manera autónoma por mayor tiempo, han podido ajustar acuerdos locales eficientes, mientras que los que han estado mayormente intervenidos. Ahora han comenzado a experimentar un rumbo que les ayude a incorporar alternativas que den solución a los problemas del reparto del agua, mediante la participación en la organización local.

La gestión para el reparto del agua en los sistemas de riego, fue un eje primario en la presente investigación, las formas organizativas encontradas sobre esta gestión, difieren entre cada organización de usuarios. Como organizaciones diferenciadas podemos decir que la unificación de la unidad de riego del río Yautepec, como lo plantea una S. de R.L. (visión del Estado), no necesariamente conlleva a mejorar la productividad del campo con la implementación de conceptos de modernidad o tecnificación del riego, ya que implica cambios radicales en las costumbres locales comunitarias para el manejo del agua y del

paisaje agrario, centralizar la administración que hacen los ejidos y comunidades en sus espacios de riego por su cuenta, significa perder el control del recurso y su distribución, no poder participar en la toma de decisiones y en la construcción de acuerdos locales precisos, ni en las labores de mantenimiento, que a fin de cuentas la cooperación arraiga el derecho al uso de la infraestructura hidráulica y del recurso, y otorga el reconocimiento de los demás a ese derecho que se ha fomentado con la participación de cada miembro del grupo, a través de los abuelos, padres y los hijos que heredan la tierra, el agua y ese derecho a participar en la construcción del sistema social y físico del riego, en cada uno de los espacios que conforman la unidad de riego del río Yautepec.

## **Bibliografía**

- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2010. Programa Hídrico Visión 2030 del Estado de Morelos. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, D.F. 161 p.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2015. Plan director de la Unidad de Riego del río Yautepec de la 1ª a la 7ª Toma en el municipio de Yautepec, Estado de Morelos. 143 p.
- Guzmán Ramírez, N. B. 2007. La junta de aguas de la barranca de Tetecalita o Agua Dulce. Antecedentes de la gestión del agua en el módulo de Las Fuentes en el Distrito de Riego 016 del Estado de Morelos. *Boletín del Archivo Histórico del Agua* 12: 48-60.
- Hunt, R. C. 2009. Sistemas de riego por canales: tamaño del sistema y estructura de la autoridad (1988). pp. 47-77. En: Palerm-Viqueira, J. y T. Martínez-Saldaña (Eds). Aventuras con el agua. La administración del agua de riego: historia y teoría. Colegio de Postgraduados. Texcoco, México.
- Jiménez, L. 1997. Presentación del libro: Antología sobre el pequeño riego Volumen I. pp. 5-12. En: Tomás Martínez Saldaña y Jacinta Palerm Viqueira (Eds). Antología sobre el pequeño riego Volumen I. Colegio de Postgraduados. México, D.F.
- Maass, A. y R. Anderson. 2010. Los desiertos reverdecen. Estudio comparativo de la gestión del riego en el Mediterráneo español y el oeste norteamericano. Generalitat Valenciana y Biblioteca Valenciana. Valencia, España. 221 p.

- Palerm-Viqueira, J., T. Martínez-Saldaña y F. Escobedo. 2000. Modelo de investigación: organización social de sistemas de riego en México. pp. 31-62. En: Palerm-Viqueira, J. y Martínez-Saldaña, T. (Eds.). Antología sobre pequeño riego Vol. II, Organizaciones autogestivas. Colegio de Postgraduados y Plaza y Valdés. México, D.F.
- Palerm-Viqueira, J. 2001. Administración de sistemas de riego: tipos de Autogestión (nuevas noticias). ANEI A.C. Del 19 al 21 de septiembre de 2001. Guanajuato, Guanajuato, México. pp. 26-35.
- Palerm-Viqueira, J. 2009. Distritos de riego en México, algunos mitos. pp. 277-327. En: Palerm-Viqueira, J. y T. Martínez-Saldaña. (Eds.). Aventuras con el agua. La administración del agua de riego: historia y teoría. Colegio de Postgraduados. Texcoco, México.
- Palerm-Viqueira, J., T. Martínez-Saldaña. 2009. Aventuras con el agua la administración del agua de riego: historia y teoría. Colegio de Postgraduados. Montecillo (Texcoco), México. 436 p.

# ACEQUIAS PARA EL REGADÍO COMUNITARIO EN EL DISTRITO DE RIEGO 096

Acela Montes de Oca-Hernández  
Jacinta Palerm-Viqueira

## Resumen

La transferencia de los distritos de riego, a finales del siglo XX y en las primeras décadas del siglo XXI, supone el debilitamiento del gobierno burocrático y, participación efectiva de asociación de regantes que asumen el direccionar de la gestión hídrica. La pregunta es ¿qué papel desempeñan los regantes a nivel de acequias comunitarias, del Módulo I Huapango, frente a la transmisión del derecho en la distribución de aguas? El objetivo es precisar la actual participación de los usuarios frente a la Asociación Civil del módulo Huapango. Bajo los postulados teóricos y conceptuales de gobierno burocrático, autogestivo y mixto se contraponen el proceder de los regantes. Se encuentra que las cadenas cortas de distribución de agua.

**Palabras clave:** autogestión, cultura, organizaciones intermedias.

## Introducción

La política federal de 1926, en materia de regadío, promovió la creación de Distritos de Riego (en adelante, DR), éstos se formaron ampliando, mejorando o construyendo infraestructura hidráulica. Parte de la ingeniería hidráulica del Estado se superpuso en antiguos sistemas de regadío (construidos por pueblos o hacendados) (Palerm, 2021),

surgiendo nuevos espacios de riego e incremento de regantes.<sup>1</sup> Los urgentes cambios en materia hídrica exigieron de personal técnico y administrativo especializado, el problema fue que, dicho personal era insuficiente para llevar a cabo tal proeza, primero, por la falta de recursos financieros para realizar el informe técnico de fuentes, volumen hídrico disponible y número de usuarios; segundo, por el desconocimiento u olvido de las disposiciones reglamentarias históricas como mercedes, composiciones, reglamentos, contratos de agua y acuerdos no oficiales y tercero, el constante cambio de propiedad de tierra.

De manera que, con la llegada del gobierno burocrático estatal a las comunidades rurales, antiguas formas de distribución del agua fueron modificadas; este tema ha sido motivo de trabajo de antropólogos, historiadores, ingenieros en hidráulica, donde la distribución es uno de los engranes que ha mediado entre la programación y la operación del sistema (Espinosa et al. 2016). Frecuentemente, en los principios de distribución de agua referidos por Maass y Anderson (1976) se develan procesos sociopolíticos, tecnológicos y económicos, obviando los aspectos culturales. Lo sociopolítico del regadío incluye el surgimiento de al menos cuatro tipos de sociedades hidráulicas como las siguientes: a) especializadas en hidráulica con mayor afinidad al Estado, b) sociedades especializadas en agricultura tradicional como mayor afinidad al entorno físico y ecológico, c) sociedades especializadas en agricultura comercial con afinidad al mercado y d) sociedades con afinidad a gobiernos locales [municipales, ejidales, comunales].

Respecto a lo tecnológico del regadío, incluye estructuras altamente especializadas y computarizadas que bien puede servir a todo el sistema o parte de él, que demandan de personal especializado; en cambio, las estructuras tradicionales requerirán mayor participación social que técnica para manipular los flujos hídricos. La combinación de tecnología moderna y tradicional es evidente en la compleja red que se teje en un DR, y que no se diluye con las unidades de riego. Desde un enfoque económico, la distribución del agua para Worster (1985) adquiere un valor mercantil porque la inversión en infraestructura deberá ser recuperada a través de las cuotas de riego.

Por ello el objetivo del trabajo es indagar a nivel de las acequias para entender a aquellos que para sembrar sus parcelas dependen de un agua que están regulada por

---

<sup>1</sup> Los DR según la modalidad de producción agrícola se dividieron en tres tipos: producción especializada, fue para mejorar e incrementar la producción de alimentos y fibras que sirvieran como insumos en los sistemas de producción comercial; producción semiespecializada y diversificada (de la Loma, 1964).

una autoridad federal, pero que luego es entregada en algún punto del sistema a una Asociación Civil, la cual la entrega a personal que contrata y éste finalmente tiene la labor de negociar los tiempos de distribución entre diversos regantes. La escalada de requerimientos que pueden sobrevenir para ser beneficiario del riego también puede ser un tema relevante a la hora de tomar decisiones en el regadío.

## **Marco teórico**

En contextos de Latinoamérica e India el regadío engloba un tema cultural y ha sido la propuesta de Palerm, Saldaña y Escobedo (2000), quienes brindan una metodología para hacer evidentes sistemas de autogestión. La cultura en la autogestión del riego incluye alternativas que impulsan en los regantes la participación libre con desenfoco individual que encamina las acciones a un bien colectivo o comunitario, o al menos practicar el apoyo para dar solución a problemas comunes de acceso al agua de una sola fuente.

Por su parte, Freeman (1989), Moss (2020), Romero y Palerm (2021) exploran a las organizaciones intermedias, éstas a nuestro entender no emergen al interior de las arenas de poder gubernamental, privado o social, surgen culturalmente y ante procesos de cambio administrativo que afectan el *estatus quo* de los usuarios; pueden o no perseguir el reconocimiento legal, pero su mayor logro es su apertura para escuchar y atender, en lo posible, a los regantes. A través de la presión social, en mayor medida que por acuerdos o negociaciones, postulamos que estas organizaciones puente (Asociaciones Civiles de regantes y Estado) se recrean en donde la burocracia se encuentra debilitada o incumple con sus funciones.

Aunque la respuesta de la política hídrica mexicana ha sido, en las tres últimas décadas (1990-2020), promotora de la inclusión de los regantes al sistema administrativo burocratizado, la función de las Asociaciones Civiles no es del todo clara.

Hasta ahora, las Asociaciones Civiles de Regantes son el órgano jurídico y social más cercano a los regantes que forman parte de los DR, sin embargo, sus normativas son puestas a prueba en cada ciclo agrícola siendo una de sus características la inclusión y toda de decisiones de los regantes. Para Sagardoy (2001) las asociaciones de regantes tradicionales tienen el común denominador de que ellos son los administradores, pero no los operadores o distribuidores del agua, este cargo lo dejan en manos de regantes



o personal contratado y así ha sobrevivido la organización, para el caso de España, desde hace siete siglos. De modo que dichas asociaciones pueden ser complejas en su administración cuando se conjuntan varios sistemas de captación con superficies de riego difusas y no homogéneas, como es el caso del módulo estudiado.

## **Metodología**

Es de corte cualitativo, cuyos datos proceden de trabajo de campo durante dos años (2019-2021) y de revisión de fuentes documentales de archivo de la Asociación Civil de regantes del Módulo Huapango. Respecto a la labor de campo se acudió al lugar de estudio para conocer las fuentes de captación que alimentan el regadío del DR 096 así como las comunidades que integran los módulos, se observaron algunas parcelas y el lugar de donde recibían el agua. También se hicieron recorridos por las acequias en compañía de los canaeros y representantes de agua para registrar los puntos de la distribución y las comunidades beneficiadas. Respecto al archivo de la AC se obtuvieron datos estadísticos del regadío. Las unidades de observación fueron las aguas superficiales, red hídrica, cultivos y parcelas; las unidades de análisis se centraron en la organización de los regantes a nivel local y su cultura de riego.

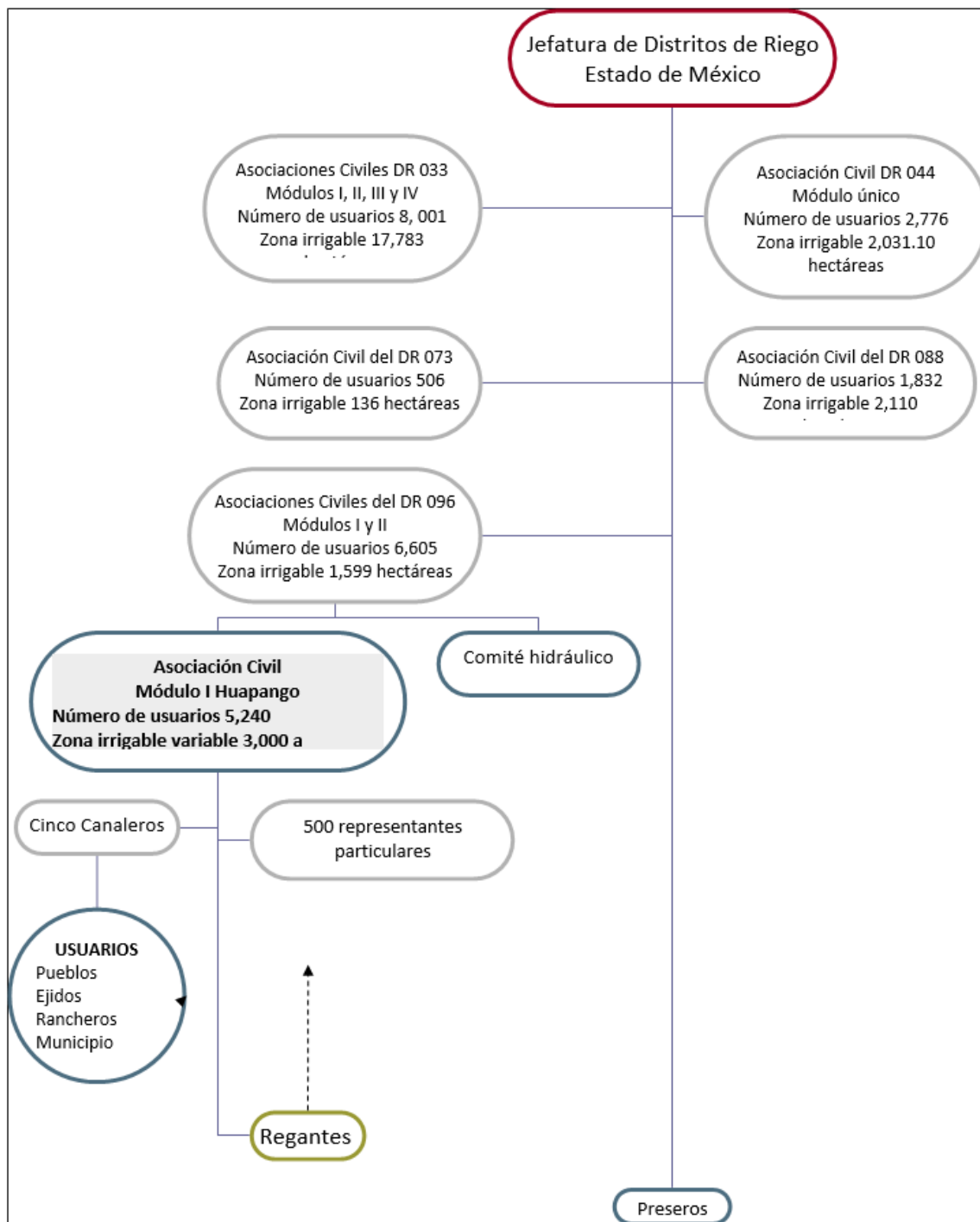
## **Resultados**

### *Distrito de Riego 096. Infraestructura hidráulica, módulos y gobierno*

El DR 096 es uno de los cuatro existentes en el Estado de México, se localiza en la parte noreste, su zona de riego comprende poco más de 30 localidades de tres estados de la República Mexicana (Estado de México, Querétaro e Hidalgo). Está fragmentado en dos módulos con sus respectivas formas de gobierno (ver esquema 1).

### Esquema 1

Estructura administrativa de los Distritos de Riego del Estado de México. Ciclo agrícola 2019-2020



Fuente: Elaboración propia con datos del DOF, 03 de diciembre de 1998; Sina-Conagua, 2019-2020.

De acuerdo con el esquema 1 se aprecia una particular separación administrativa de las Asociaciones Civiles del sistema de riego a nivel estatal, la carencia de vínculo entre autoridades dificulta la transmisión de conocimientos o apoyo. En el caso del módulo de estudio, aunque es parte de la verticalización del poder, éste mantiene una relativa flexibilidad en la inclusión de los regantes y el personal contratado.

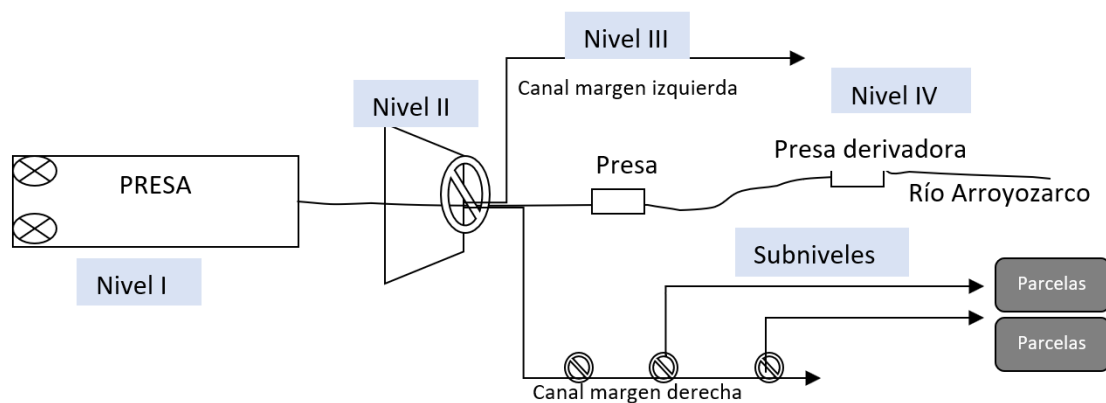
### **Escalonamiento de red hídrica**

El módulo huapango está integrado por fuentes hídricas, de ellas la más importante es la presa Huapango de la cual emergen el río Arroyozarco o San Juan y dos acequias principales de regadío, posteriormente surgen almacenamientos menores conocidos como: presa San Antonio, presa El Molino y la derivadora Taxtho. Y de éstos últimos derivan las acequias. Es en las acequias donde es posible observar los riegos simultáneos marcados por un ajustado calendario de riegos. El agua de las acequias proviene de una fuente mayor que es la presa huapango, de tomas directas del río Arroyozarco, bordos y vasos de almacenamiento. La red hidráulica es compleja en cuanto se extiende hasta alcanzar cientos de kilómetros que siguen tres direcciones (ver Esquema 2):

- de sur a este: las acequias reciben agua directa de la Presa Huapango.
- de sur a norte: el agua proviene de presas derivadoras alimentadas con el Río San Juan, de ellas emergen acequias principales con vasto volumen de agua para irrigar parcelas de cultivo de regantes con propiedad de entre 5 a 20 hectáreas.
- de sur a oeste: Las acequias reciben agua de la presa y alimentan a pequeñas represas de las cuales emergen acequias e menor tamaño que se alimentan con agua de presa, de manantial y de escurrimientos: irrigan tierras menores a una hectárea.

## Esquema 2

### Niveles de infraestructura hídrica del módulo Huapango



Fuente: Elaboración propia con datos de campo. Periodo 2017-2020.

Nivel I. El almacenamiento de agua de la presa incumbe a la gerencia regional, quien lo controla a través de la gerencia local de distrito de riego.

Nivel II. Control. La presa derivadora y la compuerta concierne a los canaleros. Los canaleros son contratados por la Asociación Civil.

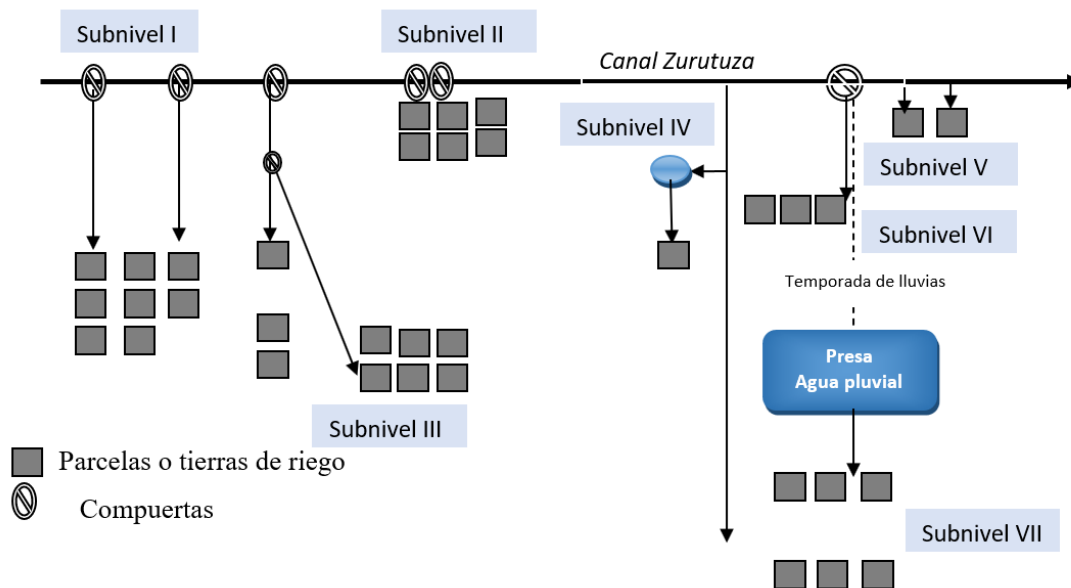
Nivel III. Red de conducción y control. Los canales generales (margen izquierda y derecha) implica control de tiempos para la ejecución de riego

Nivel IV. Red de distribución a partir del río.

Los subniveles refieren a la dirección de los flujos de agua que parten de un canal general, frecuentemente emergen canales laterales y de ellos deriva hacia la parcela. La mayor precipitación pluvial se presenta en el relieve de suaves pendientes (suroeste) dando oportunidad para que los regantes construyan pequeñas represas y bordos; numerosos sistemas de riego que complementan la dotación hídrica en el módulo. Los subniveles se reflejan en ordenación de los regantes, tandeos, limitaciones, liberación de canales, es la relación directa entre personal contratado por la AC y los regantes. Pese a la forma programada de obra hidráulica, al sistema se adosan otro tipo de obras de almacenamiento tradicionales que, a nivel local se les nombran, como presas (estas son alimentadas con el agua de lluvia), además de los bordos o vasos de almacenamiento (lenguaje ingenieril) (ver esquema 3).

### Esquema 3

#### Subniveles de infraestructura hídrica del módulo Huapango



Fuente: Elaboración propia. 2022.

Llamamos acequias comunitarias a aquellos conductos de agua que sirven para irrigar desde cinco hasta 100 parcelas, propiedad de varios regantes de una o varias comunidades. Los cultivos que demandan mayor cantidad de agua (pradera y alfalfa) tienen preferencia en el plan de riegos.

#### Variaciones históricas de medidas para la distribución de agua

Las aguas del río Arroyozarco históricamente han sido disputadas por tres municipios (Polotitlán y Aculco San Juan del Río) que pertenecen a dos estados de la República (Estado de México y Querétaro). Dichos municipios donde se ha requerido de la constante intervención de autoridades federales para proteger derechos históricos de agua y reglamentar a nuevos usuarios (ver Tabla 1).

**Tabla 1**

*Repartos de agua en el módulo huapango. 1853-2022*

Año	Terminología de distribución de agua	Observaciones
1853	Surcos de agua mansa	432 cuartillos por minuto de agua
1853	La cuarta parte de aguas bravas	Partes en que se dividían las aguas torrenciales
1907	Fracciones de agua 1/3, 1/2, 1/8	Partes en que se divide el agua de un canal o almacenamiento
1920	Porcentajes	En función de las hectáreas de cultivo
2019	Palas de agua	Horas convenidas de riego (una pala equivale a 24 horas de riego)

Fuente: Archivo Histórico del Agua y trabajo de campo.

Actualmente la medida que ocupan los regantes para distribuir sus aguas es *pala de agua*, término que los regantes con más edad (70-90 años) refirieron, escuchaban desde niños. Palerm y Chairez (2002) referencian los términos buey, surco, naranja, real, dedo y paja como medidas antiguas de agua en la Nueva España y México. En cambio, en la revisión realizada en documentos del Archivo Histórico del Agua y Archivo Histórico del Estado de México alusivos a la época colonial, referente al DR 033, no encontramos dicho término *palas de agua*. El término *pala de agua* es la medida actual que los regantes utilizan para su regadío, aunque en los registros de la AC aparecen como láminas de riego.

Al inicio de la siembra del trébol, cuando ha retoñado y la planta ha crecido 10 cm es momento de darle un primer riego, entonces me apresuro a ir con mi representante y le pido me dé un cuarto de pala de agua, por ella pago \$200.00 y la ocupo cuatro días. Si alguno de mis vecinos sembró también trébol o alfalfa entonces compartimos el agua; el problema se presenta cuando la mayoría decidimos sembrarla, entonces el agua no alcanza y tenemos que pedir una pala de agua, pero otra vez, los caños son pequeños y no soportan tanta agua. (entrevista a Tomas, ejido encinillas. 14 de marzo de 2019)

“Me corresponde una pala de agua, pero es mucha, en un día no logro acabarla, así que la compartimos entre cuatro vecinos, nos toca de un cuarto de pala por día y al cabo de cuatro días ya terminé de regar” (entrevista a Roberto, ejido el Rosal. 04 de abril de 2018). Todo parece indicar que la pala de agua es variable en su volumen y éste dependerá del

tamaño de la acequia la que a su vez depende de lo lejos o cerca que se encuentre de su fuente principal de llenado.

Lo que observamos en trabajo de campo es que los canaleros tienen escalas de medición en cada compuerta, estas medidas son en centímetros, y ellos calculan cuánto volumen debe pasar a las acequias en función de la cantidad de usuarios que soliciten el riego. Con el volumen de agua registrado en centímetros el canalero calcula la cantidad de regadores que debe tener la acequia. Cuando uno o dos regantes no utilizan el agua, el canalero debe disminuir el volumen otorgado lo que le lleva a dirigirla a otro canal. Determinar el caudal que contiene una acequia no es una tarea fácil para fijar la proporcionalidad a cada regante, pues las parcelas y los cultivos varían. Por lo tanto, no hay uniformidad en el volumen de agua que llega a la parcela [por motivos de longitud y profundidad de acequia, distancia, infiltración] pero sí se lleva a un control de horas que el agua permanece en las parcelas, inclusive medidas en minutos.

### **De la planeación hidráulica al regadío fragmentado**

Los ordenamientos federales son modificados *in situ*, por motivos de los cambios en propietarios (que casi nunca llegan a reflejarse en el padrón de riegos de la AC), agrarios y ambientales.

**Referente a los cambios en propietarios:** Retomando el hecho de que las tierras de regadío o las de temporal (que luego se convierten a regadío) no pertenecen a los mismos dueños y tampoco conservan la misma extensión, entonces la posesión y requerimientos del volumen de agua es inconstante, si a ello agregamos los cambios en cultivos, la demanda se agudiza. El módulo de estudio mantiene una constante historia de cambios de propietarios.

**En cuanto a los cambios agrarios,** las variaciones se presentan en la emergencia de poco más de 26 pueblos donde emergieron los llamados ejidos, quienes en principio solicitaban al gobernador del Estado la dotación de aguas para riego, de una parte, de sus terrenos ejidales. La dotación de tierras afectó a numerosos ranchos y haciendas de la región norte, especialmente las ubicadas en los municipios de Aculco, Polotitlán y Jilotepec (todas ellas irrigaban sus tierras con aguas de la presa Huapango o del río

Arroyozarco. De este último se desviaban sus aguas para alimentar a numerosos bordos que eran propiedad de los hacendados o rancheros.

**Respecto a los cambios ambientales**, las autoridades gubernamentales de mediados del siglo XX reportan escasez hídrica relacionada con las lluvias, lo que es continuo en los actuales reportes de almacenamiento hídrico de la presa. Recordemos que don Luis de Velasco entrega una merced de seis manantiales [ojos de agua], que daban origen a la denominada “sabana de Huapango”, al pueblo de San Juan del Río, indicando... como se resumiera el agua por el cauce del río, los mercedados solían tener escasez de ella en los meses de menos lluvias” (AGN, ramo tierras, tomo 307). Para solventar tan necesidad hídrica, el encomendero permitió que el pueblo de San Juan realizará una zanja “acueducto” para secar la zona pantanosa de huapango. “Antes llovía mucho y no ocupábamos el abrevadero, ahora no, si no tenemos nuestros bordos los animales se pueden morir de hambre y sed” (entrevista a Felipe, usuario de 75 años del ejido San Martín, 14 de julio de 2019).

Los cultivos que se llevan a cabo en el módulo parecen depender de las necesidades del usuario, es decir es una toma de decisión de particulares, sin embargo, la actividad agroganadera (cultivos y abrevadero) de la región, al ser una actividad económica (venta de forraje, leche, queso), interfiere para definir a qué debe dedicarse a tal o cual usuario. Los usuarios que poseen extensiones de terreno amplias (más de 70 hectáreas) se sobreentiende que requieren mayores volúmenes de agua y son quienes, dentro de la administración de la Asociación Civil, se les debe dotar de tal requerimiento, sea este al inicio de riego o al final (mayo o diciembre). Empero, los regantes con menos de una hectárea y con cultivos de subsistencia no tienen permitido cambiar de cultivos (maíz a forraje) aunque pueden solicitar el riego para abrevadero (almacenando el agua en un bordo particular, pueden sembrar cultivos que demandan mayor volumen de agua, dentro de los límites del volumen permitidos).

### **Cadenas cortas de distribución de agua en zonas aisladas**

Nos referimos a cadenas de distribución de agua en el regadío de estudio por que se entrelazan factores, físicos, tecnológicos y culturales. Estos vínculos pueden llevar a que el agua fluya o se detenga dependiendo de las condiciones del relieve, trabajos de



mantenimiento de las acequias, pero sobre todo de la toma de decisiones desde un órgano central, como lo es la AC. Entonces, han sido los representantes quienes proceden como actores intermediarios para acercar el agua a las parcelas, sobre todo de aquellas ubicadas en la parte final de una acequia.

El modelo de distribución de agua comunitario alternativo al modelo burocrático refleja las siguientes relaciones socioculturales:

- a) De regante a regante familiar: aquí interviene las relaciones consanguíneas, parentales y de compadrazgo: Cuando las tierras de algún familiar no se cultivan (padre) durante un ciclo el agua se destina a otro familiar (hijo, hermano, tío, sobrino), correspondiéndole llevar a cabo las tareas de mantenimiento del sistema a cambio de la transferencia de determinado volumen de agua. Un regante decide a quien debe entregarle su agua, puede dividirla entre dos de sus hijos.
- b) De regante a regante no familiar: Reparto de agua voluntario que no genera obligación entre partes y como préstamo social.
- c) De canalero a representante. El canalero convoca de manera particular a los representantes y les informa que determinada zona algunos regantes no han pagado su riego o no la ocuparan, entonces algunos regantes tienen opción de riegos más tempranos.
- d) De canalero a regante: Generalmente este tipo de distribución acontece al finalizar el riego (mayo) cuando la mayor parte de los usuarios han regado, pero a último momento no utilizan toda el agua, entonces se dirige hacia el regante que no tuvo la suficiente agua durante su día y hora de tandeo.
- e) De representante a representante: Se informa el porcentaje de avance de sus representados y si existen remanentes estos se comparten.
- f) De representante a regante: Los representantes llevan un estricto control de tiempo del agua que corresponde a cada uno de los regantes que representan, de manera que tienen pleno conocimiento de las necesidades y tiempos. Cuando un regante ha terminado o le falta tiempo para irrigar su parcela informa al representante para que el agua no se desperdicie en algún otro punto.

## **Conclusiones**

Desde los regantes, la distribución del agua parte de la comunicación y organización entre los implicados. Entonces, con la política de transferencia del DR 096 pasamos de un discurso de respuesta técnicas-políticas y económicas a las culturales. En el módulo de estudio imperan tres estructuras verticalizadas: burócratas a la AC; AC a los canaleros; AC a los representantes; además, de cuatro estructuras horizontales: canaleros a representantes; representante a representante; representantes a regante; regante a regante.

Lo más conveniente para canalero y representantes ha sido observar tanto el caudal de las acequias como su capacidad. No menos importantes son los turnos de riego, de manera que, la acequia determina la capacidad de volumen de agua, pero lo que a cada regante corresponde se define en función del número de regantes que ocupan el agua, es decir los acuerdos a la palabra son necesarios porque está presente el riego simultáneo. Es evidente que, con la política de transferencia, el sistema de distribución de agua tradicional fortalece a la AC, además, se destaca el encadenamiento de autoridades para suplir los requerimientos a nivel parcelario, contrario a la imperiosa necesidad de la AC por dar cobertura a nivel de sistema de riego.

## **Bibliografía**

- DOF (Diario Oficial de la Federación). Acuerdo por el que se establece el Distrito de Riego Número 044 Jilotepec, ubicado en los municipios de Jilotepec y San Francisco Soyaniquilpan, Estado de México. 03 de diciembre de 1998. Semarnat.
- DOF. Acuerdo por el que se dan a conocer los resultados del estudio técnico de las aguas nacionales superficiales en las cuencas hidrológicas Arroyo Zarco. 07 de febrero de 2018.
- Bohórquez, J., Gavilán P. y Contreras J. (2015). “Análisis de la uniformidad del riego en cultivos de fresa (Agricultura)”. *Agricultura*. 710-718.
- de la Loma y de Oteyza, J. L. (1964). “Características de los distritos de riego en México”. *Ingeniería Hidráulica en México*, 18, 1-2.
- Domínguez García-Tejero, F. (1950). *Acequias de riego. Número 15-50 H*. Madrid: Ministerios de Agricultura.

- Espinosa Espinosa, B., Flores Magdaleno, H., Ascencio Hernández, R., & Carrillo Flores, G. (2016). “Diseño de un sistema de riego hidrante parcelario con los métodos por Turnos y Clement: análisis técnico y económico”. *Terra Latinoamericana*, 34(4), 431-440.
- García Villanueva, N. H. (2016). *Hidráulica de canales. Principios básicos*. México: Instituto Mexicano de Ingeniería hidráulica.
- Mejía-Sáenz E., Palacios-Vélez, E., Exebio-García, A., & Santo-Hernández, A. L (2002), “Problemas operativos en el manejo del agua en distritos de riego.” *Terra Latinoamericana* 20 (2), 217-225. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57320215>.
- Moss, T. (2020). *Intermediaries and the Governance of Sociotechnical Networks in Transition*. DOI:10.18452/21885.
- Palerm Viqueira, J. (2003). “Regadío y origen del Estado: la investigación de casos mexicanos de administración autogestiva de sistemas hidráulicos”. En Patricia Ávila (ed.), *Agua, medio ambiente y desarrollo en el siglo XXI*, 321-334, volumen II. Colegio de Michoacán.
- Palerm Viqueira, J., & Chairez Araiza, C. (2002). “Medidas antiguas de agua”. *Relaciones. Estudios de Historia y Sociedad*, XXIII (92), 227-251.
- Palerm, J., Martínez Saldaña T. y J. Escobedo F. (2000). “Modelo de investigación: organización social de sistemas de riego en México”. En Jacinta Palerm y Tomas Martínez editores, *Antología sobre pequeño riego vol. II Organizaciones autogestivas*, 31-62. Texcoco, Estado de México: Colegio de Postgraduados: DOI:10.13140/RG.2.1.3515.6881.
- Poirée, M. & Charles, O. (1977). *El regadío: redes, teoría, técnica y economía de los riegos*. Barcelona: Editores técnicos Asociados. <https://books.google.com.mx/books?id=KgNZZa1rhCAC&printsec=frontcover&hl=es>.
- Romero-López, A. R. y Palerm-Viqueira, J. (2021). “El rol de las organizaciones intermedias en la gestión del agua en México”. En Jacinta Palerm (ed.) *Los módulos de los Distritos de Riego* 107-116. México: Juan Pablos Editor.
- Sandré, I. y Sánchez, M. (Coord.) (2011). *El eslabón perdido. Acuerdos, convenios, reglamentos y leyes locales de agua en México (1593-1935)*. México: CIESAS.

# PEQUEÑOS REGADÍOS ANCESTRALES. REPRESAS Y BORDOS EN LA ESTANCIA, ACTOPAN, HIDALGO, MÉXICO

Emmanuel Galindo Escamilla  
Rosa Josefina Bárcenas Argüello

## Resumen

El objetivo es describir el uso actual de un conjunto de pequeños bordos y represas para la producción agrícola en un ejido del estado de Hidalgo, México. Con recorridos de campo y entrevistas a autoridades ejidales y regantes se documentó la distribución espacial de la infraestructura hidráulica, la organización social para su manejo, así como los ciclos agrícolas y principales cultivos. Conocer este tipo de técnicas tradicionales resulta pertinente porque permite difundir los saberes locales que hacen posible el manejo del agua e infraestructura y las labores agrícolas en zonas de poca precipitación. Se concluye que en el área de estudio las técnicas analizadas se mantiene en uso desde el reparto agrario, a lo cual contribuye el conocimiento local heredado entre generaciones y el acceso a un repertorio mínimo de semillas criollas.

**Palabras clave:** captación de escorrentía, lama bordo, retención de suelo.

## Introducción

En México, el estudio sistemático del manejo del agua para regadío y los sistemas agrícolas no es del todo novedoso, algunos trabajos pioneros como los de Ángel Palerm,

Pedro Armillas y Eric Wolf se iniciaron hace más de cincuenta años y buscaban responder básicamente tres preguntas. La primera, sobre la presencia de sistemas de riego en la época prehispánica y su distribución espacial. La segunda, en referencia a la correlación que existe entre la agricultura de riego y el origen de la civilización en el área cultural que denominaron Mesoamérica. Y la tercera, sobre la diferenciación social que origina el manejo de las obras hidráulicas, es decir la división social entre administradores del agua y los regantes (Palerm y Wolf, 1972; Palerm, 1972; Rojas, 1991a; b). Con estas premisas, los autores mencionados demostraron que en Mesoamérica el origen de la civilización, y la diferenciación socio cultural, tuvieron como base material la agricultura de regadío.

En otro orden de ideas, sobre las evidencias arqueológicas y la antigüedad del regadío en lo que los colonizadores denominaron como Nuevo Mundo, Doolittle (1990) identifica cuatro etapas que clasifica de la siguiente manera: la experimentación, que marca de 1,200-350 a. C; maduración, que se ubica de 350 a. C. a 850 d. C.; la expansión e intensificación, del 800 al 1,200 d. C.; y la edad de oro que establece de 1,200 a 1,520 d. C. Por tanto, se puede asegurar que hasta el México contemporáneo el uso de obras hidráulicas para la irrigación tiene una continuidad de casi 3,000 años. Con respecto a las diversas fuentes de agua de que disponen los seres humanos, en México también se han hecho importantes esfuerzos por identificarlas y sistematizarlas.

Por ejemplo, Teresa Rojas (2009) presenta una tipología de las diferentes fuentes de abastecimiento de lo que denomina de manera genérica como *agua dulce*, y las clasifica de la siguiente manera: agua meteórica o atmosférica en movimiento, es decir, agua de lluvia; agua superficial en movimiento, la que proviene de manantiales, ríos y arroyos perennes o temporales; agua superficial en calma, la agrupa en humedales, lagunas, pantanos y lechos lacustres; agua subterránea y freática, la que está básicamente contenida en ríos y depósitos subterráneos. La misma autora documenta que las distintas culturas que han habitado lo que ahora es México, conocieron y utilizaron estas fuentes de agua desde tiempos muy antiguos, para lo cual diseñaron distintos instrumentos técnicos como canales, zanjas, presas, bordos, estanques, pozos, jagüeyes, cisternas y hoyas: y refiere que las evidencias documentales de su uso se han registrado de manera escrita desde los siglos XVI y XVII (Rojas, 2009).

Con respecto al regadío contemporáneo, las dos últimas décadas del siglo pasado resultan relevantes, toda vez que se iniciaron procesos por parte del Estado Mexicano

para entregar parte de la infraestructura de los llamados Distritos de Riego a los usuarios para su manejo y administración (Trava, 1995; Palacios-Vélez, 1996; Johnson, 1997).

Ante esta política pública, otro grupo de estudiosos de la temática liderados por Jacinta Palerm y Tomás Martínez se hicieron una serie de preguntas con respecto al tamaño de la irrigación, la capacidad de gestión por parte de los usuarios, y si es necesaria la presencia del Estado para garantizar el abasto y distribución del agua. Esta discusión llevó a identificar y proponer una tipología de la irrigación practicada en México, sobre todo después del periodo revolucionario, y lograron separar metodológicamente el estudio de la llamada *gran irrigación* del denominado *pequeño riego* (Martínez y Palerm, 1997; Palerm y Martínez, 1999; Palerm, 2002; 2021).

Ese esfuerzo metodológico por conocer las particularidades de la pequeña irrigación permitió trazar una diferencia importante en materia de las fuentes de agua para el regadío, al tiempo que sirvió de base para proponer otro tipo específico de irrigación, el denominado *regadío no convencional*. En términos generales, se define de esta manera a aquellas prácticas de riego donde no se tiene una obra de cabecera ni canales u obras de conducción porque la fuente de agua utilizada es básicamente la que proviene de la lluvia, de escorrentías, o de avenidas. Para dejar más clara la idea, se hace referencia a aquellas aguas que no son permanentes o no están controladas por grandes obras de riego (Palerm, 2002: 3).

Para el tema que aquí se aborda es crucial esta diferencia entre regadío convencional y no convencional, sobre todo por las implicaciones técnicas, el origen de la fuente de agua, la infraestructura necesaria para la práctica del regadío y el establecimiento de los cultivos.

Para entender de manera general la técnica de riego encontrada en la zona de estudio, de momento es suficiente mencionar que consiste en edificar muros de tierra reforzados con piedras, con un orden descendente y escalonado sobre lechos de arroyos secos que permiten la acumulación de suelo y humedad en la temporada de lluvias. Es decir, los sistemas que aquí se describen funcionan básicamente con el tipo de agua definido como atmosférica.

Esto es así porque, para establecer los cultivos se utiliza la humedad residual y sólo cuando es necesario se utiliza el agua de lluvia almacenada en represas para aplicar riegos de auxilio, con lo cual se garantiza el desarrollo del cultivo.

Sobre el origen o antigüedad de técnicas de irrigación no convencional parecidas a la que aquí se describe, se han encontrado varias evidencias en México y les han denominado *atajadizos*, *trincheras*, *teceras*, *lama bordo*, *muros de barranca* o *joyas*, por mencionar solo algunos ejemplos (Johnson, 1977; Rojas, 1988; Martínez, 1998; Rivas, Rodríguez y Palerm, 2008).

Independientemente del nombre que se les asigne y su distribución geográfica, como ya se dijo, la característica distintiva de esta técnica es la construcción de muros escalonados sobre lechos de arroyo seco, y para este tipo de técnicas la evidencia arqueológica más antigua hasta ahora encontrada data de al menos 3,400 a 3,500 años en lechos de arroyos secos de Coixtlahuaca, Oaxaca (Leigh *et al.*, 2013).

Por último, se retoma y se destaca la propuesta que se denomina *regadíos ancestrales* y su importancia como base material que da sustento a la organización social campesina. Por definición los regadíos ancestrales son sistemas operativos y funcionales que han soportado el paso de los siglos; que deben tanto su fisonomía como su organización a los procesos de adaptación de pueblos y sociedades; y se destaca que tal fisonomía es moldeada por la tecnología que permitió concebirlos, construirlos y manejarlos; se menciona como una de sus principales ventajas la pequeña escala, y que precisamente por su tamaño no auspician la conformación de burocracias porque no generan estructuras de dominio político administrativo (Martínez *et al.*, 2009:VII-VIII).

Con el marco de referencia descrito, el objetivo central de este documento es realizar un aporte más a los estudios del pequeño riego no convencional y los regadíos ancestrales. Para dejar constancia de su vigencia e importancia, y resaltar algunas de sus ventajas técnicas, ecológicas y de organización social frente a la denominada gran irrigación.

## **Metodología**

El ejido La Estancia se localiza en Actopan, Hidalgo y deriva su nombre de una ex hacienda ganadera de la cual se desprendieron al menos cinco núcleos agrarios (DOF, 1927, 1929, 1930). La información que se presenta corresponde a un total de cuatro pequeños sistemas para la producción agrícola bajo un sistema mixto de regadío con humedal residual *in situ* y riego de auxilio con agua de escorrentía que se almacena en cuatro pequeñas represas.

Con recorridos de campo en el área de estudio se determinó la distribución espacial e infraestructura hidráulica, lo mismo que el área de comando que domina cada una de las cuatro represas. A partir de entrevistas informales a integrantes del Consejo de Vigilancia y a regantes se determinó la organización social y tareas que realizan para el manejo de cada uno estos pequeños sistemas de riego, los principales cultivos, así como el calendario agrícola y las labores agrícolas.

## **Resultados y discusión**

De acuerdo a información disponible en varias ediciones del Diario Oficial de la Federación (DOF, 1927, 1929, 1930) la ex hacienda La Estancia tenía una superficie original de 10,360-40-27 hectáreas que se afectaron con el reparto agrario para conformar los ejidos denominados Santa María Magdalena (08/09/1927), Plomosas (08/09/1927), El Saucillo (26/10/1929), Las Mecas (26/10/1929) y La Estancia (09/01/1930), todos pertenecientes al municipio de Actopan, Hidalgo. Para el caso específico del ejido La Estancia, la información disponible indica que se conformó con una dotación de 1,276 hectáreas con las siguientes calidades: 36.00 de riego; 40.00 de temporal de primera; 246.000 de temporal de segunda y tercera; 123.00 de cerril con maguey; y 831.00 de cerril con pastizal, para un total de 204 beneficiarios (DOF, 27/02/1930).

La información obtenida en campo, permite afirmar que dentro del polígono ejidal resultante se localizan seis pequeñas represas en las que se almacena agua de escorrentía en la temporada de lluvias. La situación actual de cada una de las represas es variable, algunas se encuentran azolvadas y en desuso, otras en perfecto estado y se utilizan principalmente para el riego de auxilio. Las que están en buen estado y en uso se denominan: *el caño*, *las ánimas*, *capulín grande* y *las cuatas*, y las que están en desuso son *capulín chico* y *bomintzha*. La distribución espacial de las cuatro primeras se ilustra en la Figura 1.



## Figura 1

### *Vista general de la zona de estudio*



Fuente: elaborado con base a datos de campo y sobre imagen de satélite de Google earth, 2023.

Como se puede apreciar en la figura 1, la totalidad de obras se encuentra sobre la parte norte de un macizo montañoso, el cual también sirve de límite natural con respecto a otros ejidos dotados con tierras de la misma ex hacienda. El área que dominan estas cuatro represas es la que se ilustra con en el polígono de contorno amarillo y se corresponde básicamente con el pateaguas de la microcuenca del arroyo seco denominado *el toril*, principal drenaje en la zona.

Así, cuando se presentan lluvias torrenciales, la escorrentía de las partes altas hace un recorrido de norte a sur hasta almacenarse en estas represas. Y cuando es necesario practicar el riego de auxilio, también se realiza de norte a sur siguiendo la pendiente natural del terreno.

Sobre el origen de estas represas, los pobladores locales señalan que son del tiempo de la hacienda, y que desde que se las entregaron con las tierras ejidales permanecen más o menos igual. Los recorridos de campo permitieron identificar algunas fechas labradas en las piedras con las que se construyeron sus respectivas cortinas, y se concluye un rango entre 1880 y 1902, es decir que esta infraestructura hidráulica ha permanecido en uso cuando menos los últimos 130 años.

Como ya se dijo, desde el inicio del reparto agrario los habitantes han utilizado el agua almacenada en las represas únicamente para riegos de auxilio, básicamente porque el establecimiento de los cultivos dentro de los bordos se hace con la humedad residual de las primeras lluvias del año, y cuando la temporada de lluvias es buena no se utiliza el agua almacenada en las represas.

### *Infraestructura*

Las cuatro represas que se utilizan para regadío son: *el caño, las ánimas, el capulín grande y las cuatas*. Todas están edificadas sobre el lecho de un arroyo seco, y su función es almacenar agua de escorrentía. Las formas y dimensiones de sus respectivas cortinas son variables para cada una, lo mismo aplica para el vaso de almacenamiento y el embalse que se forma. Con respecto a su construcción, todas son de mampostería, y ya sea hacia el centro o en alguno de los costados, cada una de las respectivas cortinas tiene una pequeña abertura que se abre o se cierra según la necesidad de los riegos de auxilio. También tienen sus respectivos vertederos de demasías que se ubican al centro mismo de la cortina o en los extremos izquierdo o derecho, según las condiciones del terreno (Figuras 2, 3, 4 y 5).

### **Figura 2**

*Cortina y zona de captación, represa el capulín grande*



Fuente: Galindo y Bárcenas, 2023.

**Figura 3**

*Vista frontal cortina represa la cuata*



Fuente: Galindo y Bárcenas, 2023.

**Figura 4**

*Vista superior cortina represa las ánimas*



Fuente: Galindo y Bárcenas, 2023.

## **Figura 5**

### *Vista interior represa el caño*



Fuente: Galindo y Bárcenas, 2023.

Para la distribución del agua, todas las represas tienen un canal que la conduce hasta los distintos bordos cuando se requiere el riego de auxilio, y sólo una (represa del caño) cuenta con un canal construido a base de mampostería. El canal de esta represa, desde su origen hasta su final en el interior del casco de la ex hacienda, recorre un aproximado de 1.3 kilómetros y para cruzar un par de cárcavas cuenta con dos pequeñas secciones de arquería (Figura 6). En el resto de las represas, sus canales corren a nivel de piso y son únicamente de tierra.

El resto de la infraestructura en estos pequeños sistemas de irrigación, se conforman por los bordos edificados de manera escalonada sobre el lecho del respectivo arroyo seco que domina cada una de las represas. Del tamaño y la forma de las parcelas que quedan comprendidas dentro de cada bordo, la información obtenida en campo permite afirmar que son muy variables, pero en general y de acuerdo con los informantes, este tipo de parcelas abarcan una superficie aproximada de entre 1.5 y 2.5 hectáreas.

Con respecto a la forma, largo y ancho de los bordos, se puede decir que son de tipo trapezoidal, y que en general la base mide el triple de la corona. Los más anchos que se identificaron rebasan los cinco metros en su corona y en algunos casos sirven de puente por donde los vehículos transitan de uno a otro extremo del arroyo seco correspondiente.

En referencia a su longitud, a simple vista se identificaron algunos bordos que rebasan los quinientos metros (Figuras 7 y 8).

**Figura 6**

*Vista aguas abajo de un fragmento del caño de mampostería*



Fuente: Galindo y Bárcenas, 2023.

**Figura 7**

*Vista aguas arriba del interior de un bordo sin cultivos*



Fuente: Galindo y Bárcenas, 2022.

## **Figura 8**

*Vista aguas abajo de un conjunto de bordos con cultivos*



Fuente: Galindo y Bárcenas, 2022.

### *Labores agrícolas*

De acuerdo con la información proporcionada por integrantes del Consejo de Vigilancia Ejidal, y por algunos ejidatarios que han utilizado en distintos momentos el riego de auxilio de estas cuatro represas, la totalidad de regantes que tienen derecho a riego en cada una de ellas están inscritos en una lista o padrón que resguardan el presidente y tesorero del Consejo de Vigilancia, y cada año se tiene que pagar el derecho a riego de auxilio con un valor aproximado de cuatrocientos pesos. Además del pago, el titular o arrendatario de la parcela con derecho a riego está obligado a realizar la limpieza del tramo o tramos que correspondan en el canal de conducción.

El pago por derecho a riego, lo mismo que el mantenimiento del canal se tiene que hacer entre los meses de marzo y abril, porque de marzo a mayo se establecen los cultivos al interior de los bordos con la humedad residual de meses previos, y si la temporada de lluvias no es buena, entonces uno o dos riegos de auxilio garantizarán el logro de la cosecha.

Valga recordar que la disponibilidad del riego de auxilio depende de la cantidad de agua almacenada en cada represa, y que esta agua se utiliza únicamente en caso de una mala temporal de lluvias. Bajo esas circunstancias, el riego por auxilio inicia con el

tandeo según se anotaron con el Consejo de Vigilancia y pagaron su derecho a riego. La tanda es por cuatro horas a libre demanda, para ello, cada uno de los regantes acude a la represa para abrir y cerrar el paso de agua según el horario establecido.

Antes de iniciar el riego y al terminar, se le da aviso a los integrantes del Consejo de Vigilancia para que verifiquen la actividad y se cumpla con lo establecido. Como ya también se mencionó, si hay suficiente agua en la represa se autoriza un máximo de dos riegos, en caso contrario se aplica únicamente uno, y la decisión de cuándo tomar el agua depende del dueño o del arrendatario de la parcela en turno.

Con respecto al número de parcelas que solicitan riego, el presidente del Consejo de Vigilancia mencionó que en los últimos años ha disminuido de manera considerable, pero que la *represa del caño* mantiene el abasto a cuando menos seis ejidatarios: Alonso Pérez, Armando Hernández, Manuel Ramírez, Filiberto Pérez, Francisco Sánchez y David Negron. El mismo informante mencionó que la *represa las ánimas* abastece a otros ocho ejidatarios: Carlos Sánchez, Anastasio Portillo, Adelina Hernández, Miguel Godínez, Juan Portillo, Jose Luis Ramírez, Omar Ramírez e Hipólito Pérez. Para las *represas cuatas* refiere que son seis ejidatarios: Secundino Pérez, Gregorio Cruz, José Portillo, Juan Portillo, Quirino García y Rodrigo Pérez. Por último, de la *represa el capulín grande* menciona que con el agua de esta también es posible irrigar algunas parcelas abastecidas por *las ánimas* o *las cuatas*, y que de manera independiente abastece las parcelas de Alberto Meza y Javier Portillo.

En referencia al ciclo agrícola y los cultivos, los informantes señalaron que únicamente se siembra una vez por año, entre los meses de marzo y abril. Que los principales cultivos son maíz, frijol, calabaza y haba, para lo cual cuentan con semillas criollas. Que son pocos los que aún utilizan el sistema de milpa y que en su mayoría usan maquinaria agrícola para el barbecho, la siembra, la escarda y el aporque.

Sobre la disponibilidad de semillas criollas, mencionaron que ya quedan pocas variedades, y que sólo algunos ejidatarios las conservan de un ciclo al otro, por lo que es común que se consigan o se vendan semillas entre ellos. Además, señalaron que conocen las semillas mejoradas, que han probado su cultivo, pero que no resulta porque demanda mucha agua y ellos sólo disponen de la que cae sobre los bordos en temporada de lluvias y la escorrentía que se almacena en las represas.

De las semillas que conocieron y que utilizaron sus padres o abuelos, los informantes señalaron que del maíz se tenía la *marceña* y la *chalqueña*. En el caso del frijol, mencionaron al *parraleño*, *coconita*, *ojo de liebre*, *ayocote*, *enredador*, *flor de mayo*, *franciscano* y el *frijol negro*. Con respecto a la calabaza mencionaron la criolla y en el caso de la haba también una variedad criolla de tamaño chico.

En referencia al sistema de cultivos, los informantes dicen que ya no es muy común el sistema de milpa, que ahora predominan las parcelas con un solo cultivo, ya sea maíz o frijol. Pero hay quienes aún conservan ese sistema e intercalan el maíz con el frijol y la calabaza.

## **Conclusiones**

La información que se presenta para el caso analizado permite afirmar la vigencia de los pequeños regadíos no convencionales y la importancia del agua de lluvia para la práctica de este tipo de agricultura. Sobre el uso continuo de la infraestructura hidráulica aún después del reparto agrario, la información mínima da pauta para afirmar que estamos ante la presencia de regadíos ancestrales y un conjunto de saberes locales que se han transmitido de generación en generación por más de un siglo.

Sobre la capacidad de gestión por parte de los ejidatarios regentes y los conocimientos técnicos para el manejo de estos pequeños sistemas. Se puede afirmar que la presencia misma de estos sistemas da muestra de la capacidad local para el mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura, lo mismo que en la formulación de acuerdos mínimos que garantizan la resolución de los conflictos inherentes al manejo del agua de lluvia y de la esorrentía almacenada en las represas.

Sobre el manejo de la zona de estudio por parte de los pobladores locales, se puede afirmar que las técnicas con las que disponen obedecen a una ecología particular, donde el drenaje principal y sus arroyos secos permitieron el establecimiento de bordos desde los tiempos en que tuvo su auge la hacienda. A esto último, se le suma la disponibilidad de un repertorio mínimo de semillas criollas que permite disminuir el riesgo y reproducir este tipo de agro ecosistemas al margen de las ofertas modernas de paquetes tecnológicos con semillas mejoradas.



## Bibliografía

- Diario Oficial de la Federación (DOF). 1930. Resolución en el expediente de dotación de ejidos al poblado La Estancia, Estado de Hidalgo, 27/02/1930, pp. 2-3.
- Doolittle, W. 2004. *Canales de riego en el México prehispánico. La secuencia del cambio tecnológico*. México, Universidad Autónoma Chapingo.
- Johnson, K. (manuscrito). 1977. *Do as the land bids. A study of Otomí resource-use*.
- Johnson, S. 1997. *Informe de investigación 16. La transferencia del manejo de la irrigación en México: Una estrategia para lograr la sostenibilidad de los distritos de riego*. Sri Lanka, Instituto Internacional del Manejo de la Irrigación,
- Leigh, D., Kowalewsky, S., y Holdridge, G. 2013. 3400 Years of agricultural engineering in Mesoamerica: Lama-Bordos of the Mixteca Alta, Oaxaca, México. *Journal of Archeological Science*, 40 (4107-411).
- Martínez, T. 1998. *La diáspora tlaxcalteca. Colonización agrícola del norte de México*. México, Ediciones del Gobierno del Estado de Tlaxcala.
- Martínez, T., Palerm, J., Castro, M., y Pereira, L. (eds.). 2009. *Riegos ancestrales en Iberoamérica. Técnicas y organización social del pequeño riego*. México, Mundi-Prensa.
- Martínez, T., y Palerm, J. (eds.). 1997. *Antología sobre pequeño riego*. México, Colegio de Postgraduados.
- Palacios-Vélez, E. 1996. Los problemas de segunda generación en el proceso de transferencia: en búsqueda de soluciones. En Palacios Vélez, E. *et al.* (eds.). *Memorias del II Seminario Internacional Transferencia de Sistemas de Riego* (pp. 21- 34). México, Colegio de Postgraduados.
- Palerm, A. 1972. *Agricultura y sociedad en Mesoamérica*. México, Secretaría de Educación Pública.
- Palerm, A., y Wolf, E. 1972. *Agricultura y civilización en Mesoamérica*. México, Secretaría de Educación Pública.
- Palerm, J. (ed.). 2002. *Antología sobre pequeño riego, Volumen III, Sistemas de riego no convencionales*. México, Colegio de Postgraduados.
- Palerm, J. (ed.). 2021. *Los módulos de los Distritos de Riego. Observaciones desde el regente*. México, Colegio de Postgraduados.

- Palerm, J., y Martínez, T. (eds.). 1999. *Antología sobre pequeño riego. Volumen II Organizaciones Autogestivas*, México. Colegio de Postgraduados.
- Rivas, M., Rodríguez, B., y Palerm, J. 2008. El sistema de joyas una técnica de riego no convencional en la Mixteca. *En Boletín del Archivo Histórico del Agua, Número especial captación de agua de lluvia*, 6-17. México, Comisión Nacional del Agua.
- Rojas, T. (ed.). 1988. *Las siembras de ayer: la agricultura indígena del siglo XVI*. México, Secretaría de Educación Pública.
- Rojas, T. (ed.). 1991 (a). *Pedro Armillas: vida y obra, Tomo I*. México, Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social.
- Rojas, T. (ed.). 1991 (b). *Pedro Armillas: vida y obra, Tomo II*. México, Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social.
- Rojas, T. 2009. El agua en la antigua Mesoamérica: usos y tecnología. En, Rojas, T., Martínez, J. L., y Murillo, D. *Cultura hidráulica y simbolismo mesoamericano del agua en el México prehispánico (pp. 13-147)*. México, Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social.
- Trava, J. L. 1995. *La transferencia de los distritos de riego*. Trabajo de ingreso a la Academia Mexicana de Ingeniería, México. Recuperado de <https://es.slideshare.net/AcademiaDeIngenieriaMx/transferencia-de-los-distritos-de-riego>.

# LA COMARCA LAGUNERA, EL DISTRITO DE RIEGO 017 Y LOS ACUÍFEROS

Jacinta Palerm-Viqueira  
Carlos Chairez Araiza

## Resumen

Se hace un recorrido de la historia ambiental de la Comarca Lagunera. Desde enlagnar en cuadros de agua (o entarquinamiento), la construcción de presas, la erradicación del entarquinamiento en la década de 1960, el boom del bombeo de agua, para mostrar cómo las políticas públicas han exacerbado el deterioro ambiental en un contexto de hidroarsenicismo que afecta directamente a la población, así como a los suelos, plantas y animales. Se cierra la presentación con los datos duros actuales sobre agua en la Comarca Lagunera. Finalmente se presentan algunas conclusiones.

**Palabras clave:** arsénico, Comarca Lagunera, deterioro ambiental.

## Introducción

Esta presentación pretende hacer un recorrido histórico de los últimos 150 años en la Comarca Lagunera, sigue la propuesta de Donald Worster de tratar de entender cómo hemos transformado nuestro mundo, en este caso la Comarca Lagunera.

Durante el último medio siglo ha sido evidente lo que va peor en el mundo de hoy: no se trata del mero ciclo milenarío de guerras y conflictos, construcción de imperios e injusticia social, sino de la relación vital entre los humanos y el

mundo natural. De manera súbita e inesperada, nos encontramos en una ruta de colisión con los sistemas vitales de los que depende nuestra existencia. Estamos destruyendo la naturaleza a un ritmo feroz. Lo más serio del problema consiste en el inminente exterminio de quizás la mitad de las especies vegetales y animales, la mayor catástrofe ecológica ocurrida en los últimos 60 millones de años. (Worster, 2017)

Se pretende entender, como dice Worster, “*por qué* ha estado ocurriendo esta destrucción, o por qué se ha acelerado con el paso del tiempo”. En el caso de la Comarca Lagunera, el abatimiento de acuíferos, el deterioro de la calidad del agua subterránea, la concentración de derechos de agua y el desplazamiento de los pequeños agricultores.

### **Marco Teórico o conceptual**

El marco teórico que se utiliza es el de la historia ambiental. Consiste en cómo la sociedad modifica el medio ambiente y en cómo este medio ambiente modificado impacta sobre la sociedad. Esta relación dinámica puede ser positiva, pero, en ciertos casos, especialmente en esta época, es negativo. Un caso especialmente visible fue la tolvanera (el *dust bowl*) en la década de 1930 del siglo pasado. Se araron suelos frágiles, se introdujo pastoreo de ganado, hubo varios años secos y, con el viento, se levantaron tolvaneras inmensas. La población tuvo que migrar (Worster, 2004).

La historia ambiental de La Laguna, por el impacto de las decisiones sociales sobre el medio ambiente también parece seguir esa historia catastrófica de destrucción ambiental y social.

### **Metodología**

El marco teórico o enfoque de la historia ambiental requiere de la combinación de conocimiento social y técnico. Por un lado, las decisiones y estrategias sociales, mecanismos económicos y de legislación para una cierta relación o explotación del medio ambiente (construcción de presas, supresión entarquinamiento, perforación pozos, facilitación traspaso derechos de agua), por otro los efectos sobre el medio ambiente

(deseccación, disminución recarga, con el consecuente abatimiento y afectación a la calidad del agua).

La presentación está basada en fuentes secundarias y resultados preliminares de trabajo de campo. Se trata de recuperar aquellos aspectos que describen la catástrofe ambiental, así como las políticas públicas que, a nuestro entender, han contribuido. Interesan las políticas públicas que han incentivado la explotación de agua subterránea, así como las políticas dirigidas a mayor eficiencia de riego para el agua superficial que, como argumentamos, han contribuido al problema y no a la solución.

## **Resultados y Discusión**

### *La Comarca Lagunera*

La Comarca Lagunera, es o fue un oasis en el norte de México. Como su nombre indica fue un lugar de lagunas, ahora secas, en una cuenca cerrada con dos ríos importantes, el Nazas y el Aguanaval, siendo el Nazas el más considerable. Aquí se encuentra el Distrito de Riego 017, que supuestamente gobierna, junto con los módulos, las aguas superficiales, no así las aguas subterráneas.

En la segunda mitad del siglo XIX inicia el aprovechamiento de las aguas de la Comarca Lagunera para riego. La técnica utilizada es el llamado entarquinamiento en cajas de agua. Esto es una técnica para esparcir las aguas de avenida introduciéndolas en cajas o cuadros, es decir en parcelas rodeadas por diques que cuentan con compuertas de entrada y salida. El agua se puede esparcir por canales o pasando el agua de caja en caja. De igual manera se pueden vaciar las cajas del agua que no se ha percolado antes de la siembra. A cada caja se introduce agua hasta una altura de un metro y los diques de tierra tienen alturas de metro y medio. La técnica permite guardar la humedad en el suelo (Chairez, 2005).

La técnica de entarquinamiento en cajas de agua fue típica del Bajío, antes de la construcción de presas de almacenamiento y aún persiste en lugares como el Distrito de Riego de Zamora, en el valle de Coeneo-Huaniqueo, y otros pequeños espacios de la región del Bajío; se reporta también en el estado de Sonora (Eling & Sánchez Rodríguez, 2000; López Pacheco et al., 2008; Navarro, 2019; Sánchez Rodríguez, 2018).

En la búsqueda de antecedentes prehispánicos o del Viejo Mundo de esta técnica de entarquinamiento en cajas de agua encontramos que fue típica del Nilo y solo desapareció con la construcción de presas a fines del siglo XIX y principios del siglo XX. En la literatura sobre Egipto recibe el nombre de *basin irrigation* en inglés y *l'irrigation par bassins* en francés. También se encuentra esta técnica, todavía en uso, en las Islas Canarias donde recibe el nombre de *gavia* y, un conjunto interconectado de gavias, recibe el nombre de *rosa* (Palerm et al., 2001).

En la Comarca Lagunera a fines del XIX y a principios del XX los cultivos consistieron en algodón y trigo. En la primera mitad del siglo XX el cultivo del algodón tuvo gran importancia, hasta la crisis de precios. En la década de 1980 cobra relevancia el cultivo de forrajes.

Los inicios del regadío en la Comarca Lagunera estuvieron en manos de haciendas y los conflictos por el aprovechamiento del agua de los ríos llevaron a los primeros reglamentos de la época porfiriana al amparo de la ley de 1888, en lo que Aboites (1998) ha denominado la federalización de las aguas.

Aunque cabe señalar que las reglamentaciones siguen el modelo de los *repartimientos* coloniales. Algunos de los repartimientos o reglamentos coloniales, como la llamada *Sentencia Peñafiel* de 1635, seguía siendo el modelo de reparto de agua sobre el río Nexapa en el estado de Puebla a fines del siglo XX. En el siglo XIX la judicialización de conflictos entre usuarios llevó a acuerdos que no son muy distintos de los repartimientos o reglamentos. Los reglamentos de la época porfiriana, así como los reglamentos de las juntas de aguas para reparto de agua del río o de canales de buena parte del siglo XX, toman en consideración los antecedentes. Es decir en los expedientes del Archivo Histórico del Agua, se puede retroceder en el tiempo encontrando las mismas presas derivadoras y cajas divisorias (Palerm, 2009; Rodríguez Meza, 2000).

En el periodo presidencial de Lázaro Cárdenas, hay un cambio importante en las unidades de producción con el reparto agrario, de haciendas a ejidos. Poco después inicia el aprovechamiento de aguas subterráneas con la perforación de pozos y elevación del agua con equipos mecánicos (Wolfe, 2014).

En la Comarca Lagunera, se presentan, de manera simultánea, dos fenómenos.

El primer fenómeno consiste en obras que limitan la infiltración o percolación de las aguas superficiales, la construcción de presas de almacenamiento sobre el río Nazas

(Lázaro Cárdenas en 1946 y Francisco Zarco en 1968), así como sobre el río Aguanaval (Los Naranjos y El Tigre, que redujeron agua que llega a la Comarca Lagunera); la supresión del entarquinamiento en cajas de agua en la década de 1960, salvo espacios regados por el río Aguanaval; el encasquillado o encementado de los canales de tierra. El paso siguiente, previsto, consiste en lo que denominan “tecnificación” del riego (Cháirez, 2005; Cháirez & Palerm, 2014).

Cabe señalar que las aguas superficiales del río Nazas no alcanzan para la dotación completa de derechos de agua en un buen número de años y, según la misma Conagua, no hay disponibilidad, y muy pocas veces las presas tienen derramas.

A partir de la construcción de la Presa Lázaro Cárdenas (segunda mitad de la década de los cuarenta), la laguna mencionada [Mayrán] sólo esporádicamente se forma con las aguas del río Nazas, pues sólo en cinco ocasiones sus avenidas han desembocado en su destino natural: 1958, 1968, 1991/92, 2008 y 2010. (Hernández Alvarado & López Franco, 2016, p. 50)

Más significativo, en algunos años de sequía, la superficie de riego se ha contraído a unos pocos miles de hectáreas, ello ha ocurrido a fines de la década de 1940 y principios de la década de 1950, así como a inicios de la década de 1990 (Villanueva Díaz et al., 2006).

El segundo fenómeno consiste en el aumento de la extracción de aguas subterráneas, no obstante vedas –y reglamentos-- que inician en 1949. Las vedas, según la legislación federal (Ley Reglamentaria del Párrafo Quinto del Artículo 27 Constitucional en materia de aguas del subsuelo, 1948), permitían que la federación interviniese en lo que hasta ese momento había sido el aprovechamiento de aguas subterráneas por libre alumbramiento. Es decir las vedas no consistían en cancelar toda posibilidad de aprovechamiento (Palerm, 2005).

Aparentemente el control de pozos en las zonas de veda se llevaba a nivel nacional por un Registro Nacional de Pozos. En la década de los 1990s con una nueva legislación de aguas, aún vigente, se pasa a un sistema de concesiones y el Registro Nacional de Pozos sirve de base para las concesiones. No obstante, sigue existiendo en el país el libre alumbramiento fuera de las zonas de veda. En el sexenio de Peña Nieto se suprime en todo el país, por decreto, el libre alumbramiento. En estos lugares de libre alumbramiento, para demostrar la preexistencia de aprovechamientos de pozos, la Conagua dio un documento

llamado *folio 8*. Esta documentación, al parecer, está, como dicen “emproblemada”. A ello hay que añadir las estrategias de trasposos parciales de derechos de aguas, permitiendo que exista legalmente más de un pozo, así como un número no determinado de pozos irregulares y, en todos los casos, la ausencia de control sobre los volúmenes extraídos (Aguilar Amilpa, 2013; Conagua, s/f-b; DOF, 2020b; Domínguez & Carillo-Rivera, 2007; Gómez Durán & Mayorga, s/f; McCulligh, 2018; Tobón de Garza, 2020).

Para controlar la extracción de agua subterránea, en la legislación se indicó que solo en los acuíferos en que la recarga está por encima de la extracción, se darían concesiones (Conagua, s/f-a), lo que aparentemente no se cumple en la Comarca Lagunera (Romero Navarrete, 2022). Aunque, hay que señalar, el cálculo de extracción se basa en las concesiones autorizadas. Este acercamiento a un posible control de extracciones, tiene variados problemas y según señala un hidrogeólogo “La gestión del agua [subterránea] en México ha sido errónea durante las últimas décadas porque se ha basado en conceptos técnicos y científicos falsos ...” (Ortega Guerrero, s/f). Sin embargo, los hidrogeólogos han sido poco hábiles en explicitar, para el público en general, las críticas al actual procedimiento o procedimientos que utiliza Conagua.

Sea como fuese, las estrategias nacionales y locales para detener y revertir el abatimiento de las aguas subterráneas no han prosperado. Muy al contrario, se ha ido agravando el abatimiento.

Al deterioro coadyuva indudablemente la tarifa 09 de CFE, como lo señalan varias investigaciones (Ávila et al., 2005; Olavarrieta Carmona et al., 2010; Reuben & et al, 2009); esta tarifa se reactivó en 2003 y como señala la Secretaria de Agricultura en 2016:

Con la Cuota Energética (KWh) que te otorga la SAGARPA, tus costos actuales por concepto de energía eléctrica tendrán una disminución de hasta el 90 % en el pago de energía eléctrica (...) Para acceder a la tarifa 09 se requiere título de concesión o constancia de Uso y aprovechamiento, emitido por la CONAGUA). (SADER, 2016).

Según la página web de CFE:

Esta tarifa de estímulo se aplicará para la energía eléctrica utilizada en la operación de los equipos de bombeo y rebombeo de agua para riego agrícola por los sujetos productivos inscritos en el padrón de beneficiarios de energéticos



agropecuarios, hasta por la Cuota Energética determinada por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (CFE, s/f)

La tarifa especial para riego agrícola se suspendió, temporalmente, en 1990 e inició el programa de uso eficiente del agua y la energía eléctrica, destinado a subsidiar la mejora electromecánica de las bombas y la tecnificación del riego con fines de reducir el consumo de electricidad (Alexander Freziéres, 2020).

En la región de la Comarca Lagunera, la Conagua ha delimitado administrativamente varios acuíferos (Principal, Ceballos, Oriente Aguanaval, Vicente Suárez, Villa Juárez, Nazas, Acatita, Delicias), unos con disponibilidad, otros en números rojos según estudios de la Conagua (González Barrios et al., 2010).

En el caso de la Comarca Lagunera, los dos fenómenos de menor infiltración o percolación de aguas superficiales y el aumento de los aprovechamientos de aguas subterráneas, han llevado a un importante abatimiento de las aguas subterráneas, a la desecación de la laguna y manantiales de Viesca, a la desecación de la Laguna de Mayrán, a la desecación de la laguna de Tlahualilo; pero además ha llevado a la presencia de arsénico en las aguas para consumo humano, lo que se denomina hidroarsenicismo. La primera detección de esta problemática data de fines de la década de 1950 (Enríquez Robledo et al., 2021, p. 25).

Para abordar la problemática de escasez de agua para riego con aguas superficiales en la Comarca Lagunera se han seguido varias estrategias, una de ellas, como ya señalamos, ha consistido en dosificar el riego, así la construcción de presas de almacenamiento, la supresión del entarquinamiento en cajas de agua, el encasquillamiento o encementado de canales y las propuestas más recientes de tecnificación del riego. A nivel internacional, desde hace varias décadas, se ha señalado que el riego por goteo u otras técnicas de dosificar el agua, permiten “ahorrar” agua. Otros críticos, desde hace varias décadas, han señalado que esa agua antes desperdiciada y ahora ahorrada, se iba a algún sitio. Que el cálculo de “ahorro” es solo válido para el balance que se hace para un dado sistema de riego entre agua que ingresa y agua utilizada por el cultivo, pero no es válido en un balance más amplio, que incluye a dónde se va el agua “desperdiciada” (Perry, 2007; Seckler, 1996).

Estudios empíricos de los resultados de la tecnificación señalan que frecuentemente esta no se traduce en un ahorro de agua; aún en el caso de aguas subterráneas, la situación más frecuente es la expansión de cultivos o cultivos más demandantes de agua, a menos que exista una política eficaz de control de volúmenes (Grafton et al., 2018; Hernández-Rodríguez, 2006; Perry et al., 2017; Ward & Pulido-Velazquez, 2008).

En otras investigaciones, interesados en la conectividad entre aguas superficiales y subterráneas, se ha mostrado cómo los riegos tradicionales “ineficientes” contribuyen a mantener agua en el río y/o son una fuente importante de la recarga de los acuíferos (Bai et al., 2021; Conrad et al., 2022; Rotiroti et al., 2019). Por ejemplo, en el valle del Po, en Italia:

Employment of ... more efficient sprinkler/drip/micro irrigation methods would decrease recharge, ... and lessen the flow that maintains the springs of the springs belt. (...) Moreover, the decrease of aquifer recharge would imperil the present-day groundwater extraction rates from abstraction wells that sustain drinking water supply and many industrial uses. (Rotiroti et al., 2019, p. 353).

En el caso de la Comarca Lagunera, el agua “desperdiciada” se iba a las lagunas, a los manantiales de Viesca y hacia el o los acuíferos (a formaciones geológicas que transmiten y ceden agua). De tal manera que todo “ahorro” de agua se traduce en una mayor desertificación y disminución de la recarga. Cabe anotar que experimentos de recarga de la Conagua utilizando el cauce del río han sido exitosos (Gutierrez Ojeda & Ortiz Flores, 2017).

Para abordar la problemática de abatimiento de las aguas subterráneas en la Comarca Lagunera se ha sugerido el control de pozos irregulares, el cambio a cultivos menos demandantes de agua y, también, la recarga. La tecnificación también se ha considerado como una estrategia para evitar el abatimiento de acuíferos. En México, hubo cuando menos un programa de tecnificación de riego con aguas subterráneas, con fines de atender el problema de abatimiento de acuíferos (DOF, 2011; SEMARNAT. Dirección General de Investigación en Política y Economía & Ambiental, s/f). Como ya se señaló la tecnificación, sin un control de volúmenes, lleva a una mayor extracción de agua al ampliar superficie o el cambio a cultivos con un uso más intensivo de agua, impulsado a su vez por los altos costos de la tecnificación (Bai et al., 2021).

Entretanto en la Comarca Lagunera, el abatimiento de las aguas subterráneas, la crisis de los precios del algodón, la sequía de principios de la década de 1990 y el retiro de los apoyos de la federación a los Distritos de Riego en conjunto desplazaron al sector social. Se concentró el acceso al agua en los grandes productores y en particular en el sector lechero. Las aguas subterráneas, por transferencia de derechos debido a que el sector social no podía sufragar los costos de profundizar pozos y pagar el incremento en consumo de energía eléctrica; las aguas superficiales, por el llamado “rentismo”, es decir el arriendo de tierras con su acceso de aguas (Contreras-Rentería, 2001; Fortis-Hernández & Alhers, 1999).

Ahora bien, aunque suele señalarse la recarga como una posibilidad, al parecer esta dependería de la compra, renta o rescate<sup>1</sup> de derechos de aguas superficiales con fines de recarga, ello debido a que los concesionarios no conservarían su derecho sobre esas aguas, debido a que a las aguas superficiales al infiltrarse pasan a ser nuevamente sujetas a concesiones, ahora de aguas subterráneas. Es decir, el beneficio sería para aquellos que cuentan con concesiones de aguas subterráneas. En California (Estados Unidos), en contraste, aquel que tiene un derecho de agua superficial y la envía al subsuelo, mantiene el derecho sobre esa agua. Como señalan:

And under California law, once that water is injected into the ground, it is still considered surface water and is still subject to surface water law, even though it is physically in the ground and maybe physically commingled with groundwater. So for accounting purposes, that still [is] surface water. (*Feature: legal aspects of groundwater recharge: do we need a groundwater recharge ethic?*, 2022). +++

Una ventaja de la gestión de acuíferos con recarga artificial consiste en que el acuífero es un gran reservorio, sin costos de construcción y de evaporación como ocurre con las presas de almacenamiento (Bonilla Valverde & Stefan, 2017, p. 68).

Esta posible reconversión en la Comarca Lagunera o en otras regiones de México, de eliminar el almacenamiento en las presas para permitir la recarga, está impedida en el país dada la legislación actual, esto es las aguas superficiales que se infiltran, aunque sea de manera deliberada, se vuelven nuevamente sujetas de concesión. Sobre el tema, hemos encontrado escasas referencias, por ejemplo, en una, se señala escuetamente:

---

<sup>1</sup> Ver, Programa de Adecuación de Derechos de Uso de Agua (PADUA).

El conjunto de aspectos legislativos y de gestión a considerar en la planeación e implementación de los proyectos MAR [recarga artificial] que los expertos destacan, son aquellos relacionados con los derechos del agua, la tenencia de la tierra, qué actores pagan y quiénes se benefician de la recarga, así como quién la gestiona. (González Villarreal et al., 2017)

La expectativa para la Comarca Lagunera, si continua con el aprovechamiento tecnificado de aguas superficiales y la explotación de aguas subterráneas, es una mayor desertificación y un mayor abatimiento de las aguas subterráneas, quizá mediado por el costo creciente en energía de elevar las aguas. No obstante, existe otro problema, además de la desertificación, y consiste, como ya señalamos, en la presencia de arsénico en las aguas subterráneas. A inicios de la década de 1960 ya se habían publicado diversos estudios de médicos que señalan el problema de salud y lo vinculan al agua<sup>2</sup>; según señala uno de los textos, son:

Estudios que la Secretaría de Salubridad y Asistencia planeó realizar en la Zona De La Laguna en donde se han descubierto casos de intoxicación arsenical crónica... (Chávez et al., 1964)

Sin embargo, en estos primeros estudios, los autores parecen señalar que las aguas subterráneas de las que se abastece la población de la Comarca Lagunera se han contaminado por una fuente en la superficie (Viniegra et al., 1964, pp. 412–414).

Desconocemos en qué momento se determina que el arsénico no proviene de una fuente en la superficie. En 1990 todavía se considera como hipótesis esta posibilidad, aunque se deshecha (DOF, 2015; González Hita et al., 1995; González Hita & Sánchez

---

<sup>2</sup> Por ejemplo: Chávez, A. B., et. al. (1964). Estudios en una comunidad con arsenicismo crónico endémico. *Salud Pública, Epoca V. Vol. VI. Núm. 3*; Castellano, Luis, et. Al. (1964) El arsenismo en la Comarca Lagunera, estudio epidemiológico de arsenicismo en las colonias Miguel Aleman y Eduardo Guerra, de Tlaxiaco, Coah. *Salud Pública, Epoca V. Vol. VI. Núm. 3*; Viniegra, G., et. al. (1964) La polución atmosférica e hídrica en La Comarca Lagunera, *Salud Pública, Epoca V. Vol. VI. Núm. 3*; Tovar, E. et. al (1964) Estudios en una comunidad con arsenicismo crónico endémico III. Ingestión y excreción de arsénico. *Salud Pública, Epoca V, Vol. 6. Núm. 3*; Chávez, A., et. al. (1964) Estudios en una comunidad con arsenicismo crónico endémico. I. Datos generales de la comunidad. *Salud Pública, Epoca V. Vol. VI. Núm. 3*. Unos años después: Albores, A., et.al. (1979) Estudio comparativo de hidroarsenicismo crónico en dos comunidades rurales de la región lagunera de México. *Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana*, 86 (3): 196-205.

Díaz, 1992). Aunque una tesis de la Narro de 1989, da como un hecho que el arsénico proviene del mismo acuífero (Montemayor Trejo, 1989).

El problema no ha hecho más que agravarse al extenderse a más pozos de la Comarca Lagunera (Hernández Alvarado et al., 2022).

La presencia de arsénico en el agua afecta a la población humana, pero también afecta al suelo al contaminarlo, así como a las plantas y animales. Ello a su vez implica que se puede introducir a la cadena alimenticia agregando carga de arsénico de diversas fuentes (Castro-González et al., 2018; Girón Pérez, 2014; Heikens, 2006; Hermosillo Muñoz et al., 2019; Medina Pizzali et al., 2018; Rosas et al., 1999). Lo anterior implica que el problema no se termina con dotar de agua realmente potable a la población.

Existió una iniciativa, que arranca en 2014, para dotar de agua sin arsénico a la población en la Comarca Lagunera, esta implica la instalación de filtros; sin embargo los filtros no están en funcionamiento (González Herrera et al., 2016; López & Ayala Barbos, 2022; Rodríguez, 2022). La opción filtros se ha desechado sin más.

La última iniciativa consiste en un proyecto llamado “agua saludable” y que consiste en derivar agua del Nazas, aguas abajo de las presas de almacenamiento para conducir las a una gran planta de tratamiento o potabilización y posteriormente repartirla por la Comarca Lagunera. Hubo un tropiezo importante que consistió en la ubicación de la presa derivadora dentro de un sitio RAMSAR, a ello se opusieron ambientalistas locales y posteriormente ejidatarios de la parte alta del Nazas ya que temían afectaría su acceso al agua. Finalmente se resolvió con el cambio de ubicación de la presa derivadora. Académicos y ambientalistas locales sin embargo cuestionan que no haya una política de frenar la explotación de las aguas subterráneas (Aguilar, 2021; Canedo, 2021a, 2021b, 2021c; Editorial, 2021; *Firma de acuerdos vinculantes a Agua Saludable para La Laguna*, 2021; González, 2021; Rábago, 2021).

La Conagua aparentemente pretende “liberar” agua mediante la tecnificación del riego, ello debido a que no hay disponibilidad de aguas superficiales (aunque la Conagua mantiene posturas muy ambiguas) (Alatorre, 2020; García, 2021).

Samuel Martínez aseguró que en apego a los COMPROMISOS establecidos con la Presidencia de la República en el marco del Plan Agua Saludable para La Laguna, serán 2 mil millones de pesos los que se destinarán a las acciones de tecnificación de los riegos de todos los Módulos, con lo que se realizarán obras

de nivelación, revestimiento de canales terciarios o a nivel de parcela, así como otras que ayuden a elevar la eficiencia para que la dotación de derechos de agua que destinarán al proyecto, se compense con ahorros y productividad. (Alatorre, 2022)

Como ya señalamos el supuesto “ahorro” de agua, en realidad significa desviar de su curso agua que iba a algún sitio —posiblemente a recargar los acuíferos<sup>3</sup>. De tal manera que la desertificación de la Comarca Lagunera se acentuará.

La inversión en tecnificación con fines de dotar al proyecto de agua saludable, significa que debe haber también una cesión de derechos de agua. Habrá que ver cómo se da este proceso.

El proyecto también se vuelve complejo porque el presupuesto de obra civil, aunque indica que el agua de la planta potabilizadora se entregará en algunas derivaciones y tanques de almacenamiento (1 en Lerdo con capacidad de 3,000 m<sup>3</sup>, 1 en Torreón de 8,000 m<sup>3</sup> y a seis tanques de almacenamiento existentes en Gómez Palacio) y de estos a las líneas de interconexión, no incluye trabajos para modernizar las redes urbanas y por tanto, no está claro que los usuarios puedan recibir el agua (*Análisis costo beneficio del proyecto agua saludable para la Laguna (en formato electrónico)*, s/f, pp. 72–73, 83–92). El actual abasto se basa en una multitud de pozos, cada uno con su red de distribución.

Las familias de La Laguna cuentan con poca información sobre la situación de los pozos y si estos tienen o no arsénico. No hemos visto trabajos de cómo las familias de La Laguna acceden al agua para beber, por ejemplo, compra de garrafones, en la expectativa de un mayor tratamiento de las aguas.

### **El agua en la Comarca Lagunera: datos actuales**

El Distrito de Riego 017 (DR 017), con aguas de los ríos Nazas y Aguanaval para el año 2020, con un volumen anual de bruto de 943,895 miles de m<sup>3</sup>, reporta una superficie regada de 55,240 ha regadas, con una lámina de riego bruta de 1.72 m (Conagua, 2020b);

---

<sup>3</sup> En Conagua (2020a), se señala que la mitad de la recarga proviene de la zona de riego y fugas de los sistemas de agua entubada. En una presentación el Ing. Juan Pablo del Conde Guadalajara señala que la tecnificación va a reducir la recarga; y que es necesario reducir en un 70% la extracción por pozos (*Proyecto Agua Saludable para La Laguna un paso para recuperar la seguridad hídrica en la región Lagunera Diálogo con Ingenieros*, 2022).

esta última medida desde la presa Lázaro Cárdenas (El Palmito) hasta los puntos de control de los módulos de riego.

Una superficie total regada por debajo de las 93,914.40 ha que se regaban antes de la construcción del sistema de presas (Cháirez, 2005; Liga de Agrónomos Socialistas (LAS), 1940).

En el año 2020, conforme a la Conagua (2020b), la superficie sembrada de maíz forrajero y sorgo forrajero, del total de la superficie establecida, representó el 27.03% y 29.28%, respectivamente. La siembra de cultivos forrajeros marca por completo un cambio en el patrón de cultivos, ya que en el DR 017 hasta inicios de en la década de los 80's, el cultivo predominante fue el algodón.

El DR 017, a la mayoría de los módulos de la parte baja del DR 017, les entrega el agua en unidades de volumen sobre la base de la superficie autorizada y una lámina bruta de riego predeterminada que oscila entre 1.36 m y 1.39 m (Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna (UAAAN), 2012a, 2012b); en orden consecutivo, al interior de los módulos de riego, a nivel de sección de riego, el gerente técnico entrega a los canaleros láminas de riego brutas de aproximadamente 1.20 m, lo que representa un 37-40% más de la lámina neta de riego que exigen los cultivos de algodón, maíz forrajero y sorgo forrajero en la Comarca Lagunera (Entrevistas, 2023).

El número de riegos que se programa para los cultivos de maíz y sorgo y forrajeros es de 4 (1 de aniego o presiembra y 3 de auxilio), sin embargo, en algunos módulos de riego, puede ocurrir que al momento del riego de aniego el usuario le solicite al canalero el adelanto del 25% del volumen del tercer riego, lo que le permite al usuario ampliar su superficie de riego programada, en el entendido de que no se le proporcionará el tercer riego de auxilio y que el volumen restante de este riego, se aplicará en los riegos de auxilio subsiguientes que requerirá la superficie regada y no programada. En el ámbito rural, a esta práctica se le conoce como “práctica del 25 por ciento adicional” y en cierta forma, significa un reacomodo del volumen autorizado a nivel de módulo de riego (Trabajo de campo, 2022).

Lo anterior, para los cultivos indicados, implica que terminarán su ciclo vegetativo con las lluvias que se presenten en los meses de julio y agosto, con pérdidas en la producción que van de un 10-20%; y, que, el porcentaje de la lámina bruta a nivel de sección de riego

con respecto a la lámina neta exigida por estos cultivos, pudiera incrementarse al sumarle a la lámina bruta las aportaciones por lluvia (Trabajo de campo, 2022; Entrevistas, 2023).

La siembra de cultivos forrajeros y las políticas de administración del agua de los ríos Nazas y Aguanaval por el DR 017, así como por la capacidad económica de los usuarios de realizar las adecuaciones pertinentes a nivel de parcela, da lugar a que en la actualidad el agua de riego sea entregada en unidades de superficie al sector social y en unidades de volumen a la pequeña propiedad (Trabajo de campo, 2022).

En cuanto a la diferencia entre la lámina bruta reportada por Conagua (1.72 m) y la lámina bruta a punto de control de módulo de riego (1.36-1.39 m) reportado por UAAAN, podría deberse a las pérdidas por conducción; en tanto al interior del módulo de riego, la diferencia entre la lámina de riego bruta entregada en el punto de control del módulo de riego (1.36-1.39 m), la lámina bruta entregada a nivel de sección de riego (1.20 m) y la lámina de riego neta requerida por los cultivos (0.70-0.75 m), podría deberse a pérdidas por conducción y de aplicación a nivel de parcela.

En cuanto a las aguas subterráneas provenientes del acuífero Principal, la SADER (2021), en los municipios de Lerdo, Gómez Palacio, Mapimí y Tlahualilo en el estado de Durango, así como en los municipios de Torreón, Matamoros, Francisco I. Madero, San Pedro y Viesca en el estado de Coahuila; para el año 2021, reporta una superficie total 100,793.46 ha, de las cuales aproximadamente 67,036.65 ha corresponden al área del acuífero Principal (0523), con un volumen anual estimado de 1,172.23 millones de m<sup>3</sup> anuales; mismo acuífero del que según la Conagua (2020c), se extraen 198.99 millones de m<sup>3</sup> anuales para uso público urbano; un volumen anual estimado de 62.81 millones de m<sup>3</sup> para abastecer de agua al ganado bovino, caprino, ovino y porcino reportado por SADER (2020); lo que hace un volumen anual total de extracción estimado de 1,434.03 millones de m<sup>3</sup>.

El volumen anual estimado en este texto de 1,434.03 millones de m<sup>3</sup> por extracción (bombeo), con respecto a los datos de Conagua (DOF, 2020a) de volumen de extracción por bombeo (1,088.50 millones m<sup>3</sup>) y al volumen concesionado (683.145 millones de m<sup>3</sup>), este último considerado como el volumen de extracción en el cálculo de la Disponibilidad Media Anual del acuífero (DMA); resulta ser mayor.

La piezometría en el acuífero Principal (0523), también considerado como la fuente principal de agua para consumo humano en la Comarca Lagunera, muestra que en el



período 1990-2010, en la zona metropolitana (conurbada), se presentaron 6 conos de abatimiento: uno de 80 m en Torreón (4 m/año), 2 más entre Torreón y Francisco I. Madero, ambos de 60 m (3 m/año), uno al oriente de Francisco I. Madero de 70 m (3.5 m), uno al sureste de Matamoros de 50 m (2.5 m/año) y finalmente, entre Tlahualilo y Francisco I. Madero, otro más de 50 m (2.5 m/año) (Aparicio González, 2018, p. 39).

En cuanto al contenido de arsénico, por la sobreexplotación del acuífero Principal (0523), más del 60% del agua para uso doméstico proveniente de los pozos profundos localizados en el área del acuífero Principal, presenta contenidos de arsénico mayores a 0.25 mg/l, cantidad que se incrementará en el futuro por la sobreexplotación a la que se encuentra sometido el acuífero (*Análisis costo beneficio del proyecto agua saludable para la Laguna (en formato electrónico)*, s/f, pp. 24–28; Cháirez, 2023).

## Conclusiones

¿Cómo explicar la persistencia de la dosificación de las aguas superficiales? La dosificación de las aguas superficiales permite ampliar superficies de cultivo o pasar a cultivos más intensivos. Esa agua “ahorrada” es agua que deja de fluir por donde iba, infiltrándose, volviendo al río. Impacta al medio ambiente y a la recarga de las aguas subterráneas. No obstante, beneficia a los agricultores. Aunque, en el caso de ceder derechos, es problemático para los agricultores por el costo de renovación de la tecnología de riego por goteo.

Además, muchos ingenieros no consideran relevante tomar en cuenta a dónde se iba el agua, es simplemente: ahorro de agua. Y, desde la perspectiva de los agricultores, el agua que pudiera recargarse al acuífero, es, para ellos, agua perdida. No obstante, para los usuarios de aguas subterráneas invertir en la recarga pudiese ser una opción.

¿Cómo explicar la persistencia de la explotación de las aguas subterráneas? Es demasiado fácil la proliferación de pozos regulares con la transmisión parcial de derechos, con el folio 8 y con la inexistencia de control de volúmenes, además se promueve la explotación con la tarifa 09; a ello se añan los pozos francamente irregulares, de difícil detección.

La tecnificación del riego, que ha sido una de las soluciones implementadas, no necesariamente se traduce en menor extracción, para ello se requiere, cuando menos, un control eficaz de volúmenes.

Las políticas públicas y la legislación no han dotado de suficientes herramientas o han dotado de herramientas equivocadas para abordar el problema del abatimiento de acuíferos, al parecer la única herramienta consiste en negar concesiones de aguas subterráneas. Los hidrogeólogos no han aportado lo suficiente para marcar otras rutas posibles.

¿Cui bono?, ¿Quién ha salido beneficiado? El sector lechero de la Comarca Lagunera.

Los perdedores como resultado de las políticas públicas han sido el sector social, en gran medida desplazado, la población local que está sujeta a la ruleta rusa del hidroarsenicismo y el medio ambiente que está en grave deterioro.

*Agradecimientos.* Al Posgrado en ciencias agropecuarias y desarrollo rural de la Universidad Autónoma de Morelos, donde Jacinta Palerm realizó una estancia sabática en 2021-2022 dedicado al tema de aguas subterráneas.

## **Bibliografía**

- Aboites, L. (1998). *El agua de la nación. Una historia política de México (1888-1946)*. CIESAS.
- Aguilar Amilpa, E. (2013). *Transmisión de derechos de uso del agua en México: Diagnóstico preliminar. Preparado para el Taller sobre el Sistema Mexicano de Derechos para la Gestión del Agua*.
- Aguilar, T. (2021, enero 12). Escasez de agua. Sigue el conflicto por el proyecto “Agua Saludable para La Laguna”. *La izquierda diario*. <https://www.laizquierdadiario.mx/Sigue-el-conflicto-por-el-proyecto-Agua-Saludable-para-La-Laguna>
- Alatorre, L. (2020, agosto 26). Aportarán 50 Mm3 anuales para proyecto de AMLO de agua en La Laguna. *Milenio*. <https://www.milenio.com/estados/laguna-aportaran-50-mm3-anuales-proyecto-agua-amlo>
- Alatorre, L. (2022, julio 28). Dan constancia a nueva directiva de Módulo de Riego 03; esperan 15 mdp de Agua Saludable. *Milenio*. <https://www.milenio.com/estados/durango-dan-constancia-a-nueva-directiva-de-modulo-de-riego-03>

- Alexander Freziéres, J. (2020). *El desarrollo histórico de las Unidades de Riego*. Cuarto Seminario Temático Las Unidades de Riego en México: el sector agrícola olvidado. <https://www.youtube.com/watch?v=4oZItYT7JtE>
- Análisis costo beneficio del proyecto agua saludable para la Laguna (en formato electrónico)*. (s/f).
- Aparicio González, J. C. (2018). *Estudio geohidrológico del acuífero principal de la comarca Lagunera, estados Durango y Coahuila*. [Tesis Maestría]. IPN-ESIA.
- Ávila, S., Muñoz, C., Jaramillo, L., & Martínez, A. (2005). Un análisis del subsidio a la tarifa 09. *Gaceta Ecológica*, 75, 65–76.
- Bai, Y., Langarud, S. P., & Fernald, A. G. (2021). System Dynamics Modeling for Evaluating Regional Hydrologic and Economic Effects of Irrigation Efficiency Policy. *MDPI Hydrology*, 8(61). <https://doi.org/10.3390/hydrology8020061>
- Bonilla Valverde, J. P., & Stefan, C. (2017). Manejo de la recarga de acuíferos. En O. Escolero, C. Gutiérrez, & E. Mendoza (Eds.), *Manejo de la recarga de acuíferos: Un enfoque hacia Latinoamérica* (pp. 65–79). IMTA.
- Canedo, F. (2021a, octubre 8). Sigue litigio por obras de Agua Saludable para La Laguna. *El Siglo de Torreón*. <https://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/2021/sigue-litigio-por-obras-de-agua-saludable-para-la-laguna.html>
- Canedo, F. (2021b, noviembre 30). Ejidatarios piden mover punto de extracción de Agua Saludable. *El Siglo de Torreón*. <https://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/2021/ejidatarios-piden-mover-punto-de-extraccion-de-agua-saludable.html>
- Canedo, F. (2021c, diciembre 21). Agua Saludable cambia punto de extracción. *El Siglo de Torreón*. <https://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/2021/agua-saludable-cambia-punto-de-extraccion.html>
- Castro-González, N., & et al. (2018). Metales pesados en leche de vacas alimentadas con alfalfa producida en suelos irrigados con aguas residuales en Puebla y Tlaxcala, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 9(3), 466–485. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i3.4358>
- CFE. (s/f). *Tarifa 9 Cargo Único*. <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCRENegocio/Tarifas/AgricolaCargoUnico.aspx>

- Chairez, C. (2005). *El impacto de la regulación de los ríos en la recarga a los acuíferos: El caso del acuífero principal de la Comarca de La Laguna* [Tesis Doctorado]. Colegio de Postgraduados.
- Cháirez, C. (2005). *El impacto de la regulación de los ríos en la recarga a los acuíferos: El caso del acuífero principal de la Comarca de La Laguna* [Tesis Doctorado]. Colegio de Postgraduados.
- Cháirez, C. (2023). *Agua para uso público urbano en la región Lagunera*. VII Congreso Nacional de la Red de Investigadores Sociales Sobre el Agua.
- Cháirez, C., & Palerm, J. (2014). Los impactos ambientales por la construcción de presas en los ríos: El caso del río Nazas. En M. del Roble Pensado Leglise & P. Muñoz Sevilla (Eds.), *Territorio, Poder y Deterioro Ambiental* (pp. 245–266). CIIEMAD, IPN.
- Chávez, A., & et al. (1964). Estudios en una comunidad con arsenicismo crónico endémico. I. Datos generales de la comunidad. *Salud Pública, Época V, VI(3)*, 421–433.
- Conagua. (s/f-a). *Disponibilidad por Acuíferos*. 1. [https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/sections/Disponibilidad\\_Acuiferos.html](https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/sections/Disponibilidad_Acuiferos.html)
- Conagua. (s/f-b). *Suspensión Provisional de Libre Alumbramiento*. <https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/sections/LibreAlumbramiento.html>
- Conagua. (2020a). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el Acuífero Principal-Región Lagunera (0523), estado de Coahuila*. [https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos\\_Acuiferos\\_18/coahuila/DR\\_0523.pdf](https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/coahuila/DR_0523.pdf)
- Conagua. (2020b). *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego de 1998 a 2020*.
- Conagua. (2020c). *Información básica de prestadores de servicios de agua potable y saneamiento (Localidades mayores de 10,000 habitantes)*. *En formato electrónico*.
- Conrad, L. M., Fernald, A., Guldan, S. J., & Ochoa, C. G. (2022). A Water Balancing Act: Water Balances Highlight the Benefits of Community-Based Adaptive Management in Northern New Mexico, USA. *MDPI Hydrology*, 9(64). <https://doi.org/10.3390/hydrology9040064>
- Contreras-Rentería, R. M. (2001). *El costo social del rentismo de derechos de agua superficial y tierras de riego en la región lagunera* [Tesis Maestría]. Colegio de Postgraduados.

- DOF. (2011). *Lineamientos específicos de operación para el acceso al Proyecto Transversal de Recuperación de Mantos Acuíferos*.
- DOF. (2015). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el Acuífero Principal, Región Lagunera (0523), Estado de Coahuila*. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/102876/DR\\_0523.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/102876/DR_0523.pdf)
- DOF. (2020a). *Actualización de la disponibilidad media anual del agua en el acuífero Principal-Región Lagunera (0523), estado de Coahuila*.
- DOF. (2020b). *Reglas de Operación del Registro Público de Derechos de Agua*.
- Domínguez, J., & Carillo-Rivera, J. (2007). El agua subterránea como elemento de debate en la historia de México. En A. Mayer (Ed.), *México en Tres Momentos 1810-1910-2010*. Instituto de Investigaciones Históricas, Universidad Nacional Autónoma de México. <http://siaps.colmex.mx/documentos/estudios/Agua%20Subterranea.pdf>
- Editorial. (2021, noviembre 5). Ejidos del Módulo 3 presentan amparo contra Agua Saludable para La Laguna. *redespoder*. <https://www.redespoder.com/destacadas/modulo-3-agua-saludable/>
- Eling, H. H., & Sánchez Rodríguez, M. (2000). Presas, canales y cajas de agua: La tecnología hidráulica en El Bajío mexicano. En J. Palerm & T. Martínez-Saldaña (Eds.), *Antología sobre pequeño riego vol. II Organizaciones autogestivas* (Vol. 2, pp. 97–130). Colegio de Postgraduados/ Plaza y Valdés.
- Enríquez Robledo, A., Hernández Alvarado, H., & Morales Pérez, J. (2021). Hidroarsenicismo en la Comarca Lagunera y Políticas Públicas. *Revista Enfoques*, XIX(35), 21–43.
- Feature: Legal aspects of groundwater recharge: Do we need a groundwater recharge ethic?* (2022). <https://mavensnotebook.com/2022/03/24/feature-legal-aspects-of-groundwater-recharge-do-we-need-a-groundwater-recharge-ethic/>
- Firma de acuerdos vinculantes a Agua Saludable para La Laguna*. (2021). Ibero Torreón. [https://www.facebook.com/watch/live/?ref=watch\\_permalink&v=672696800800439](https://www.facebook.com/watch/live/?ref=watch_permalink&v=672696800800439)
- Fortis-Hernández, M., & Alhers, R. (1999). *Naturaleza y extensión del mercado del agua en el D.R. 017 de la Comarca Lagunera, México*. Instituto Internacional del Manejo del Agua.

- García, I. (2021, junio 27). Agua Saludable para La Laguna: Manos turbias en el Organismo de Cuencas Centrales del Norte. *El demócrata*. <https://democratacoahuila.com/2021/06/27/agua-saludable-para-la-laguna-manos-turbias-en-el-organismo-de-cuencas-centrales-del-norte/>
- Girón Pérez, S. (2014). *Contaminación de suelos hortícolas en la Comarca Lagunera por metales pesados* [Ingeniero]. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, unidad Laguna.
- Gómez Durán, T., & Mayorga, P. (s/f). *Los explotadores del agua: El desierto donde se trafica el agua*. <https://contralacorrupcion.mx/explotadores-agua-mexico/trafico-de-agua-desierto-chihuahua.html>
- González Barrios, J. L., Descroix Jambon, L., & Sánchez Cohen, I. (2010). Capítulo 7. Situación actual del recurso agua. En A. López López & A. Sánchez Crispín (Eds.), *Comarca Lagunera. Procesos regionales en el contexto global*. UNAM. <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/download/20/19/57-1?inline=1>
- González, D. (2021, agosto). *La Conagua busca conciliación en Agua Saludable para La Laguna*. <https://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/2021/buscan-conciliacion-en-agua-saludable.html>
- González Herrera, A., & et al. (2016). *INFORME FINAL Ingeniería de detalle, implementación, puesta en marcha e inicio de operación de la infraestructura que permita mejorar el abasto y la calidad del agua en la Región Lagunera en el estado de Durango CONVENIO DE COLABORACIÓN CONAGUA-IMTA SGAPDS-OCCCN-RL- 15-06-FED-CC*. <http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/1753/TC-1522.3.pdf>
- González Hita, L., Sánchez Díaz, F., & Mata Arellano, I. (1995). Estudio hidrogeoquímico e isotópico del acuífero granular de la Comarca Lagunera, México. En *Estudios de hidrología isotópica en América Latina 1994 Estudios hidrológicos e hidrogeológicos en América Latina sobre los recursos hídricos y la contaminación de las aguas subterráneas Resultados obtenidos en el marco del proyecto RLA/8/014—ARCAL XIII: Aplicación de técnicas isotópicas en hidrología*. Organismo Internacional de Energía Atómica. [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te\\_835\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_835_web.pdf)

- González Hita, L., & Sánchez Díaz, L. F. (1992). Las técnicas isotópicas, una herramienta eficaz para el diagnóstico y evaluación de las aguas subterráneas. *Ingeniería hidráulica en México*, 1, 64–85.
- González Villarreal, F., Mendoza Mata, A., & Arriaga Medina, J. A. (2017, junio 8). *Memorias del taller recarga artificial del acuífero del valle de México*.
- Grafton, R. Q., Perry, C. J., Molle, F., Ringler, C., Steduto, P., Udall, B., Wheeler, S. A., Wang, Y., Garrick, D., & Allen, R. G. (2018). The paradox of irrigation efficiency. Higher efficiency rarely reduces water consumption. *Science*, 361(6404), Article 6404. <https://doi.org/10.1126/science.aat9314>
- Gutierrez Ojeda, C., & Ortiz Flores, G. (2017). Proyectos de recarga MAR en El Acuífero Principal-Región Lagunera, México. En O. Escolero, C. Gutierrez Ojeda, & G. Ortiz Flores (Eds.), *Manejo de la recarga de acuíferos: Un enfoque hacia Latinoamérica* (pp. 139–158). IMTA.
- Heikens, A. (2006). *Arsenic contamination of irrigation water, soil and crops in Bangladesh: Risk implications for sustainable agriculture and food safety in Asia*. FAO.
- Hermosillo Muñoz, M., Valles Aragón, M., Ballinas Casarrubias, M., Rocha Gutiérrez, B., & Prieto Amparan, J. (2019). Trazabilidad de arsénico en agua de riego agrícola en el centro sur del estado de Chihuahua, México. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 35 (*Calidad de agua: salud, remediación y perspectiva*), 81–91. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.esp03.10>
- Hernández Alvarado, H., Enríquez Robledo, A., & Morales Pérez, J. (2022). Hidroarsenicismo. Un acercamiento a su significado en localidades emblemáticas del norte de México. *Transdisciplinar*, 2(3), 64–97. <https://doi.org/10.29105/transdisciplinar2.3-36>
- Hernández Alvarado, H., & López Franco, R. (2016). La increíble y triste historia de La Laguna... sin agua. *Revista Humanismo y Cambio Social*, 7(3), 49–64.
- Hernández-Rodríguez, M. de L. (2006). El uso del agua subterránea en la agricultura del estado de Tlaxcala. En I. Ocampo Fletes, J. Francisco. Escobedo, & B. Ramírez-Valverde (Eds.), *El agua. Recurso en crisis* (pp. 137–146). Colegio de Postgraduados, Campus Puebla y Fundación Produce Puebla A.C.
- Liga de Agrónomos Socialistas (LAS). (1940). *El colectivismo agrario en México*.

- López, L. A., & Ayala Barbos, J. (2022, noviembre 15). Agua sin arsénico: El costoso y simulado compromiso de Peña Nieto en La Laguna. *Pié de Página*. <https://piedepagina.mx/agua-sin-arsenico-el-costoso-y-simulado-compromiso-de-pena-nieto-en-la-laguna/>
- López Pacheco, E., Pimentel Equihua, J. L., & Palerm, J. (2008). El entarquinamiento en cajas de agua: El valle de Coeneo-Huaniqueo, Michoacán. *Boletín del Archivo Histórico del Agua*, 13(número especial), Article número especial.
- McCulligh, C. (2018). La corrupción institucionalizada en el manejo del agua en México: El caso de Zacatecas. *Observatorio del Desarrollo: Temas Críticos*, 7(21).
- Medina Pizzali, M., Robles, P., Mendoza, M., & Torres, C. (2018). Ingesta de arsénico: El impacto en la alimentación y la salud humana. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*, 35(1), 93–102.
- Montemayor Trejo, J. A. (1989). *Diagnostico del hidroarsenicismo del acuífero de la región Lagunera* [Maestría]. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Navarro, L. A. (2019). Imbricación social en el manejo de sistemas de riego tradicionales en el noroeste de México. *Región y Sociedad*, 31(e1221), Article e1221.
- Olavarrieta Carmona, M. V., Watts Thorp, C. J., & Saiz Hernández, J. A. (2010). Beneficios de la cuota energética. Estudio de caso de la Costa de Hermosillo, Sonora, México, 2006-2007. *Región y Sociedad*, XXII(47), 145–164.
- Ortega Guerrero, M. A. (s/f). *Sistemas gravitacionales de flujo de agua subterránea: Un paradigma*. CONACYT. <https://conacyt.mx/sistemas-gravitacionales-de-flujo-de-agua-subterranea-un-paradigma/>
- Palerm, J. (2005). Políticas del Estado para la administración y gobierno de sistemas de riego y redes hidráulicas. En J. M. Durán, M. Sánchez, & A. Escobar (Eds.), *El agua en la historia. Balance y perspectivas*. (pp. 263–289). AHA/ Colegio de Michoacán/ Universidad de Guadalajara/ CIESAS.
- Palerm, J. (2009). Los antecedentes de las organizaciones de regantes, México. En J. Palerm & T. Martínez-Saldaña (Eds.), *Aventuras con el agua. La administración del agua de riego: Historia y teoría* (pp. 227–248). Colegio de Postgraduados.
- Palerm, J., Sánchez, M., & et al. (2001). Técnicas hidráulicas en México, paralelismos con el Viejo Mundo: I. Bimbaletes; II. Galerías Filtrantes; III. Entarquinamiento



- en cajas de agua. *Actas del II Encuentro sobre historia y medio ambiente*, 456–497.
- Perry, C. (2007). Efficient irrigation; inefficient communication; flawed recommendations. *Irrigation and drainage*, 56, 367–378. <https://doi.org/10.1002/ird.323>
- Perry, C., Steduto, P., & Karajeh, F. (2017). *Does improved irrigation technology save water? A review of the evidence. Discussion paper on irrigation and sustainable water resources management in the Near East and North Africa*. FAO.
- Proyecto Agua Saludable para La Laguna un paso para recuperar la seguridad hídrica en la región Lagunera Diálogo con Ingenieros*. (2022). <https://www.youtube.com/watch?v=S4HVX-Td9UQ>
- Rábago, I. (2021, diciembre 29). “Agua Saludable para La Laguna”, proyecto hidráulico de mayor impacto para el norte del país. *Milenio*.
- Reuben, W., & et al. (2009). *Poverty and Social Impact Analysis of Groundwater Over-exploitation in Mexico*. The World Bank. Latin America and Caribbean Region.
- Rodríguez, F. (2022, noviembre 14). ¿Sin remedio el agua con arsénico en la Laguna? Conagua ‘tira’ por un tubo \$370 MDP. *Vanguardia MX*.
- Rodríguez Meza, J. G. (2000). El Comité de Vigilancia de los ríos Atoyac y Nexapa: Formación de una organización. En J. Palerm-Viqueira & T. Martínez Saldaña (Eds.), *Antología sobre pequeño riego vol. II Organizaciones autogestivas* (pp. 345–406). Colegio de Postgraduados/ Plaza y Valdés.
- Romero Navarrete, L. (2022). Estado, poder económico y movilización ciudadana en la construcción de territorios hidrosociales en La Laguna de Durango-Coahuila, México. *WATERLATGOBACIT. WORKING PAPERS*, 9(2), 5–28.
- Rosas, I., Belmont, R., Armienta, A., & Baez, A. (1999). Arsenic concentrations in water, soil, milk and forage in Comarca Lagunera, Mexico. *Water, Air, and Soil Pollution*, 112, 133–149.
- Rotiroti, M., & et al. (2019). The effects of irrigation on groundwater quality and quantity in a human-modified hydro-system: The Oglio River basin, Po Plain, northern Italy. *Science of The Total Environment*, 672, 342–356. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.427>
- SADER. (2016). *Programa especial de energía para el campo en materia de energía eléctrica de uso agrícola*. <https://www.gob.mx/agricultura/acciones-y->

programas/programa-especial-de-energia-para-el-campo-en-materia-de-energia-electrica-de-uso-agricola

- SADER. (2020). *Datos abiertos. Estadística de la producción pecuaria de 2020*.
- SADER. (2021). *Representación de la SADER en la Región Laguna (Durango-Coahuila). Cierre de siembras y cosechas 2020-2021. En formato electrónico*.
- Sánchez Rodríguez, M. (2018). *Cuando las aguas se dividen. Control de las aguas torrenciales en México: Entarquinamiento*. El Colegio de Michoacán y CIESAS.
- Seckler. (1996). *The New Era of Water Resources Management: From “Dry” to “Wet” Water Savings*. International Irrigation Management Institute (IIMI).
- SEMARNAT. Dirección General de Investigación en Política y Economía & Ambiental. (s/f). *El análisis del subsidio a la tarifa eléctrica para agricultura. Análisis de la T09 en acuíferos sobreexplotados*. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/168166/El\\_analisis\\_del\\_subsidio\\_a\\_la\\_tarifa\\_electrica\\_t09.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/168166/El_analisis_del_subsidio_a_la_tarifa_electrica_t09.pdf)
- Tobón de Garza, G. (2020). *Libre alumbramiento en la Legislación Mexicana y violaciones de la CONAGUA*.
- Villanueva Díaz, J., Cerano Paredes, J., Luckman, B. H., Stahle, D. W., Sánchez Cohen, I., Therrell, M. D., & Morán Martínez, R. (2006). *Precipitación y Flujo Histórico de la Cuenca Nazas-Aguanaval e Impacto en la Agricultura*. CENID-RASPA. [http://cenid-raspa.inifap.gob.mx/demo/modulo/Folletos%20cientificos/2006/19\\_Precipitacion%20y%20Flujo%20Historico%20de%20la%20Cuenca%20Nzas-Aguanaval%20e%20Impacto%20en%20la%20Agricultura.pdf](http://cenid-raspa.inifap.gob.mx/demo/modulo/Folletos%20cientificos/2006/19_Precipitacion%20y%20Flujo%20Historico%20de%20la%20Cuenca%20Nzas-Aguanaval%20e%20Impacto%20en%20la%20Agricultura.pdf)
- Viniegra, G., & et al. (1964). La polución atmosférica e hídrica en La Comarca Lagunera. *Salud Pública, Epoca V, VI(3)*, 405–414.
- Ward, F. A., & Pulido-Velazquez, M. (2008). Water conservation in irrigation can increase water use. *PNAS, 105(47)*, Article 47.
- Wolfe, M. (2014). Crisis del agua subterránea en México. Dinámica histórica: Recursos, lucro y conocimiento en La Laguna, 1930-1970. *HIB: Revista de Historia Iberoamericana, 7(2)*, 167–194. <https://doi.org/10.3232/RHI.2014.V7.N2.08>
- Worster, D. (2004). *Dust Bowl: The Southern Plains in the 1930s*. OUP.
- Worster, D. (2017). [2007] ¿Por qué necesitamos de la historia ambiental? *revista Tareas, 117*. [http://salacela.net/es/wp-content/uploads/2019/04/117\\_g.pdf](http://salacela.net/es/wp-content/uploads/2019/04/117_g.pdf)

# RIESGO POR INUNDACIÓN EN ZONAS AGRÍCOLAS

Michell Deyanira Cruz Santiago

Rodrigo Roblero Hidalgo

## Resumen

Este trabajo tiene como objetivo estimar las áreas agrícolas con riesgo de inundación en una zona agrícola, basado en delimitar y caracterizar la cuenca, calibrar el modelo hidrológico con datos meteorológicos e hidrométricos históricos observados, calibrar el modelo hidráulico para definir áreas con posible riesgo de inundación, la evaluación del riesgo agrícola y finalmente elaborar un mapa de riesgo de las zonas agrícolas.

El desarrollo de la investigación consistió en cuatro grandes fases: recopilación de información, modelación hidrológica con el software HEC HMS, modelación hidráulica con el software Iber y el análisis agrícola, que en conjunto nos permitieron obtener el criterio de riesgo y generar los mapas de riesgo.

**Palabras Clave:** agricultura, modelación.

## Introducción

Las inundaciones provocan los mayores desastres en el mundo y equivalen a 50% de las catástrofes con significativo impacto en la sociedad (Mendoza Cariño et al., 2018). Las inundaciones en México son un tema de fondo, pues en la actualidad son el fenómeno que causa más daños económicos en el país (Hernández-Uribe et al., 2017). El sector agrícola en México está expuesto a las inundaciones, generando daños a la economía

regional y nacional por la interrupción del ciclo productivo, reducción de los ingresos, desempleo y desabasto de alimentos, entre otros (Vega-Serratos et al., 2018). En el año 2019, el cierre de la producción agrícola a nivel nacional fue de una superficie sembrada de 20.6 millones de hectáreas, la superficie cosechada fue de 19.3 millones de hectáreas y la pérdida por superficie siniestrada asciende a 844,121.54 hectáreas, el volumen de producción fue de 704 millones toneladas con un valor estimado de 675 mil millones de pesos (SIAP, 2020).

Las inundaciones tienen un efecto negativo sobre la mayoría de las plantas terrestres debido a que reduce su crecimiento e induce a la senescencia. El estrés hídrico por inundación es un factor limitante en la producción de cultivos como maíz (*Zea mays L.*), frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) y trigo (*Triticum aestivum L.*), entre otros (Solis, 2014). En el Estado de Hidalgo, dentro de las actividades económicas de mayor importancia está la agricultura, debido a que es una de las principales fuentes de empleo, en el año agrícola 2019, la superficie sembrada fue de 529,426.02 hectáreas, la superficie cosechada fue de 479,435.61 hectáreas, con un valor de producción de 7.97 mil millones de pesos (SIAP, 2020).

El objetivo de este trabajo es aplicar una metodología para evaluar el riesgo por inundación en zonas agrícolas, definir las zonas en riesgo pueda ayudar en la toma de decisiones para mitigar los daños causados por las inundaciones al sector agrícola.

## **Marco Teórico**

Para la estimación del riesgo se necesita determinar las consecuencias potenciales de un fenómeno destructivo (CENAPRED, 2004), las evaluaciones de daños de los peligros naturales proporcionan información crucial para el apoyo a la toma de decisiones y el desarrollo de políticas en los campos de la gestión de los peligros naturales y la planificación de la adaptación al cambio climático (Merz et al., 2010).

El término riesgo tiene una variedad de significados y múltiples dimensiones relacionados con la seguridad y aspectos económicos, medioambientales y sociales (Vega Serratos, 2017). El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), (2014) define riesgo como el resultado de 3 factores: peligro (P) que se define como como la probabilidad de que se presente un evento de cierta intensidad. Sus características

específicas son magnitud, tiempo, ubicación y probabilidad de ocurrencia, grado de exposición (E), que se define como la cantidad de personas, bienes y sistemas que se encuentran en el sitio considerado y que es factible sean dañados por el evento y vulnerabilidad (V) que se define como la propensión de estos sistemas a ser afectados por el evento, la vulnerabilidad se expresa como una probabilidad de daño (CENAPRED, 2014), quedando expresado de la siguiente manera:

$$R = P \times E \times V \quad (1)$$

Donde:

R es riesgo

P es peligro

E es exposición

V es vulnerabilidad

El riesgo se expresa como un resultado posible de un evento; ya que P y V son dos probabilidades; si E se puede expresar en términos monetarios, R resulta igual a la fracción del costo total de los sistemas expuestos que se espera sea afectada por el evento en cuestión (CENAPRED, 2014).

La evaluación del riesgo por inundaciones en zonas agrícolas es significativa e importante para los encargados de atender los desastres por inundaciones e implementar planes de compensación y reducción de desastres (Sun et al., 2016). La evaluación del daño agrícola potencial es indispensable para evaluar las implicaciones para las áreas más expuestas (Brémond et al., 2013).

Para el cálculo del riesgo, se usará la expresión de acuerdo con CENAPRED (2014), donde el riesgo es la combinación de tres factores: valor de los bienes expuestos (C), vulnerabilidad (V) y peligro (P), de manera que, para el caso de zonas agrícolas, se utilizó los factores que afectan los cultivos, en este caso, profundidad, velocidad, estacionalidad y duración de la inundación, de manera que cada factor nos dé un componente del riesgo, quedando de la siguiente manera:

$$\text{Peligro} = \text{profundidad} \times \text{velocidad} \quad (2)$$

$$\text{Vulnerabilidad} = f(\text{gasto.estacionalidad}) \quad (3)$$

$$\text{Valor de los bienes expuestos} = f(\text{duración, rendimiento del cultivo}) \quad (4)$$

La ecuación para el cálculo de riesgo en zonas agrícolas es la siguiente:

$$R = P \times V \times C \quad (5)$$

Donde:

R es riesgo

P es peligro

V es vulnerabilidad

C es valor de exposición.

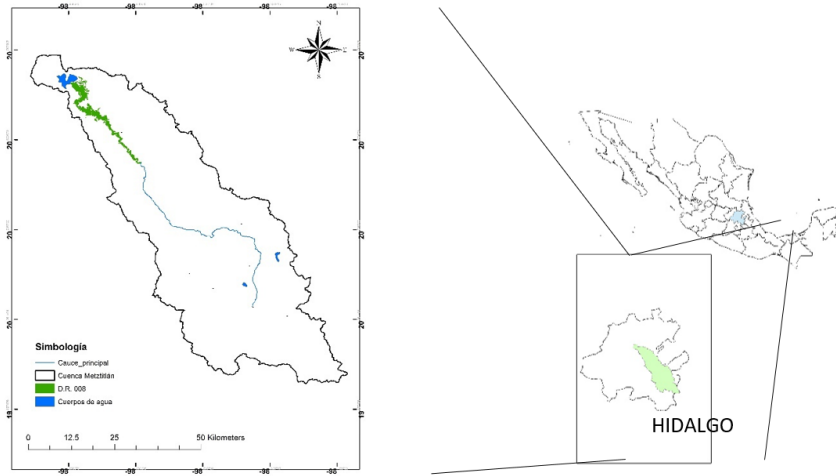
## **Metodología**

### *Caracterización de la cuenca*

Se realizó la caracterización de la cuenca del río Metztlán, la cual tiene un área de 2,937.03 km<sup>2</sup>, la longitud del cauce principal es de 109.54 km, el tiempo de concentración (Tc) es de 1,671.58 min y el tiempo de retraso (Tr) es de 1,002.95 min. El D.R. 008 se encuentra ubicado aguas abajo de la cuenca y tiene una extensión de 3,553.7 ha (Figura 1).

### Figura 1

*Cuenca de estudio*



### *Modelo hidrológico*

La modelación hidrológica se realizó en el modelo HEC-HMS, se basó en eventos estadísticos (Figura 2).

### Figura 2

*Modelo hidrológico completo en HEC-HMS*



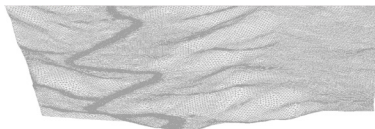
Dando como resultado los hidrogramas por subcuenca, que fueron comparados con el análisis hidrométrico de la estación hidrométrica a diferentes periodos de retorno (Tr) de 2, 5, 10, 20 y 50 años. Se realizó la calibración estadística del modelo hidrológico obteniendo un  $r^2$  de 0.98

### *Modelo hidráulico*

La modelación hidráulica se realizó en el modelo Iber, se ingresaron los hidrogramas obtenidos en la modelación hidrológica para cada subcuenca de aporta aguas abajo del río Metztitlán (Figura 3).

### **Figura 3**

#### *Topografía del modelo hidráulico*



El cuál fue calibrado mediante la comparación de la mancha de inundación generada por el modelo y la obtenida de una imagen satelital, para el evento del 5 de octubre de 1999, con un error porcentual de 17.5 %.

### *Riesgo agrícola*

El riesgo está dado en términos monetarios y se calculó para un escenario particular, para fines explicativos de la metodología se analizó el Tr de 20 años para el cultivo de maíz.

## **Resultados**

### *Índice de peligro*

La tipificación para el índice de peligro es adimensional y va de 0 a 1, representado de la siguiente manera en la tabla 1, donde se presenta la clasificación del índice de peligro.



**Tabla 1**

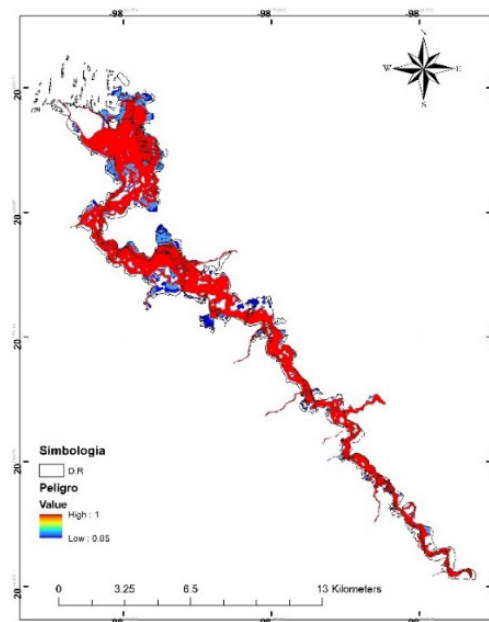
*Clasificación del índice de peligro*

Índice de peligro	
Peligrosidad	Tipificación (adim)
Baja	0.05
Media	0.25
Alta	1.00

Con los valores de peligro tipificado se generó el mapa de peligro para un Tr de 20 años (Figura 4).

**Figura 4**

*Mapa de peligro para un Tr de 20 años*



*Índice de vulnerabilidad*

Se proponen valores de tipificación de la profundidad de inundación que pueden dejar vulnerable a la planta.

**Tabla 2**

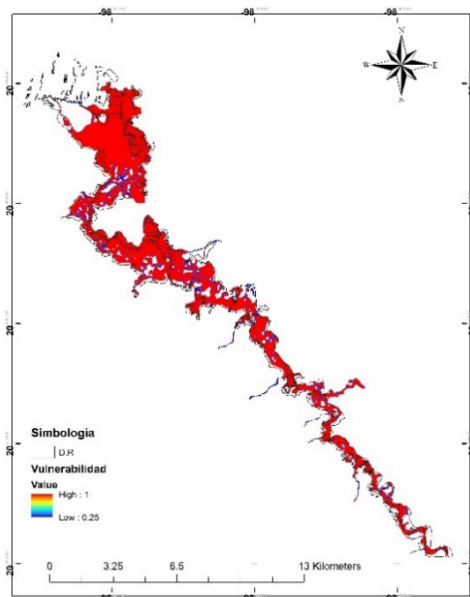
*Clasificación y tipificación de la vulnerabilidad*

Vulnerabilidad		Tipificación
B	Baja	0.25
M	Media	0.5
A	Alta	1

Con los valores tipificados se generó el mapa de vulnerabilidad para un periodo de retorno de 20 años (Figura 5).

**Figura 5**

*Mapa de vulnerabilidad para un Tr de 20 años*



### *Valor de exposición*

La obtención del valor de exposición, se basó en la duración de la inundación, asociada con el daño que puede generar.

Con el porcentaje de afectación en el rendimiento del cultivo, se calcularon las pérdidas económicas.

Como el cálculo del riesgo se hizo para escenarios en particular, se analizó por periodos de retorno, en este caso para un Tr de 20 años, con la siguiente fórmula:

$$R = Crr \text{ Prr } Vrr \tag{6}$$

Donde:

R es riesgo

Prr es peligro para un Tr definido

Vrr es vulnerabilidad para un Tr definido

Crr es valor de exposición para un Tr definido

**Tabla 3**

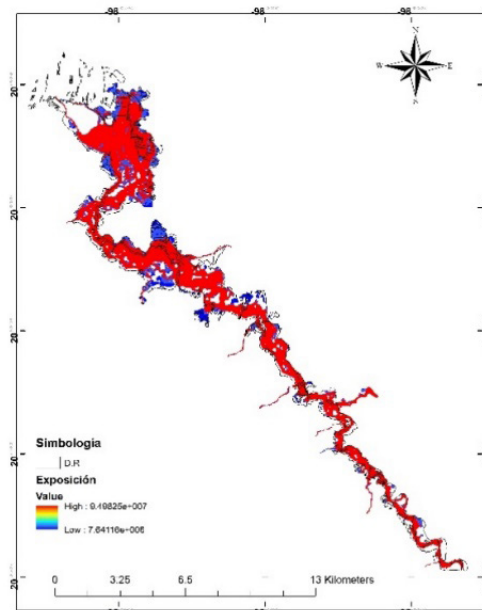
*Pérdidas económicas por clasificación del peligro*

<b>Peligro</b>	<b>Área afectada (Ha)</b>	<b>Pérdidas económicas totales (\$)</b>
Bajo	216.59	\$7,641,158.91
Medio	455.02	\$16,053,071.93
Alto	2692.25	\$94,982,453.63

El mapa de exposición para un periodo de retorno de 20 años es el siguiente (Figura 6):

**Figura 6**

*Mapa de exposición para un Tr de 20 años*



## Riesgo

Con los datos de pérdidas calculados, se calculó el riesgo, se realizó la clasificación de riesgo y se obtuvo el mapa de riesgo para un Tr de 20 años:

**Tabla 4**

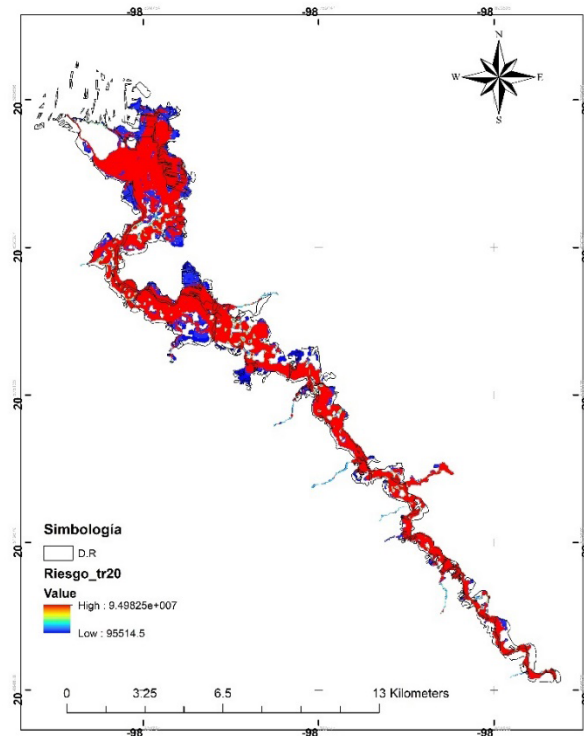
*Clasificación del riesgo para un Tr de 20 años*

Clasificación	Riesgo
Bajo	\$ 95,514.49 - \$1,003,317.00
Medio	\$1,003,317.00- \$23,745,613.41
Alto	\$23,745,613.41 - \$94,982,453.63

El mapa de riesgo para un periodo de retorno de 20 años es el siguiente (Figura 7):

**Figura 7**

*Mapa de riesgo para un Tr de 20 años*



## Conclusiones

La construcción del mapa de riesgo se obtuvo en términos monetarios, producto de la combinación de los parámetros que afectan los cultivos. Para un análisis más completo de la cuantificación del riesgo en un D.R., sería de gran valor contar con el patrón de cultivos, costos de producción, valor de la cosecha, rendimientos, información precisa de los ciclos productivos y el diagnóstico de la infraestructura.

## Bibliografía

- Brémond, P., Grelot, F., & Agenals, A. L. (2013). Review Article: Economic evaluation of flood damage to agriculture - Review and analysis of existing methods. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(10), 2493–2512. <https://doi.org/10.5194/nhess-13-2493-2013>
- CENAPRED. (2004). *Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos*.
- CENAPRED. (2014). *Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México* (O. Zepeda Ramos & S. González Martínez, Eds.; 2014th ed.).
- Hernández-Uribe, R. E., Barrios-Piña, H., & Ramírez, A. I. (2017). Análisis de riesgo por inundación: Metodología y aplicación a la cuenca Atemajac. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 8(3), 5–25. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-03-01>
- Mendoza Cariño, M., Bautista Olivas, A. L., Quevedo Nolasco, A., & Mendoza Cariño, D. (2018). Análisis hidrológico de largo plazo en la cuenca del río Metztitlán Hidalgo, México, y su relación con el cambio climático. *Hidrobiologica*, 28(1), 1–14.
- Merz, B., Kreibich, H., Schwarze, R., & Thielen, A. (2010). Review article “assessment of economic flood damage.” *Natural Hazards and Earth System Science*, 10(8), 1697–1724. <https://doi.org/10.5194/nhess-10-1697-2010>
- SIAP. (2020). *SIAP*. <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>
- Solis, Y. (2014). *Construcción de curvas de costos por daños por inundación a las zonas agrícolas e infraestructura urbana y red carretera del país*.

- Sun, Z., Liu, X., Zhu, X., & Pan, Y. (2016). Agriculture flood risk assessment based on information diffusion. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016-November*, 4391–4394. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2016.7730144>
- Vega Serratos, B. E. (2017). *Metodología para la cuantificación del riesgo por inundaciones fluviales. Caso de aplicación en Campeche, México*. [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://132.248.9.195/ptd2017/junio/0760358/Index.html>

# LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO MAGDALENA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

Abraham Rojano Aguilar

Jorge Flores Velázquez

Raquel Salazar Moreno

Luis Miranda Trujillo

## Resumen

El río Magdalena nace en las faldas del cerro de Tres Cruces, con una calidad de agua excelente con menos de 1 mg/l de sólidos disueltos dentro del bosque de coníferas, hasta el final donde converge con el río Mixcoac con 400 mg/l. entre Viveros y una plancha de cemento. El propósito de este trabajo es mostrar la evolución de la calidad del agua en base al papel que juega el oxígeno disuelto en la salud de un río a medida que el río avanza espacialmente por la ciudad y algunas de las consecuencias debido al comportamiento de la precipitación a lo largo del año por medio de modelos estadísticos y a la posible mezcla con el agua de otro afluente. El oxígeno disuelto es una variable universalmente aceptada para describir la vida de plantas y animales en los sistemas acuáticos y posiblemente con un buen manejo del mezclado de aguas o de plantas de tratamiento se logren mejores escenarios hidrológicos aguas abajo de dicha corriente de lo que actualmente ocurre.

**Palabras clave:** Oxígeno disuelto, precipitación, temperatura, cambio climático.

## **Introducción**

El concepto de calidad de agua empieza desde los tiempos de la edad media sobre todo en el descubrimiento o sospecha de los contagios o envenenamientos, pero ya con fines cuantitativos es hasta mediados del siglo XX y por ejemplo en Estados Unidos es hasta 1972 cuando se promulga la regulación de la calidad del agua estableciendo leyes y reglamentos en la gestión hídrica. La evolución desde los criterios más blandos hasta lo más exigentes es de acuerdo a los usos que pueden ir desde jardinería, agricultura, hasta el agua potable y el agua ultra pura. La diferencia entre agua limpia, potable y destilada es abismal y su uso es en diferentes condiciones. La experiencia personal del primer autor data desde hace tres décadas cuando la investigación básica se teorizaba con el libro de Morel & Hering(1993) donde los retos de explicar balances estequiométricos con elementos químicos que trabajaban con diferente valencia en la misma muestra o cuando la idea de datar aguas de consumo con diferentes edades porque algunas venían de pozos y otras de la lluvia reciente, los modelos de química eran muy primitivos y la aplicación del software era relativamente simple. Ahora se ve con asombro los avances en la medición con herramientas de gran precisión y las aplicaciones son numerosas como se ve en el trabajo de Mazari et al. (2014) de tal forma que nos proponemos hacer una revisión y remembranzas relacionadas con la realidad actual y futura del río Magdalena en especial énfasis en la variable de oxígeno disuelto.

## **Marco Teórico o Marco Conceptual**

La calidad del agua nunca ha sido igual, y conforme la población humana cercana a los cuerpos de agua ha aumentado, la transformación de los ríos y lagos ha sido no solo desastroso o de continuo deterioro, sino que también se ha convertido en una amenaza o bumerang para la misma población. Por lo cual la lógica de estudio es sencilla y primero es requerido un reconocimiento del área de estudio y ya después ir afinando en los ángulos que nos interese poner la lupa con las herramientas con que se cuente y los niveles de profundidad en los grupos de investigación y sus recursos financieros.

La experiencia con el río Magdalena, ha sido algo accidentada primero con la continua interacción de la zona de Viveros en la ciudad de México, donde el olor, y la basura son



bastante notorios. Luego algunos accidentes cuando el agua ha desbordado del canal y reclamado su cauce original en el 2009. Una anécdota dentro de varias curiosidades fue cuando andaba tomando fotos entre el tramo de progreso y la calle Madrid donde fui sorprendido por un tipo amenazante que me quería sacar la sopa sobre el destino de mi información y en lugar de desistir me pareció una idea interesante y desafiante buscar por qué en México los ríos les damos la espalda, cuando algunos mexicanos compran casas en Woodland TX, donde el río principal es de muchísimas mejores condiciones con aguas tratadas y la gente camina con andadores con restaurantes en su rivera.

La presencia de varias ONGs, estudios de la UNAM y Conacyt hacen interesante hacer un estudio al respecto sobre lo que se ha hecho, y lo que se podría hacer en el futuro con río que nace vivo y muere en su transcurso al internarse en el área urbana o viceversa cuando el área urbana invade la naturaleza original del cauce donde supuestamente fue la inspiración del vals más famoso de México “sobre las olas” de Juventino Rosas.

La formación hidrológica y de modelación matemática del grupo de los autores permite vislumbrar por dónde empezar, qué hacer y cómo hacerle para generar un estudio completo de acuerdo con las expectativas del foro donde dichas ideas serán presentadas y discutidas entre investigadores relacionados con el agua. Estudiar los parámetros desde su necesidad conceptual hasta su medición, evaluación, y control requiere construir un modelo flexible para ir incorporando con la precisión adecuada las variables de interés. Aunque existan actualmente muchos modelos para abordar el problema de contaminación de ríos, históricamente, son Streeter y Phelps, en 1925, quienes empezaron a modelar la contaminación del río como función de la oxigenación (Streeter & Phelps, 1925; Dobbins, W. 1964). Así, cuando uno observa el río Magdalena en algunos de sus puntos más contaminados, como el que cruza por la calle Madrid en los Viveros de la CDMX, viene a reflexión varias preguntas de las cuales sólo abordaremos la descripción del estado actual de dicho río. Pues si el agua es turbia o achocolatada, con un poco de incremento en la velocidad o caída de la corriente también toma tonalidades blanquecinas, y la formación de burbujas que escapan al aire, siendo la condición de color ideal el azul con tonalidades verdosas aun cuando para cantidades pequeñas el agua por definición es incolora. El agua es turbia porque la corriente pluvial está expuesta a lo largo de kilómetros a la actividad humana con poco o sin ningún control, y expuestas a las fuentes de contaminación las aguas limpias de la precipitación. Si uno quiere participar en la solución, varias ideas

vienen a la mente. Primero, mirar alrededor las condiciones ambientales o circunstanciales, así como los recursos económicos y humanos. Segundo, informarse en las instituciones académicas, gubernamentales y experiencias en otros lugares. Tercero, hacer un plan de acciones para normar, prevenir y corregir o convivir con el problema.

## **Resultados**

Específicamente, en lo que respecta a la narrativa de este trabajo con localización de la red hidrográfica del río Magdalena puede observarse en la Figura 1 y obtenida del programa SIATL de Inegi. Localizada entre las coordenadas de longitud, latitud, y altitud (-99.17, 19.36 y 2452m) y (-99.32, 19.23 y 3721m) y con las siguientes características a lo largo de 28 km con una pendiente media de 5.2%, un área drenada de 154.21 km<sup>2</sup> entre construcción urbana y vegetación compuesta de oyamel, pino, pastizales y agricultura. Asimismo, el tiempo de concentración de 160 minutos corresponde al tiempo que tarda una gota de agua para llegar del punto más lejano de la cuenca hasta el punto de confluencia aguas abajo. Dichos datos reflejan las características de un río joven entre 1 y 10% de pendiente con algunas cascadas y antiguas fábricas de hilados y tejidos movidas con generadores hidroeléctricos, pero cuando se hacen presas como la Anzaldo y se llega al vaso del Valle de México lo convierte en río tranquilo con flujo promedio de 0.3 m<sup>3</sup>/s con rangos de (+-0.1) y aunque la energía disminuye los riesgos de inundaciones son inminentes.

De la Figura 1. Se puede observar que el cauce del río Magdalena es una retícula similar a un fractal de dimensiones entre 1.1 y 1.6, donde la geometría abrupta o suave es producto de la evolución de la escorrentía y se pueden usar datos de topografía, precipitación, temperatura o cualquier otro factor ambiental relevante. La imagen resultante es el rostro esculpido de las lluvias intermitentes interactuando con la piedra y el suelo antes y después de las erupciones del Ajusco hace 1700 años. Sin embargo, también puede verse un Aleph de microcuencas repetidas o engarzadas o un mosaico de áreas o superficies caprichosas donde las técnicas de georreferenciación han llevado a los sistemas más sofisticados como los de KLM y finalmente, matemáticamente una convolución de flujos que se forman con la precipitación.

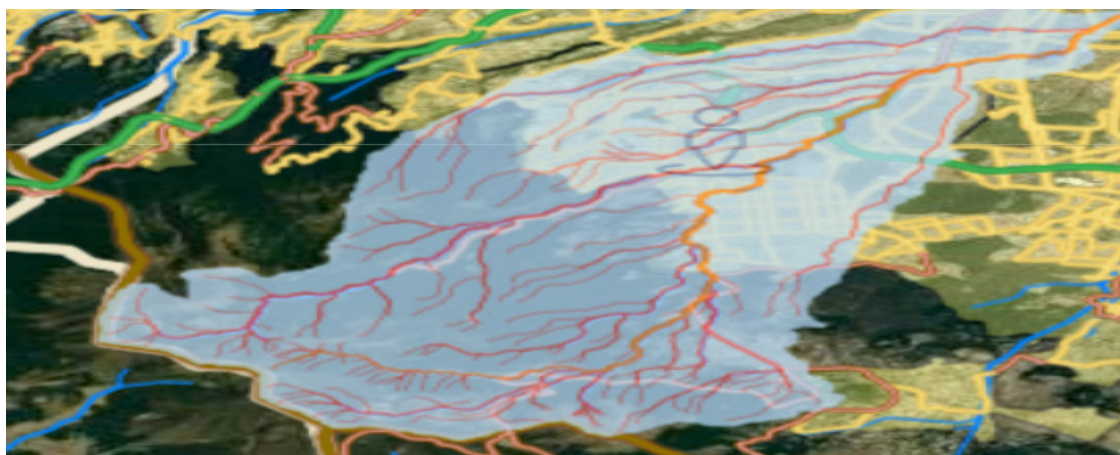
### Cuadro 1

*Del software SIATL se obtienen los siguientes datos.*

Población		656520 hab.
Uso de suelo (km <sup>2</sup> )	Construcción	58.21
	Vegetación	96.0

### Figura 1

*Cuenca del Río Magdalena en la Ciudad de México desde la estación Viveros*



La ventaja de los tiempos actuales es que cada vez se conocen y se mejoran los datos de las variables importantes y necesarias para teorizar y llevar a simulación los posibles escenarios futuros en ambientes computacionales en la contaminación del río.

La hidrología del escurrimiento que se puede observar en la Figura 2. Denota la estabilidad de los flujos en los últimos 20 años variando entre 0.2 y 0.4 m<sup>3</sup>/s y el movimiento del agua a través del medio ambiente afecta la concentración y distribución de los contaminantes y los nutrientes en el agua. El flujo de agua puede transportar contaminantes y nutrientes de una fuente a otra, lo que puede afectar la calidad del agua y la vida acuática. La escorrentía de las áreas urbanas y rurales puede transportar nutrientes como el nitrógeno y el fósforo de las actividades agrícolas y los jardines, y los contaminantes como los productos químicos y los metales pesados de las carreteras y los edificios hacia los cuerpos de agua cercanos.

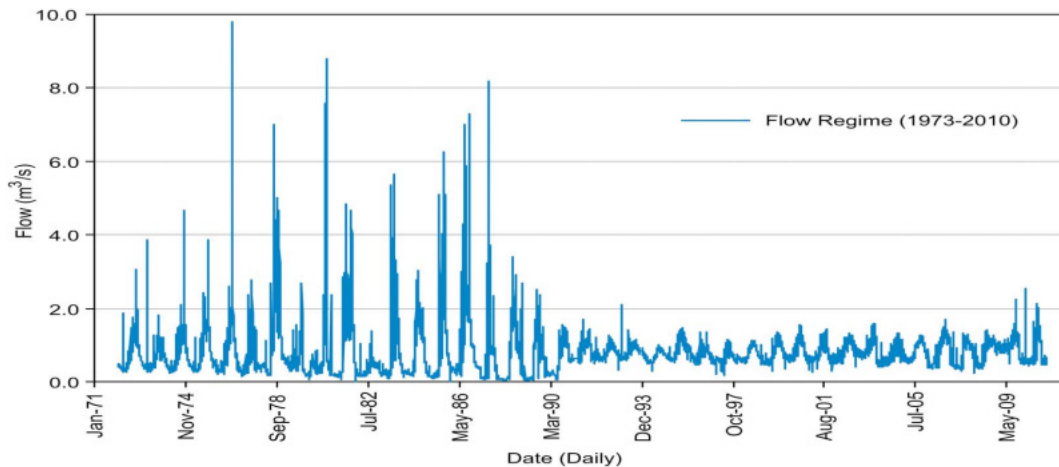
Pero los programas no funcionan sin datos duros que a lo largo de 30 años se han hecho en la EPA con el método de Clark en un rango de 0 a 50 mg/l con una precisión  $\pm$

0.2 mg/l para valores  $\leq 20$  mg/l y una resolución de  $0.01 \text{ mg/l} \pm 0.6 \text{ mg/l}$  para valores  $> 20$  mg/l.

Leland Clark, estadounidense, propone su método en los 40s del siglo pasado para propósitos médicos, pero actualmente se aplica en varios campos donde se requiere medir oxígeno en presencia de agua. El invento de Clark es una celda electroquímica de plata-platino cuyos electrodos están cubiertos por membranas no conductoras. Se utilizan para medir el oxígeno gaseoso o solubilizado en el líquido. Los electrodos de oxígeno de Clark se basan en la permeabilidad limitada al oxígeno de las membranas no conductoras, lo que reduce la pérdida de oxígeno en los electrodos y permite la cuantificación en la sangre circulante.

## Figura 2

Flujo de agua del río Magdalena



Fuente: Mazari et al. (2014).

Así con esa breve introducción llegamos al propósito de este trabajo relacionado con la calidad del agua donde se abordan las características físicas, químicas, biológicas que afectan la capacidad para satisfacer las necesidades de una variedad de usos, incluyendo la salud humana, la agricultura, y la industria. Algunos de los parámetros que se utilizan para medir la calidad del agua incluyen:

- *La concentración de oxígeno disuelto en el agua.* Los parámetros de oxígeno disuelto permitidos en el agua dependen del uso previsto del agua. Por ejemplo,

los estándares de calidad del agua para el agua potable, el agua de riego y el agua de recreación pueden variar. En general, los organismos acuáticos, como los peces, necesitan niveles adecuados de oxígeno disuelto en el agua para sobrevivir. Por lo tanto, en la mayoría de los casos, los parámetros de oxígeno disuelto se miden en términos de la cantidad mínima requerida de oxígeno disuelto para mantener la vida acuática.

En Estados Unidos, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) establece un estándar de calidad del agua para el oxígeno disuelto en función de la cantidad mínima requerida de oxígeno disuelto para mantener la vida acuática en un cuerpo de agua. El estándar es de al menos 5 mg/L de oxígeno disuelto en la mayoría de los cuerpos de agua, aunque puede variar según la ubicación y las condiciones específicas del cuerpo de agua. En otros países, los estándares para el oxígeno disuelto pueden variar. Además, algunos países pueden tener estándares diferentes para diferentes usos del agua, como la agricultura y la recreación

- La temperatura del agua. La temperatura del agua potable debe ser de alrededor de 10-15°C para garantizar la seguridad y la calidad del agua, pero para la vida acuática la mayoría de los organismos acuáticos prefieren temperaturas que oscilan entre los 10 y los 25°C, pero esto puede variar según la especie y las condiciones específicas de las plantas están entre los 15 y los 30°C.
- El pH (acidez o alcalinidad) del agua. El rango de pH varía de acuerdo al uso, plantas o animales entre 6.0 a 8.5
- La concentración de nutrientes, como el nitrógeno no debe exceder los 10 mg/l para evitar la eutrofización (crecimiento excesivo de algas). El nitrógeno total incluye amonio, nitrato y nitrito. Asimismo, el fósforo no debe exceder los 0.1 mg/l.
- La concentración de sustancias tóxicas, como metales pesados y compuestos medicinales. Las sustancias tóxicas que se encuentran comúnmente en el agua urbana incluyen productos químicos industriales, metales pesados, pesticidas y otros productos químicos utilizados en la agricultura, así como productos farmacéuticos y productos de cuidado personal que pueden ser descartados en el sistema de alcantarillado. Estas sustancias pueden ser perjudiciales para la salud humana y la vida acuática si se concentran en niveles altos. Los contaminantes pueden ser

eliminados o reducidos en el agua a través de procesos de tratamiento y purificación del agua.

- Las sustancias medicinales que se encuentran comúnmente en el agua urbana incluyen restos de medicamentos recetados y de venta libre como los antidepresivos (la fluoxetina y la sertralina), los analgésicos (el ibuprofeno y la aspirina), los antibióticos (la amoxicilina y la ciprofloxacina), las hormonas (los estrógenos y los andrógenos) y los medicamentos para el corazón (la digoxina y el furosemida) así como lociones y cremas.
- La presencia de organismos patógenos, como bacterias, virus y parásitos. Las bacterias son microorganismos unicelulares que pueden causar enfermedades en humanos y animales tales como *Escherichia Coli* (E. Coli), *Salmonella*, y *Vibrio Cholerae*, y los virus como influenza, zika y VIH por mencionar algunos.

## **Discusión**

- Quizás la reacción más rápida de solución de un problema es cuando aparecen los problemas de salud humana o hay pérdidas económicas considerables para lo cual una alternativa viable es tomar las siguientes acciones:
- *Tratamiento de aguas residuales*: Implementar sistemas de tratamiento de aguas residuales para que el agua que se descarga en los ríos esté libre de contaminantes, y se pueden llevar a cabo con varios tipos de tratamiento donde lo más común son: las plantas de tratamiento de aguas residuales convencionales: estas plantas utilizan procesos biológicos y físico-químicos para eliminar los contaminantes del agua residual. Plantas de tratamiento de lodos activados: este tipo de planta utiliza un sistema de aireación para promover el crecimiento de bacterias que eliminan los contaminantes del agua residual. Plantas de tratamiento de lagunas: estas plantas utilizan estanques o lagunas para tratar el agua residual de manera natural, permitiendo que los microorganismos presentes en el agua descompongan los contaminantes. Plantas de tratamiento de membranas: estas plantas utilizan tecnología de filtración por membranas para separar los contaminantes del agua residual. Plantas de tratamiento de oxidación avanzada: estas plantas utilizan procesos químicos para eliminar los contaminantes del agua residual, y finalmente

plantas de tratamiento de desinfección ultravioleta las cuales utilizan luz ultravioleta para matar los microorganismos presentes en el agua residual.

- *Control de descargas industriales:* Implementar regulaciones y monitoreo para controlar las descargas industriales y evitar la contaminación del agua, sobre todo para desechos peligrosos adoptando políticas para prevenir la contaminación del agua y asegurar que las aguas residuales cumplen con los estándares de calidad antes de ser descargadas al sistema de alcantarillado o a cuerpos de agua naturales. Algunos de los controles industriales más comunes son similares a las políticas gubernamentales, pero con procesos muy locales o puntuales para tratar sus aguas residuales antes de ser descargadas a los sistemas de alcantarillado o cuerpos de agua con procesos físicos, químicos o biológicos para eliminar los contaminantes. Los mecanismos de monitoreo y reducción de sustancias tóxicas no solo involucran a los dueños de las empresas sino a sus trabajadores con continua capacitación y educación para hacer una buena convivencia con el medio ambiente
- *Reducción de la contaminación agrícola:* Fomentar prácticas agrícolas más sostenibles que minimicen el uso de pesticidas y fertilizantes químicos y reduzcan la erosión del suelo, porque el fenómeno se da en tierra, agua y aire con detalles específicos como la operación de maquinaria, uso de organismos genéticamente modificados con efectos futuros e impredecibles.
- *Mejora de la infraestructura urbana:* Mejorar la infraestructura urbana para reducir la escorrentía de aguas pluviales y evitar la contaminación del agua con las siguientes acciones empezando por la evaluación de necesidades de acuerdo a análisis que conlleve a desarrollar un plan integral que establezca objetivos claros y metas específicas, e identifique los recursos necesarios, y determine los plazos y la secuencia de las actividades, para asegurar el financiamiento adecuado para las mejoras de la infraestructura, lo cual puede involucrar la búsqueda de fondos públicos y privados. Ya con los recursos económicos es viable la construcción de la infraestructura que puede implicar la construcción de nuevas plantas de tratamiento, la modernización de las existentes, la instalación de nuevas tuberías y sistemas de distribución, entre otros, y posteriormente la operación y mantenimiento adecuado de la infraestructura para garantizar su funcionamiento a largo plazo con una buena

capacitación para mejorar los comportamientos individuales responsables en el uso del agua con un sistema permanente de monitoreo y evaluación.

- *Creación de áreas verdes y humedales:* Crear áreas verdes y humedales en las riberas de los ríos para filtrar la contaminación y mejorar la calidad del agua. Las áreas verdes y los humedales pueden ser una herramienta valiosa para mejorar la calidad del agua urbana, ya que pueden actuar como filtros naturales que ayudan a reducir la cantidad de contaminantes que llegan a los cuerpos de agua cercanos. Algunos tipos de áreas verdes y humedales que se sugieren para recuperar la calidad de agua urbana son parques urbanos para ayudar a absorber el exceso de agua de lluvia y reducir la cantidad de agua de escorrentía que llega a los cuerpos de agua cercanos. Además, la vegetación de los parques puede absorber ciertos contaminantes del aire y del agua. Igualmente pueden diseñarse jardines de lluvia parecidos a jardines tradicionales, pero que en su base cuentan con un sistema de suelo especial que ayuda a filtrar los contaminantes, así como la creación de humedales en forma de corredores a lo largo de los arroyos urbanos y otros cuerpos de agua. Estos corredores pueden proporcionar un hábitat valioso para la fauna silvestre mientras actúan como filtros naturales para los contaminantes. Una idea promovida en Chapingo desde los 90s, como una extensión de las ideas de las academias alemanas, como los techos verdes pueden ayudar a absorber el agua de lluvia y reducir la cantidad de agua de escorrentía que llega a los cuerpos de agua cercanos. Este rubro es interesante porque ha dado lugar a una gran cantidad de negocios particulares y sin embargo en la UACH no se ha cuidado o dado seguimiento a dichos estudios a tal grado que los techos verdes experimentales localizados en las denominadas Catacumbas han sido removidos sin explicación alguna o con el miedo de que las raíces de las plantas deterioren la infraestructura física.
- *Fuentes naturales:* Las fuentes naturales, como los manantiales y los ríos, pueden ser protegidas y restauradas para ayudar a mejorar la calidad del agua en las zonas urbanas y esto puede incluir primero proteger las áreas naturales que contienen fuentes de agua limpia de la urbanización y la actividad humana para evitar la contaminación y la degradación del agua. Posteriormente, si existen daños es necesario la restauración de áreas aledañas a la ribera y la reintroducción de especies nativas de plantas y animales.



## Conclusiones

Enfocándose en solo una variable como la concentración de oxígeno, también podemos profundizar más allá de los valores promedio pensando en cómo se mide y cuál es su modelación o limitaciones con la combinación de las ecuaciones de Saint Venant (modelación de flujo) junto con las de transporte como (HEC-RAS para multiespecies en 3 dimensiones para solutos). También existe la posibilidad de hacer pequeños programas computacionales en Python o cualquier otro lenguaje donde se puede obtener solo relaciones muy simplificadas del fenómeno.

## Bibliografía

- Dobbins, W. E. (1964). BOD and oxygen relationships in streams. *Journal of the Sanitary Engineering Division, ASCE*, 90(SA3), 53–78.
- Mazari, M. & Pérez-Ortiz, Gustavo & Ledesma, M.T. & Armas-Vargas, Felipe & Antonio, Tapia & Solano-Ortiz, Rosa & Silva, Miguel & Yañez, Isaura & López-Vidal, Yolanda & Díaz-Avalos, C.. (2014). Final Opportunity to Rehabilitate an Urban River as a Water Source for Mexico City. *PloS one*. 9. e102081. 10.1371/journal.pone.0102081.
- Morel, François MM, and J. Hering. 1993. *Principles And Applications Of Aquatic Chemistry*. 2nd ed. New York: John Wiley SIATL. Inegi
- Streeter, H.W.; Phelps, E.B. (1925). «A study of the pollution and natural purification of the Ohio River». *Health Bulletin (Estados Unidos: Public Health Service)* (146). <https://www.hamiltoncompany.com/process-analytics/dissolved-oxygen-knowledge/oxygen-measurement-principles/the-clark-dissolved-oxygen-sensor>

# **TECNIFICACIÓN Y MODERNIZACIÓN DE UNIDADES DE RIEGO: ANÁLISIS HIDRÁULICO-CASO DE ESTUDIO**

Erick Dante Mattos Villarroel  
Carlos Francisco Bautista Capetillo  
Cruz Ernesto Aguilar Rodríguez  
Javier Martínez Reyes  
Jorge Flores Velázquez

## **Resumen**

Actualmente, el 70% del agua dulce utilizada en el mundo, está destinada a la producción agrícola, y se considera clave para el desarrollo económico y mejora de la seguridad alimentaria de diversas sociedades. En México existen regiones con baja eficiencia en el uso del agua destinada al riego agrícola, producto del mal mantenimiento y precariedad de los sistemas de riego, por lo anterior, el gobierno federal pretende realizar inversiones a través de programas presupuestarios encaminados a la rehabilitación y tecnificación de la infraestructura hidroagrícola en Distritos y Unidades de Riego. Para llevar a cabo la tecnificación de la Unidad de Riego de Cuxpala, ubicada en el municipio de Moyahua en Zacatecas, es importante contar con un diseño hidráulico adecuado, que garantice el transporte seguro y eficiente del agua hacia los cultivos, sin menospreciar operación del sistema. Como parte del estudio hidráulico, se utilizó el software EPANET 2.0 en el diseño del sistema de riego, en ella se plantean dos secciones, y como fuente de abastecimiento se tiene una presa de mampostería localizada al norte de la zona de estudio. Los resultados

indican que deben utilizarse en su mayoría tuberías de PVC de clase 5 y de clase 7 para las zonas donde existen presiones cercanas a los 50 mca., los diámetros óptimos varían de 4" a 24" con velocidades de  $0.51 \text{ m s}^{-1}$  a  $3 \text{ m s}^{-1}$  y presiones de 0.3 a 50 mca, se propone una operación del sistema con máximo de 15 hidrantes para 4 puestas.

**Palabras clave:** eficiencia, diseño hidráulico, modelación numérica.

## Introducción

Estudios sobre el cambio climático y las medidas necesarias para mitigar sus efectos negativos sobre zonas de riego han sido realizados por diversos investigadores, los cuales consideran como prioritaria la disponibilidad del agua para la producción agrícola (Jones & Thornton, 2003, Tinoco-Rueda *et al.*, 2011, González-Chávez & Macías-Macías, 2007). Molden *et al.* (2010) menciona que cerca del 70% de agua dulce disponible para distintos usos es utilizada para regar aproximadamente 300 millones de hectáreas de terreno agrícola, por su parte, Arreguín *et al.* (2010) indican que el 77% del recurso es destinado a la producción agrícola. La superficie bajo riego en México representa 6.5 millones de hectáreas, agrupadas en 85 distritos de riego (54 % de la superficie de riego) y más de 39,000 unidades de riego que ocupan el 46 % restante (Conagua, 2012).

Según Arreguín *et al.* (2010) afirman que la mayor posibilidad de recuperación del agua, debido a las bajas eficiencias en su uso, se encuentra en el campo agropecuario, donde se opera con eficiencias del 37% en distritos de riego y 57% en unidades de riego. Así mismo, la reducción de la eficiencia y capacidad hidráulica de los sistemas de riego se presenta por la precariedad y el bajo mantenimiento de estos mismos, por otra parte, la inexistencia de aforadores impide conocer con precisión el volumen de agua que es distribuido a los usuarios de riego (Asencios-Pineda, 2017). Dado que el sector agrícola es de gran importancia para la economía mexicana, el Gobierno de México ha puesto en marcha una serie de reformas dirigidas a la modernización de los sistemas de riego. Las acciones de tecnificación de Distritos y Unidades de Riego, forman parte del "Programa de Apoyo a la Infraestructura Hidroagrícola S217", en dos de sus Subprogramas, este programa presupuestario tiene como objetivo principal, el conservar y mejorar la infraestructura hidroagrícola y tecnificar el riego en el sector agrícola, donde se busca elevar la eficiencia en el uso y manejo del agua (Conagua, 2016), lo cual permite reducir

las pérdidas de agua desde la red de conducción hasta la parcela, logrando un mejor aprovechamiento del recurso hídrico, con mayor eficiencia, calidad y oportunidad del servicio de riego (Salgado *et al.*, 2014).

El avance de la informática ha permitido utilizar programas comerciales como herramientas opcionales para el diseño de riego presurizado y evaluar la eficiencia de la distribución del agua en la agricultura. Existen numerosos modelos de simulación comerciales, el software EPANET 2.0 permite de realizar una simulación de período prolongado y de la calidad del agua dentro de redes de tuberías presurizadas, realiza el seguimiento de la evolución de los caudales y velocidades en los tramos de las tuberías así como presiones en los nudos y niveles en los depósitos; además, permite la exportación e importación de datos y resultados a Excel, facilitando el diseño de redes y la calibración del modelo (Rosman, 2001), SIRIAS simula la distribución de agua de aspersores bajo la influencia del viento, utilizando la teoría balística (Montero *et al.*, 2001), WaterCad es utilizado para el análisis, la modelación y la gestión de redes a presión (Salimi-Tutunsiz, 2020), por su parte, Flores *et al.* (2015) compararon la funcionalidad de los programas WCADI, IIRICAD y IRRIGACAD para el diseño de riego presurizado.

Hoy en día, se estima que el incremento de la oferta de agua de riego es limitado y debe realizarse un estudio de la gestión de la demanda para mejorar de la relación entre agua-producción agrícola, para lograrlo, la agricultura tiene las siguientes opciones: reducir pérdidas de agua, incrementar su productividad y relocalizar su uso (Angella *et al.*, 2015). En este contexto, un sistema de riego tecnificado permite aplicar el agua de forma localizada, continua, eficiente y oportuna, disminuyendo las pérdidas físicas del recurso (Mattos *et al.*, 2015). Es por ello que el objetivo de este estudio consiste en plantear la importancia de un diseño hidráulico presurizado para la modernización y tecnificación de la unidad de riego de Cuxpala, localizado en el municipio de Moyahua, Zacatecas, con la finalidad de obtener una serie de diámetros óptimos que aseguren el transporte del recurso hídrico bajo las condiciones ideales de presión y velocidad.

## Marco conceptual

### *Ecuación de la continuidad*

Se llama caudal o gasto al volumen de líquido que recorre cierta sección de tubería o canal en una unidad de tiempo. Considerándose una vena líquida con secciones transversales  $dA_1$  y  $dA_2$ , con velocidades  $V_1$  y  $V_2$ , el caudal  $Q_1$  que pasa por la sección  $dA_1$  es (ec. 1):

$$Q_1 = V_1 A_1 \quad (1)$$

Tratándose de un flujo permanente e incompresible, entonces, la cantidad de líquido que entra en la sección  $dA_1$ , es igual a la que sale por la sección  $dA_2$  y se puede representar con la ec. (2) (Sotelo, 1997):

$$Q = V_1 A_1 = V_2 A_2 = V A \quad (2)$$

Dónde:

$Q$  es el caudal ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ )

$V$  es la velocidad del flujo ( $\text{m s}^{-1}$ )

$A$  es el área de la sección por donde circula el flujo ( $\text{m}^2$ ).

La ec. (2) es la ecuación de la continuidad y es útil para el cálculo de diámetros en el diseño de un sistema de tuberías.

### *Ecuación de la energía*

La ecuación de la energía, es una expansión de la ecuación de Bernoulli (ec. 3), que permite resolver problemas donde se presenta pérdidas y adiciones de energía, es importante cuando se diseña un sistema de tuberías y sirve para definir las líneas de energía y piezométrica entre dos secciones (ec. 4) (Cañadas, 1993).

$$H = \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 = \text{constante} \quad (3)$$

$$H = \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + h_f \quad (4)$$

Dónde:

$H$  es la energía total (m)

$g$  es la aceleración de la gravedad ( $\text{m s}^{-2}$ )

$P_i$  es la presión hidrostática ( $\text{Kg m}^{-1} \text{s}^{-2}$ )

$\gamma$  es el peso específico del fluido ( $\text{Kg m}^{-2} \text{s}^{-2}$ )

$Z_i$  es la altura de un punto en el fluido con respecto a un plano de referencia (m)

$h_f$  es la pérdida de energía (m).

En sistemas de tuberías, las pérdidas de energía están en función de la longitud de la línea de conducción, la velocidad, la rugosidad de las paredes de la tubería, cambios de sección de la línea de conducción y presencia de accesorios de accesorios hidráulicos. En tuberías de conducción para riego, es común utilizar la ecuación de Hazen-Williams (ec. 5) para estimar las pérdidas de energía generadas por la fricción, siendo un método muy empleado por su fórmula empírica y cálculo simple (Yepes y Martí, 2017).

$$h_f = \frac{10.764}{C^{1.85} V^{4.78}} Q^{1.85} L \quad (5)$$

Dónde:

$h_L$  es la pérdida de energía o carga (m)

$C$  es el coeficiente de rugosidad (adimensional).

En sistemas de tuberías, también se presentan pérdidas menores debido a la presencia de turbulencias en codos y conexiones, éstas se calculan multiplicando un coeficiente por la energía cinética de entrada en la tubería (ec. 6) (Rossamn, 2001).

$$h_L = K \frac{V^2}{2g} \quad (6)$$

Dónde:

$h_L$  son las pérdidas menores (m)

$K$  es el coeficiente de pérdidas menores (adimensional).

### *Flujo en canales, redes abiertas y cerradas*

El flujo en un canal se caracteriza porque expone una superficie libre a la presión atmosférica y se mueve por acción de la gravedad. En sistemas de riego a superficie libre, el caudal se calcula con la ecuación de Manning (ec. 7), esta ecuación es adecuada para flujo permanente turbulento en canales rugosos (Sotelo, 2002):

$$Q = \frac{1}{n} \frac{A^{5/3}}{P^{2/3}} S^{1/2} \quad (7)$$

Dónde:

$n$  es el coeficiente de rugosidad de Manning (adimensional)

$A$  es el área hidráulica (m<sup>2</sup>)

$P$  es el perímetro mojado (m)

$S$  es la pendiente del canal (adimensional).

En sistemas de redes, existen dos tipos: abierta y cerrada. Una red es abierta cuando los conductos que la componen se ramifican, sucesivamente, sin intersectarse, los extremos finales de las ramificaciones pueden terminar en un recipiente, o descargar libremente a la atmósfera, por otro lado, en una red cerrada los conductos que la componen se cierran para formar un circuito. La solución del problema de redes se basa en dos tipos de ecuaciones: la de nudo (ec. 8) y la de pérdida de energía (ec. 5) (Sotelo, 1997).

$$Q_{\text{entra}} + Q_{\text{sale}} = 0 \quad (8)$$

En la ecuación del nudo, el gasto que ingresa a un nudo debe ser igual al gasto que sale de éste, satisfaciendo de esta manera la ecuación de continuidad. Por otra parte, la pérdida de energía entre dos nudos debe ser la suma algebraica de las pérdidas en cada tramo, en

el recorrido completo en cada circuito, las sumatorias de pérdidas debe ser igual a cero (Jiménez *et al.*, 2013)

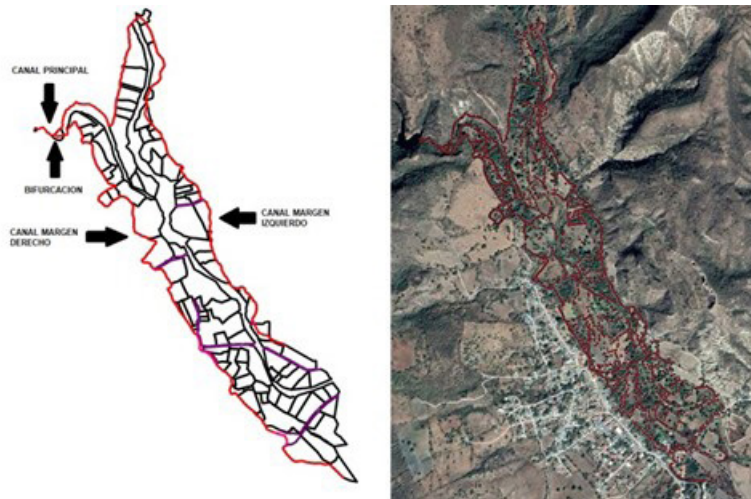
## **Metodología**

### *Identificación de la zona de estudio*

La fuente de abastecimiento del sistema de riego a tecnificar es la presa Cuxpala, ubicada al norte de la zona de estudio, del que parte un canal principal revestido, en el Km 0+103.74 el canal se bifurca en otros dos canales revestidos: derecho e izquierdo, con longitudes de 2682.85 Km y 2797.90 Km, respectivamente (Fig. 1).

## **Figura 1**

### *Identificación de la zona de estudio*

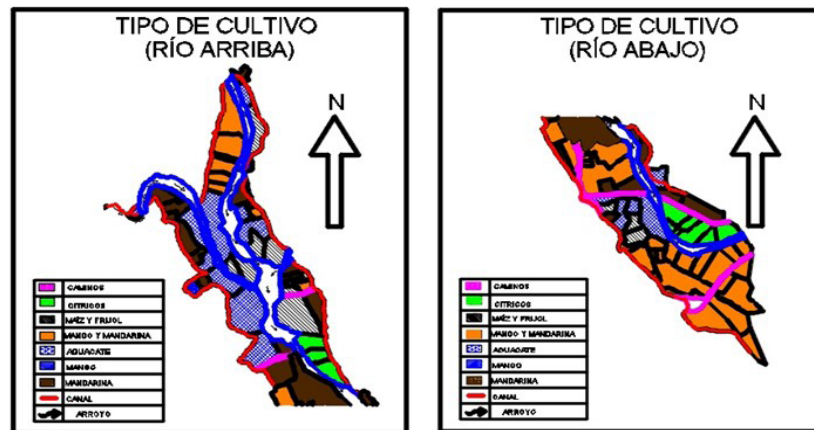


La unidad de riego cuenta con una superficie regable de 51.62 ha. Por la que atraviesa un arroyo que la divide en dos secciones: el margen izquierdo con 20.76 ha. Y el derecho 30.86 ha. (Fig. 2), las cuales adquieren el agua de riego de los canales por medio de compuertas.



**Figura 2**

*Áreas regables y tipos de cultivos*



## Datos básicos del sistema de riego

### *Levantamiento topográfico*

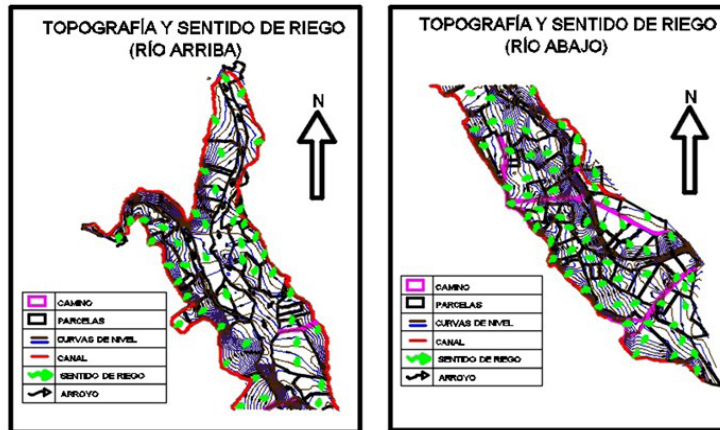
El estudio topográfico consistió en obtener un conjunto de puntos con sus coordenadas espaciales, para contar con información de: a) delimitación de parcelas, elevaciones, superficie y tipos de cultivos, b) ubicación de estructuras de control existentes y c) coordenadas de puntos necesarios para el trazo de la red de distribución propuesta. La topografía detalló el conjunto de parcelas, ubicando el número de estructuras de control, los cultivos existentes y el sentido de riego (Fig. 3).

### *Datos agronómicos*

Los datos de la información agronómica han sido considerados en el diseño hidráulico de la red propuesta, como lo son: la capacidad de extracción de la presa, el área de riego de los hidrantes, el gasto modular, el intervalo de riego por día y el tiempo crítico de riego.

**Figura 3**

*Curvas de nivel y sentido de riego*



### *Definición de la red propuesta*

Con base en la información topográfica y la localización de estructuras hidráulicas existentes en la zona de estudio, se propone el número de hidrantes necesarios conforme a la superficie de las parcelas y su área de influencia, posteriormente, los hidrantes son ubicados en los vértices de las parcelas con mayor elevación topográfica y se realiza el trazo de la línea de conducción hacia cada hidrante, evitando la invasión de parcelas y la intersección con arroyos y carreteras.

El trazo de las líneas principales se realizó siguiendo con preferencia la dirección del canal existente, a partir de las cuales se derivan las líneas laterales y sub-laterales

### *Cálculo de los diámetros de tubería*

Una vez definida la red propuesta, utilizando la ecuación de la continuidad, se procede a calcular los diámetros óptimos de cada tramo de tubería, considerando las velocidades permisibles según el tipo de material, con el propósito de evitar erosión de las tuberías y sedimentación dentro de las mismas. En el caso de estudio se utilizó tubería de PVC con velocidades permisibles de  $0.3 \text{ m s}^{-1}$  a  $3 \text{ m s}^{-1}$  para la conducción de agua de riego.

Se utilizó la ecuación de Hazen-Williams para calcular las pérdidas de energía debido a la fricción en los tramos de tubería y estimar que la presión mínima de trabajo en los hidrantes no sea menor a 0.15 mca (metros de columna de agua).

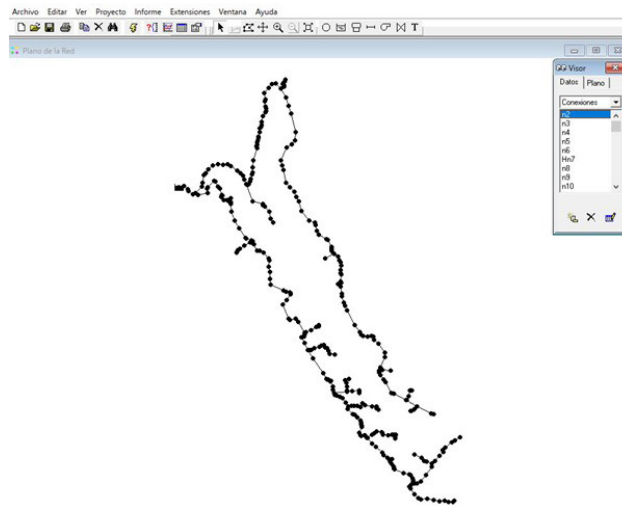
### *Conformación de la red propuesta*

Para llevar a cabo el diseño hidráulico, se construye el modelo de la red propuesta en el software EPANET. La conformación geométrica de la red propuesta en EPANET 2.0 se realizó de la manera siguiente:

- a) El trazo de la red realizado en el software AutoCad es exportada a EPANET 2.0 por medio del software EpaCad (Fig. 4).

### **Figura 4**

#### *Visualización del sistema de riego propuesto en EPANET2.0*

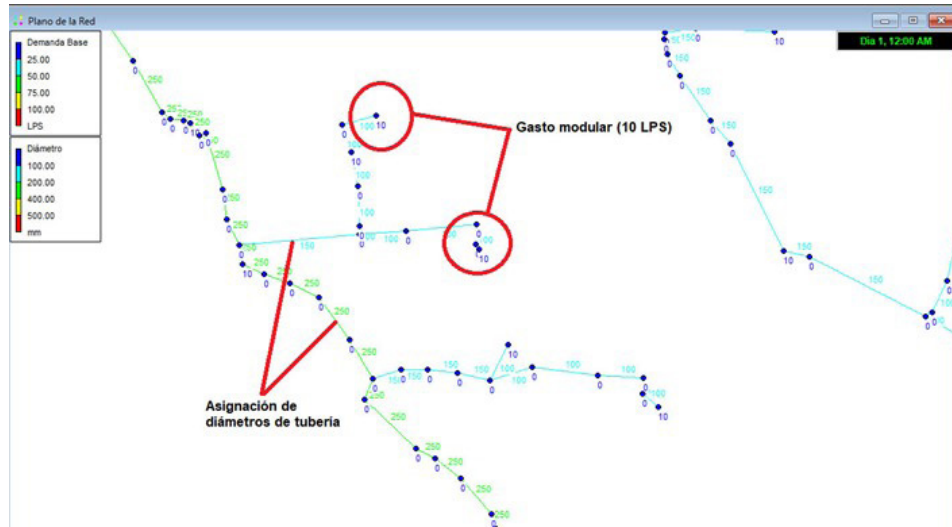


- b) En EPANET 2.0 se definen para las líneas de conducción, los diámetros, previamente calculados, y el coeficiente de rugosidad (150 para tuberías de PVC), mientras que en los nodos donde se encuentran los hidrantes se les asigna la demanda base, que corresponde al gasto modular ( $10 \text{ l s}^{-1}$ ) (Fig. 5).
- c) Para el tiempo de simulación (horas), se considerará el tiempo crítico de riego.
- d) Las curvas de modulación en EPANET 2.0 son definidas a partir de la cantidad máxima de hidrantes que pueden funcionar simultáneamente según la capacidad

máxima de extracción de la presa; para el caso de estudio operarán 15 hidrantes al mismo tiempo.

**Figura 5**

*Definición de diámetros y gastos modulares en EPANET 2.0*



## Resultados

El sistema de riego propuesto opera como una sola sección, sin embargo, se presentan subsecciones claramente identificables separadas por un arroyo que atraviesa la unidad de riego. El sistema de tubería propuesto tiene una longitud de 7.30 km, sin embargo, en el tramo más alejado al sur de la unidad de riego, la línea de conducción posee presiones estáticas cercanas a 50 m.c.a. por lo que la clase de tubería de ese tramo que se consideró fue de 7. Los diámetros de tuberías propuestas varían de 4" a 24" garantizando de esta manera velocidades entre  $0.3 \text{ m s}^{-1}$  y  $3 \text{ m s}^{-1}$ . En la Tabla 1 se resume las características de tuberías propuestas. Para la facilidad de operación del sistema de riego, se proponen dos válvulas de seccionamiento, ubicadas inmediatamente después del nodo donde se divide la red propuesta (Fig. 6), y se ubicaron 60 hidrantes en los vértices más elevados de las parcelas.

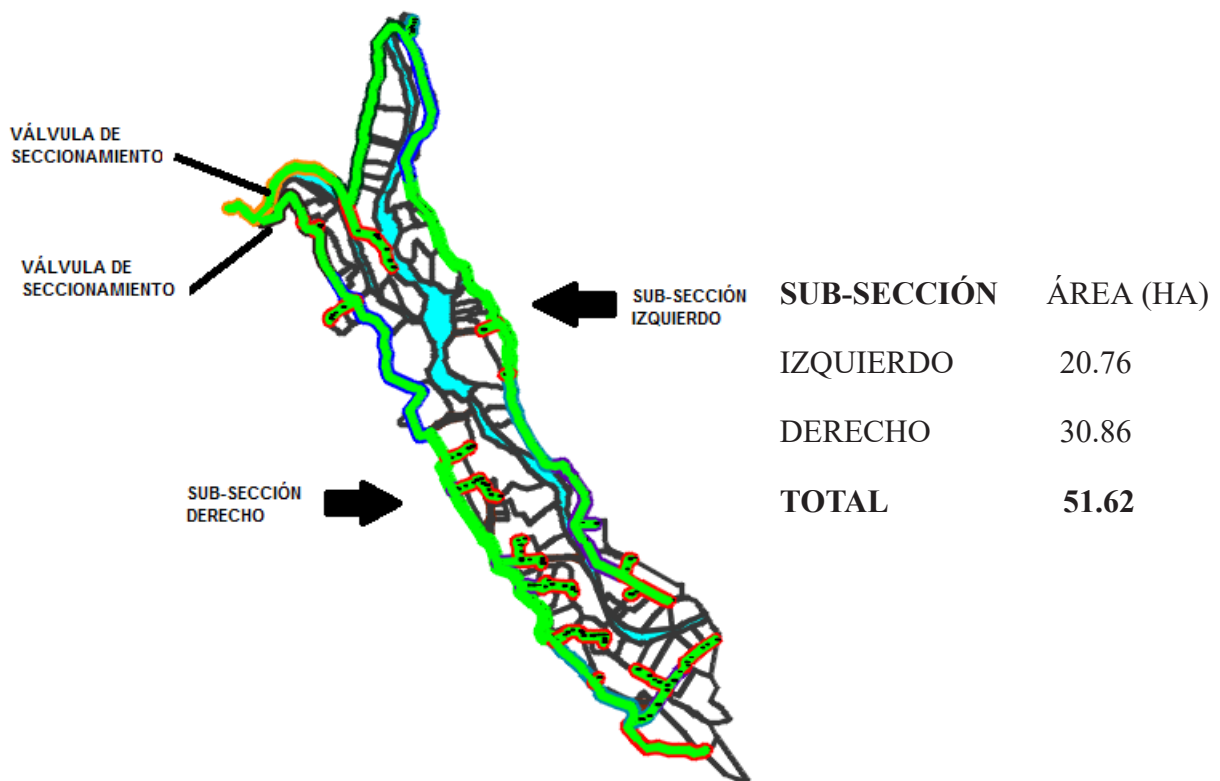
**Tabla 1**

*Características de las líneas de conducción propuestas*

<b>Diámetro (")</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Clase</b>
4	263.66	7
4	1566.67	5
6	769.61	5
8	782.50	5
10	1412.77	5
12	1049.60	5
14	411.06	5
20	226.60	5
24	819.77	5

**Figura 6**

*Sub-secciones identificadas y áreas de cultivo regable*

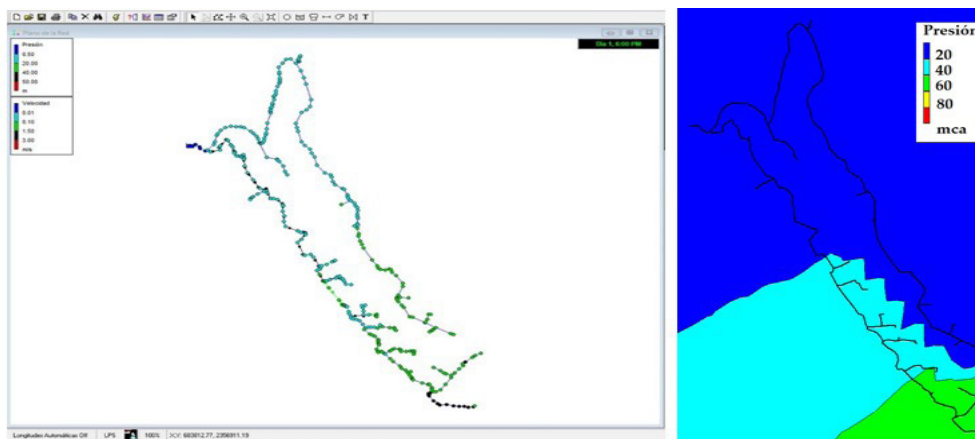


Definida la red propuesta, se realiza su conformación geométrica en EPANET 2.0 para analizar su comportamiento de presiones en nodos y velocidades en tramos de tuberías (Fig. 7). Se constató que las presiones bajas están cerca de la fuente de abastecimiento, en contraparte, las presiones estáticas son altas en la zona sur de la sub-sección derecho.

En la Tabla 2 se resumen las presiones y velocidades máximas y mínimas identificadas para cada línea de conducción.

**Figura 7**

*Simulación del sistema de riego en EPANET 2.0*



**Tabla 2**

*Presiones y velocidades máximas y mínimas*

Tubería	Presión	Presión	Presión	Presión	Velocidad	Velocidad
	de trabajo máx. (mca)	de trabajo mín. (mca)	estática máx. (mca)	estática mín. (mca)	máx (m s <sup>-1</sup> )	mín. (m s <sup>-1</sup> )
Línea principal	17.99	0.30	53.85	0.31	3.00	0.51
Sub-sección izquierdo	12.21	0.50	39.92	0.61	2.76	0.31
Sub-sección derecho	35.38	2.04	49.96	4,85	2.74	1.10

Con base en las presiones de trabajo que se presentan en los hidrantes, se definen dos tipos de riego: de gravedad (23.58 ha) y por goteo (28.04 ha) (ver Figura 8).

Cuando se diseña un sistema de tuberías a presión, no sólo se trata de obtener los diámetros más económicos y óptimos, se tiene un reto quizá mayor, que es el control del sistema, pues además de la instalación de válvulas de seccionamiento y medidores de gasto, es muy importante tener una visión clara de cómo se debe operar.

### Figura 8

#### *Tipos de riego*



En la simulación se representó un suministro abierto, es decir, el riego se realiza en cualquier punto de la red sin importar en qué tiempo o lugar se esté regando, en consecuencia dificulta la gestión del uso del agua para mantener las cargas adecuadas en cada uno de los hidrantes y que no se excedan los caudales máximos, para evitar lo anterior se propone realizar una operación por secciones, de manera no se exceda el número máximo de hidrantes (15 por riego), se conserve el gasto máximo, y se apliquen las horas que se tienen como tiempo de riego crítico.

Considerando que existen dos secciones claramente definidas, la propuesta de operación recomendando la cantidad de hidrantes se resume en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Propuesta de operación, cantidad de hidrantes por puesta*

	Puesta			
	1	2	3	4
Margen derecho	15	15		7
Margen izquierdo			15	8

## **Conclusiones**

Los resultados muestran la importancia del uso de programas computacionales para el desarrollo del diseño de sistemas de riego, en especial para zonas accidentadas, dado que permiten obtener y analizar distintos escenarios y resultados de diferentes puntos del modelo numérico de manera escalar, como mapa de contornos o gráficas. Sin embargo, el modelo numérico debe ser validado previamente con resultados obtenidos ya sea en campo, modelos físicos o manualmente, para evitar ser considerados como correctos, resultados erróneos.

Por otra parte, es importante realizar el correcto estudio de la topografía, pues con base en el comportamiento del terreno se decide el trazo de la línea de conducción propuesta y el tipo de tubería que se ha de utilizar en sistemas de riego a presión.

Se recomienda poner especial énfasis en el correcto mantenimiento del sistema de riego, ya que con el tiempo se incrementa la rugosidad y el área hidráulica disminuye dentro de las tuberías, lo que se traduce en una reducción del rendimiento hidráulico y en pérdidas de energía, todo ello limita el poder realizar un riego adecuado, especialmente, en zonas con baja presión.

## **Bibliografía**

- Angella, G., Prieto, S., López, J., Barraza, G., Salgado, R., Tomsic, P., Prieto, D. & Fereres, E. (2015). La modernización de los sistemas de riego y la importancia de los aspectos “no estructurales”. In *Congreso Nacional del Agua. 25. Conagua 2015. 2015 06 15-19, 15 al 19 de junio de 2015. Paraná, Entre Ríos. AR.*
- Arreguín, F., Alcocer, V., Marengo, H., Cervantes, C., Albornoz, P. & Salinas, G. (2010). Los retos del agua. En Academia Mexicana de Ciencias, *El agua en México: cauces y encauces* (pp. 51-77). México, D. F.: Academia Mexicana de Ciencias.
- Asencios Pineda, J. (2017). Diseño e instalación de un sistema de riego tecnificado por aspersión para el grupo de gestión empresarial Mi Hualtipampa Alta-Cajamarca.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2012). *Información sobre el agua en México. Usos del agua*. Recuperado el 5 de Marzo del 2020 de <http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=60&n3=87&n4=34>.



- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2016). Diagnóstico del Programa Presupuestario S217 “Apoyo a la Infraestructura Hidroagrícola”. Recuperado el 15 de Octubre del 2022 de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/155444/S217\\_10feb16.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/155444/S217_10feb16.pdf)
- Cañadas, M. A. M. (1993). *Hidráulica aplicada a proyectos de riego* (Vol. 59). EDITUM.
- Flores Velázquez, J., Ojeda Bustamante, W., & Iñiguez Covarrubias, M. (2015). Diseño del riego presurizado asistido por computadora. *I CONGRESO NACIONAL COMEII 2015, Reunión Anual de Riego y Drenaje*, (págs. 1-10). Jiutepec.
- Mattos Villarroel, E., J., Ojeda Bustamante, W., & Iñiguez Covarrubias, M. (2015). Tecnificación del Módulo 4 del Distrito de Riego 034, Zacatecas: análisis hidráulico. *I CONGRESO NACIONAL COMEII 2015, Reunión Anual de Riego y Drenaje*, Jiutepec, México.
- González-Chávez, H., & Macías-Macías, A. (2007). Nutritional Vulnerability and Mexico’s Agro-Alimentary Policy. *Desacatos*, (25), 47-78.
- Jiménez, M., Ortiz, A., Castillo, E., Romero, R., & Godos, R. (2013). Manual de Apuntes de la Experiencia Educativa de tuberías y canales. *México: Creative Commons*.
- Jones, P. G., & Thornton, P. K. (2003). The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055. *Global Environmental Change*, 13(1), 51-59.
- Molden, D., Oweis, T., Steduto, P., Bindraban, P., Hanjra, M. A., & Kijne, J. (2010). Improving agricultural water productivity: Between optimism and caution. *Agricultural water management*, 97(4), 528-535.
- Montero, J., Tarjuelo, J., & Carrión, P. (2001). SIRIAS: a simulation model for sprinkler irrigation: II. Calibration and validation of the model. *Irrigation Science*, 20, 85-98.
- Rossman, L. A. (2001). Epanet 2 manual de usuario. *US Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio*.
- Salgado, M. D. O., Bustamante, W. O., Delgado, G. B., & Garcés, O. A. (2014). Participación y apropiación de la modernización y tecnificación del riego en Chihuahua México. *Ingeniería hidráulica y ambiental*, 35(1), 47-61.

- Salimi Tutunsiz, M. (2020). *Hydraulic evaluation of sprinkler irrigation network using Water Gems software (Case study of Sarein county)* (Doctoral dissertation, University of Mohaghegh Ardabili).
- Sotelo Ávila, G. (1997). *Hidráulica General, Volumen 1, Fundamentos*. Editorial Limusa.
- Sotelo Ávila, G. (2002). *Hidráulica de canales*. Departamento de Publicaciones de la Facultad de Ingeniería, Ciudad Universitaria, México.
- Tinoco-Rueda, J. A., Gómez-Díaz, J. D., & Monterroso-Rivas, A. I. (2011). Climate Change Effects on Maize Potential Distribution in Jalisco State, Mexico. *Terra Latinoamericana*, 29(2), 161-168.
- Yepes, V., & Martí, J. (2017). *Máquinas, cables y grúas empleados en la construcción*. Valencia: Universitat Politecnica de Valencia.

# PRODUCCIÓN AGRÍCOLA Y REQUERIMIENTO HÍDRICO EN SMART CITIES

Jorge Flores Velázquez  
Ana Alicia Palacios Fonseca  
Abraham Rojano  
Ernesto Aguilar

## Resumen

Entre los 42 países de América Latina y el Caribe suman 595 millones de habitantes. A partir de 2010 esta población se ubica en zonas principalmente urbanas. Para 2040, 2 billones de personas estarán habitando las principales ciudades. La gestión integrada de los recursos hídricos ha pasado de la cuenca a la gestión hídrica en la ciudad. La agricultura también está migrando a las ciudades sumando el intensivo consumo de alimentos. Actualmente los edificios residenciales y comerciales consumen el 40 % de energía y el 36 % de las emisiones totales comunitarias de CO<sub>2</sub>. Los edificios deberán ser readaptados para convertirse en espacios eficientes para equilibrar la demanda poblacional con la oferta de recursos en especial el nexo agua-energía y atenuar el Cambio Climático. En la zona metropolitana de la ciudad de México habitan más de 22 millones de una población apostada en aproximadamente 8000 km<sup>2</sup>, que ha ido absorbiendo la zona rural por la urbana. la agricultura urbana casi de manera “*per ze*”, cuyas ventajas alimentarias son sustantivas logrando producciones de entre 5 y 10 cultivos al año, entre una variedad de hortalizas, verduras, aromáticas, medicinales para autoconsumo, en sistemas verticales, como paredes, azoteas, sótanos o balcones. Agricultura urbana, Fábrica de plantas, granjas

verticales, muros y azoteas verdes, son solo algunas de las tecnologías que han surgido y de manera exponencial se han posicionado como alternativas de producción agrícola.

**Palabras clave:** agua, agricultura urbana, impacto social.

## **Introducción**

El constante crecimiento de la población y su dinámico movimiento, son factores críticos en el desarrollo social regional y nacional. El sector agrícola, consumidor del 70 % de agua útil, es uno de los más afectados de esa migración, redundando en la necesidad de mantener una producción de cosechas con el menor uso de recursos. Los sistemas de producción de cultivos también están migrando, cada día es más común ver técnicas agrícolas intensivas en las zonas urbanas. Entre los factores que condicionan la producción agrícola se atenúan en ambiente, suelo y agua (Reséndez, M., Durón y González, 2011). El éxito agrícola consiste del manejar esos factores por lo que al “aislar” los cultivos se dio origen a la agricultura protegida (AP). Iniciando con invernaderos como un sistema de producción realizado bajo estructuras que protegen al cultivo de los fenómenos ambientales externos extremos. La técnica continúa desarrollando de tal suerte que otras formas de producción se han establecido como agricultura urbana, paredes y azoteas cultivadas, hasta los actuales sistemas llamados cultivos “indoor” o de interior, tales como cultivos en capas y fábricas de plantas.

En México, la vulnerabilidad de la producción agrícola a extremos ambientales ha quedado de manifiesto, dado que solo el 20 % de la superficie es cultivable. Entre los motivos que impiden expandir el área cultivable se puede mencionar el clima semiárido, mínima precipitación anual, topografía y suelos contaminados. Los cambios en la temporada de lluvias pueden resultar en amenaza de sequía y con frecuencia, en desastres para sectores dependientes del agua (Hernández, Torres y M. Valdez, 2000). Una manera de reducir los efectos climáticos es mediante la producción bajo invernadero, permitiendo al agricultor tener control de las variables ambientales internas (Kim et al., 2008; Majdoubi, Boulard, Fatnassi & L. Bouirden, 2009; Flores, Mejía, Montero & A. Rojano, 2011; Flores, Lorenzo, Mejía & Montero, 2014).

Los invernaderos de baja y media tecnología representan la mayor superficie de invernaderos en México, siendo los más afectados a cambios ambientales, provocando

un incremento energético para el control de humedad y temperatura. Los invernaderos de baja tecnología al ser 100% dependientes del ambiente exterior, requieren mayor control por parte de los productores para mantener un ambiente idóneo para el cultivo presente. Este tipo de invernaderos se dice que su función principal es delimitar los factores ambientales externos como las lluvias. Los invernaderos de media tecnología son estructuras de mayor resistencia, semi-climatizados con cierta dependencia al ambiente exterior, pero que requieren apoyo por parte de los productores para el manejo de ventanas laterales y cenitales.

Condiciones climáticas adversas, una reducción en los recursos para llevar a cabo la actividad agrícola y el uso de combustibles fósiles para el transporte de las cosechas han originado movimientos poblacionales que contribuyen en tanto en la reducción de la calidad de vida, problemas sociales y desde luego los impactos en el ambiente, que se vuelven un círculo vicioso. Desde esa perspectiva las ciudades actuales deben migrar a un modelo inteligente (Smart cities) con perspectiva tanto de producción agrícola como de equilibrio energético

## **Marco teórico**

El abastecimiento de áreas urbanas con energía, agua, espacio y alimentos depende en gran medida de los flujos de recursos externos hacia las ciudades: “Las ciudades ocupan solo el 2 por ciento de la superficie mundial, pero consumen el 75 por ciento de sus recursos” (Giradet, 2008). Al mismo tiempo, las ciudades son ecológicamente más eficientes que cualquier otro tipo de asentamiento. Teniendo en cuenta las tendencias mundiales, como el cambio climático y la escasez de recursos, se necesitan nuevos enfoques para reducir la huella urbana y hacer que las ciudades sean sostenibles. “La ciudad moderna se ha construido contra el campo, generando el antagonismo urbano-rural actual, y ésta es una de las claves fundamentales de la insostenibilidad urbana” (Soler y Renting, 2013)

La cuestión de cómo alimentar a las ciudades futuras es un tema central en este contexto. La distancia espacial entre las personas y las tierras agrícolas que las sustentan altera los ecosistemas porque evita el reciclaje de nutrientes y crea altos costos y problemas de emisiones en el transporte a larga distancia. “lo que está claro es que la relación entre las comunidades que no producen alimentos (también conocidas como ciudades) y las

que producen alimentos (también conocidas como zonas rurales) está peligrosamente descentrada”. También subraya la necesidad de volver a incluir los alimentos en la agenda de las ciudades, y pide un gran cambio cultural con nuevas estructuras políticas y económicas, modelos de planificación y orden social. La situación actual exige conciencia ambiental y mitigar el impacto dañino del desarrollo urbano en el entorno natural, al mismo tiempo que maximizamos la calidad del diseño y la habitabilidad, el crecimiento económico, la diversidad cultural y la prosperidad social para lograr desarrollos urbanos justos y saludables. Varios autores (Bellezoni et al., 2021; Dubey et al., 2021; Zhong et al., 2021) enfatizan que la reintegración de los alimentos a las ciudades ofrecen oportunidades para enfrentar tales desafíos.

La agricultura urbana está impulsada en gran medida por el deseo de reconectar la producción y el consumo de alimentos. La difusión de la agricultura urbana refleja una creciente conciencia de cómo los alimentos y la agricultura pueden dar forma a las ciudades con perspectiva de producción. Las ciudades son la creación más grande del hombre, sin embargo, en la actualidad es el sumidero de energía y agua que ha colocado en posición de colapso.

Cuando se compara con un invernadero tradicional, una granja vertical permite más rendimiento por metro cuadrado de uso del suelo. Sin embargo, la agricultura vertical requiere un riguroso control de clima en la cámara de cultivo (Giradet, 2008), porque las condiciones climáticas ideales no solo garantizan la calidad de las plantas sino también el rendimiento del producto; las plantas crecen mejor con la temperatura óptima, la humedad relativa, el flujo de aire, etc. Dado que el control del clima está regulado principalmente por un sistema de HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado), es fundamental verificar la capacidad de la unidad de HVAC para garantizar que la unidad sea capaz no solo de manejar las condiciones normales, sino también las circunstancias inesperadas, como el corte repentino de la entrada de calor de las luces y el mal funcionamiento de una unidad HVAC.

Por lo tanto, se desarrollará un modelo de producción urbano que analice la interacción entre el consumo de recursos, principalmente agua y energía y las condiciones del clima y su injerencia en la producción de cultivos de interior en la cámara de cultivo para un diseño de granja urbana. Lo anterior permitirá establecer un sistema de producción granja vertical para cultivar plantas sin importar la ubicación geográfica y el clima local, con lo

cual las ciudades se verán beneficiadas al contar con una agricultura sostenible (Artmann, and Sartison, 2018).

## **Metodología**

### *Consumo hídrico*

Durante los últimos 50 años se han desarrollado métodos empíricos, con el fin de estimar la evapotranspiración a partir de variables climáticas en la calendarización del riego. Para cubrir esta necesidad, algunas guías fueron desarrolladas y publicadas en el Documento N° 24 de la Serie FAO Riego y Drenaje «Necesidades de agua de los cultivos» (Allen et al., 2006). Con el fin de adecuarse a las necesidades de usuarios con diversa disponibilidad de datos, entre las alternativas metodológicas para calcular la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>) se mencionan 9:

1. Método del Evaporímetro del tanque tipo A
2. Método de Penman Monteith
3. Método de Penman Modificado
4. Método de la Radiación
5. Método de Jensen y Haise
6. Método de Thorntwaite
7. Método de Blaney - Criddle modificado por Phelan
8. Método de Blaney - Criddle propuesto por la FAO
9. Método de Hargreaves

Basado en la experiencia, se ha establecido que el método de Penman Monteith modificado con frecuencia sobrestimaba la ET<sub>o</sub>, por niveles de hasta 20 % para condiciones evaporativas bajas. Las otras ecuaciones recomendadas mostraron una correlación variable con la evapotranspiración del cultivo estándar de referencia (pasto).

Para evaluar la validez de éstos y de otros procedimientos de estimación bajo diversas condiciones climáticas, los estudios confirmaron la sobrestimación de la ET<sub>o</sub> por parte del método de Penman Monteith modificado presentado en el estudio No 24 de la Serie FAO Riego y Drenaje y el resultado variable de los diversos métodos dependiendo de su

adaptación a las condiciones locales. La ecuación de Penman Monteith para calcular la evapotranspiración de referencia es la siguiente ec 1

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

Donde:

$ET_0$  = Evapotranspiración de referencia, en

$R_n$  = Radiación neta en la superficie del cultivo, en  $\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$

$R_a$  = Radiación extraterrestre, en  $\text{mm día}^{-1}$

$G$  = Flujo del calor de suelo, en  $\text{Mj m}^{-2} \text{ día}^{-1}$

$T$  = Temperatura media del aire a 2 m de altura, en  $^{\circ}\text{C}$

$U_2$  Velocidad del viento a 2 m de altura, en  $\text{m s}^{-1}$

$e_s$  = Presión de vapor de saturación, en KPa

$e_a$  = Presión real de vapor, en KPa

$e_s$  = Déficit de presión de vapor, en KPa

$\Delta$  = Pendiente de la curva de presión de vapor, en  $\text{KPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$

$\gamma$  = Constante psicrométrica, en  $\text{KPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$

En este método se pueden presentar dos casos:

1. Que se cuenten con todos los datos que se requieren (Radiación, Temperatura, Velocidad del viento y Humedad Relativa).
2. Que solo se cuenten con las temperaturas.

En el caso de la simulación del clima en interiores Zhang, S. & Schuluman B. (2017) obtuvieron un modelo tomando la cámara del cultivo como un volumen de control con una entrada (suministro de aire, que sale de los serpentines del evaporador) y una salida (aire de retorno, que entra a las bobinas del evaporador) y supuso que la elevación y velocidad de entrada y salida eran la misma, así simplifico la ecuación de equilibrio de la tasa de energía como ec 2

$$\frac{dE_{CV}}{dt} = Q_{CV} + m_i h_i - m_e h_e \quad (2)$$



Donde:

$Q_{cv}$  es la adición de calor al volumen de control en J/s,  $m_i$

$m_e$  son la tasa de flujo másico del aire húmedo en la entrada y salida del volumen de control en kg/s

$h_i$  y  $h_e$  son la entalpía del flujo de aire en la entrada y salida en J/kg

El balance de masa del control de volumen es ec 3

$$\frac{dm_{cv}}{dt} = m_i - m_e + m_{gen} \quad (3)$$

Donde:

$dm_{cv} / dt$  es la tasa de cambio de masa dentro del volumen de control en kg/s

$m_{gen}$  es la masa generada en el volumen de control por la transpiración de las plantas y la evaporación del agua superficial en kg/s.

Además de la conservación de energía y masa el modelo consistió en seis evaluaciones de función en cada paso del tiempo.

1. La función de densidad del aire
2. Extrapolación de condiciones
3. Retorno de aire
4. Suministro de aire
5. Extracción de humedad
6. Adición de humedad

La producción de cultivos en zonas urbanas se agudiza con la crisis hídrica y de recursos en general. Ante escenarios de competencia por los recursos, el nexo agua-energía-oxígeno exige su uso eficiente con el fin de sostener la producción de cosechas y hacer de este proceso sustentable.

## **SMART CITIES social y ambientalmente sustentables**

En energía se estima un incremento del 35 % en la demanda global. El uso de energía en los edificios residenciales y comerciales es responsable del 40 %, aproximadamente del consumo total de energía y del 36 % de las emisiones totales comunitarias de CO<sub>2</sub>. Por tanto, los edificios pueden llegar a ser uno de los principales espacios en la carrera por un mejor uso de la energía y contra el Cambio Climático (Sánchez, 2015).

Un porcentaje similar será en el recurso hídrico. La gestión integrada de recursos hídricos “GIRH es un proceso que promueve la gestión y el desarrollo coordinados del agua, el suelo” y demás recursos para potenciar su uso “sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales”. En la zona metropolitana de la ciudad de México habitan más de 22 millones de una población apostada en aproximadamente 8000 km<sup>2</sup>, lo que implica una densidad de habitantes de las más altas del mundo que ha ido absorbiendo la zona rural por la urbana. Frente a ello, se han puesto en marcha tecnologías disruptivas con el fin de atender la transformación del sector.

La urbanización de la población se inició por una combinación de dos grandes circunstancias estructurales: por una parte, el proceso de industrialización y de modernización sociocultural de los países, cuyo espacio estuvo en las ciudades; y la segunda, el estancamiento productivo y social del campo y la aguda inequidad en el acceso a los recursos. Esta combinación provocó el agudizamiento de las brechas efectivas y de oportunidades entre ambos ámbitos, dando como resultado el deterioro del medio rural como forma de vida y detonador de la exponencial migración de su población (CELADE, 2012).

Agricultura urbana, fábrica de plantas, granjas verticales, muros y azoteas verdes, son solo algunas de las tecnologías que han surgido y de manera exponencial se han posicionado como alternativas de producción agrícola. La implementación de estas tecnologías indiscutiblemente pertenece a la cuarta generación de la agricultura, también llamada *big data*, donde todo está interconectado y puede ser operado y gestionado con ceros y unos. Pero, además, implica gestión del recurso mediante tratamiento de aguas residuales, reciclaje del agua, cosecha de lluvia y de gestión de la demanda. En este trabajo se expone la viabilidad en la implantación de estas tecnologías, sus ventajas y requerimientos desde el punto de vista hídrico.

## Discusión

### *Luces artificiales de colores (LED)*

Lograr que la planta misma en su fisiología incremente propiedades ha sido posible usando herramientas como el fertirriego o el uso de luces artificiales o LED que además que aporta soluciones al consumo de energía, provee de características específicas a los productos hortícolas como el tomate o lechuga (Figura 1).

### **Figura 1**

#### *Producción de lechugas usando luces LED*



El uso de luces artificiales ayuda a inducir crecimiento del cultivo en específicos momentos de su desarrollo y con ello manipular las características, como intensificar el follaje con el fin de atenuar la fotosíntesis en edad temprana.

### *Agricultura Urbana*

Entre los avances presentados en el desarrollo hortícola es el hecho de lograr el incremento en los rendimientos, con lo cual ha sido posible redireccionar los objetivos de altas productividades por las propiedades del cultivo, desde luego sin dejar de lado el uso eficiente de los recursos. Las tecnologías disruptivas, permiten el manejo de las

variables climáticas y en consecuencia atenuar la eficiencia, por ejemplo, en el uso del agua y la energía.

El ininterrumpido crecimiento de las ciudades ha dado como resultado una reducción o en algunos casos la eliminación de zonas de cultivo. Buscando alternativas, se desarrolló la agricultura urbana, techos y paredes verdes. Esta tecnología actualmente compite fuertemente con la protegida al menos en superficie.

Una de las ventajas de la horticultura urbana es la disposición de tecnologías que permiten cultivar y cosechar productos en un mismo espacio y poder disponer de ella de manera casi inmediata. Con la agricultura protegida surgieron formas artificiales de producción agrícola, que han alcanzado un máximo en la agricultura urbana. Además, un aspecto que ha comenzado a marcar diferencias es la calidad del consumo, con productos cultivados de manera totalmente orgánica.

### *Fábrica de plantas*

La evolución de la agricultura se mantiene en constante crecimiento; el concepto de fábrica de plantas consiste en la producción de cultivos con el menor “gasto” de recursos. Esto está siendo posible mediante el conocimiento específico de la fisiología de la planta y en consecuencia llevar a cabo un manejo exquisito de la misma.

Por ejemplo, las plantas cultivadas mantienen diferente condición física a lo largo del día y desde luego una marcada diferencia por ejemplo de temperatura entre el día y la noche. Esto implica que los requerimientos también son diferentes. En términos prácticos, dicho grupo de investigación sostiene que, en el tomate, la mejor relación “fuente-sumidero” ocurre cuando el índice de área foliar (IAF) es de 3.5.

Existe un notable crecimiento de las ciudades urbanas, dejando áreas de espacios rurales en donde la pobreza está relacionada con la misma. Sin embargo, el desarrollo de estas ciudades rurales ha dado origen a la pobreza en zonas urbanas. Según el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), se estima que la cantidad de pobres en zonas urbanas aumente en un 76%, esta cifra se da por el aumento migratorio de las zonas rurales a la ciudad y el crecimiento económico de las mismas, ya que las oportunidades laborales de una zona rural no van acorde al crecimiento demográfico; los fenómenos naturales, el bienestar social también contribuyen a la expansión de una ciudad.

El crecimiento de las ciudades tiene como causa la industrialización de las mismas, las cuales han relegado, con el paso de los años, las zonas agrícolas, construyendo más ciudades sobre estas y dejando de lado la importancia que la agricultura tenía en la supervivencia del hombre, se tiene esta relación como principio base para pensar en el futuro de la agricultura, ya que son muchos barrios los que están, en su totalidad, consolidados y segregaron por completo los extensos mantos verdes que embellecían la ciudad (FAO, 2010). De acuerdo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Rural (OCDE), cuando se habla de agricultura periurbana ésta debe ser practicada dentro de un radio de 20 km desde un centro urbano de más de 200 000 habitantes y de 10 km desde una ciudad con una población de entre 50 000 a 100 000 habitantes (ZOOAR, 2011).

En 2019 México se situaba en el 11 lugar en población con 125 millones de habitantes, siendo china y la india con más de mil millones de habitantes como se muestra en la lista:

- |                                |                           |                            |
|--------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 1. China: 1 395 261 000        | 5. Pakistán: 216 823 000  | 9. Rusia: 147 043 000      |
| 2. India: 1 375 898 000        | 6. Brasil: 210 461 000    | 10. Japón: 126 398 000     |
| 3. Estados Unidos: 329 071 000 | 7. Nigeria: 209 058 000   | 11. México: 125 357 000    |
| 4. Indonesia: 266 614 000      | 8. Bangladés: 176 198 000 | 12. Etiopía: 109 392 000   |
|                                |                           | 13. Filipinas: 107 041 000 |

En México, la distribución poblacional se puede observar en la tabla 1.

**Tabla 1**

*Movimiento poblacional en las principales ciudades del México*

No	Ciudad	Entidad Federativa	Superficie km2	
#	Ciudad	Entidad Federativa	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Superficie (mi <sup>2</sup> )
1	Ciudad de México	Ciudad de México / México / Hidalgo	2,370	915
2	Monterrey	Nuevo León	958	370
3	Guadalajara	Jalisco	803	310
4	Tijuana	Baja California	466	180
5	Puebla de Zaragoza	Puebla	440	170
6	Toluca de Lerdo	Estado de México	427	165
7	Ciudad Juárez	Chihuahua	363	140
8	Mexicoall	Baja California	363	140
9	Santiago de Querétaro	Querétaro	363	140
10	San Luis Potosí	San Luis Potosí	346	133
11	Mérida	Yucatán	272	105
12	Torreón	Cochilla de Zaragoza	259	100
13	Chihuahua	Chihuahua	246	95
14	León	Guanajuato	231	89
15	Saltillo	Cochilla de Zaragoza	220	85
16	Oaxaca de Juárez	Oaxaca	218	84
17	Tampico	Tamaulipas	212	82
18	Cuernavaca	Morales	207	80
19	Hermosillo	Sonora	207	80
20	Agascalientes	Agascalientes	199	77
21	Canón	Quintana Roo	199	77
22	Morelia	Michoacán	186	72
23	Reynosa	Tamaulipas	181	70
24	Culiacán	Sinaloa	176	68
25	Veracruz	Veracruz	163	63
26	Tuxtla Gutiérrez	Chiapas	140	54
27	Victoria de Durango	Durango	127	49
28	Acapulco de Juárez	Guerrero	119	46
29	Villahermosa	Tabasco	114	44
30	Xalapa-Enriquez	Veracruz	75	29

## Conclusión

Las nuevas tendencias en horticultura avanzan con pasos agigantados, las herramientas tecnológicas, el uso de microsensores, controladores, actuadores, luces artificiales, etc., son solo algunos del desarrollo que están siendo adecuados para que sean económicamente viables a cualquier usuario, mientras tanto, las nuevas generaciones de horticulturas, deben estar consientes, si desean permanecer en este mercado, es conveniente:

- Desarrollar un alto nivel en el conocimiento fisiológico de la planta.

- Ser capaz de combinar la producción hortícola con los modelos matemáticos
- Habilidades en el manejo del cultivo, de acuerdo a las variaciones geográficas o ambientales
- Profundo conocimiento del manejo de las variables climáticas y capacidad de adaptación

## Bibliografía

- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements*. Estudio FAO Riego y Drenaje. Artículo 56. FAO, Roma, Italia
- Artmann, Martina; Sartison, Katharina (2018). The role of urban agriculture as a nature-based solution: A review for developing a systemic assessment framework. *Sustainability*, 10(6), 937. <https://doi.org/10.3390/su10061937>
- Bellezoni, Rodrigo; Meng, Fanxin; He, Pan; Seto, Karen (2021). Understanding and conceptualizing how urban green and blue infrastructure affects the food, water, and energy nexus: A synthesis of the literature. *Journal of Cleaner Production*, 289, 125825. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125825>
- CELADE. 2012. World population and latin america and the caribbean population: changes and new (im) balances. *Astrolabio*, no. 8. 2012.
- CONAPO (2017). *Consejo Nacional de Población: Proyecciones de población de las entidades federativas de México*.
- Dubey, Pradeep; Singh, Ajeet; Raghubanshi, Apoorva; Abhilash, Purushothaman (2021). Steering the restoration of degraded agroecosystems during the United Nations Decade on Ecosystem Restoration. *Journal of Environmental Management*, 280, 111798. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111798>
- FAO. (1994). ECOCROP 1. *The adaptability level of the FAO crop environmental requirements database*. Versión 1.0. AGLS. United Nations Food and Agriculture Organization (FAO). Rome, Italy.
- Flores-Velázquez, J., Mejía, E., Montero, J. I., & Rojano, A. (2011). Numerical analysis of the inner climate inamechanically-ventilated greenhouse with three spans. *Agrociencia*, 45, 545-560.

- Flores-Velázquez, J., López-Cruz, I., Mejía-Sáenz, E., & Montero-Camacho, J. I. (2014). Evaluación del desempeño climático de un invernadero baticenital del centro de México mediante dinámica de fluidos computacional (CFD). *Agrociencia*, 48(2), 131-146.
- Giradet, H. (2008). *Cities, People, Planet. Urban Development and Climate Change*.
- Hernández, C. M. E., Torres, T. L. A., & Valdez, M. G. (2000). *Sequía Meteorológica*, En: C. Gay (comp.) México: Una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México. Resultados de los estudios de la vulnerabilidad del país, coordinados por el INE con el apoyo del U.S. Country Studies Program, México: INE, SEMARNAP, UNAM, US Country Studies Program, 25-40
- Kim, K., Yoon, J. Y., Kwon, H. J., Han, J. H., Eek-Son, J., Nam, S. W., & Lee, I. B. (2008). 3-D CFD analysis of relative humidity distribution in greenhouse with a fog cooling system and refrigerative dehumidifiers. *Biosystems Engineering*, 100(2), 245–255. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.03.006>
- Majdoubi, H., Boulard, T., Fatnassi, H., & Bouirden, L. (2009). Airflow and microclimate patterns in a one-hectare canary type greenhouse: an experimental and CFD assisted study. *Agr. Forest Meteorol.*, 149, 1050-1062.
- Reséndez, M., Durón, A., & González, L. (2011). Characteristics of protected agriculture and their environment in Mexico. *Revista Mexicana de Agronegocio*, 12, 763–774. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.114479>
- Sánchez R., Olga. 2015. Caracterización de ventilación nocturna en edificios mediante técnicas CFD. Dep. Ingeniería Energética. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla. España
- Soler Montiel, M., & Renting, H. (2013). Agricultura urbana: prácticas emergentes para un nuevo urbanismo. *Hábitat Y Sociedad*, 6(6). <https://doi.org/10.12795/HabitatySociedad.2013.i6.01>
- Zhong, Qiumeng; Wang, Lan; Cui, Shenghui (2021). Urban Food Systems: A Bibliometric Review from 1991 to 2020. *Foods*, 10(3), 662. <https://doi.org/10.3390/foods10030662>
- Zhang, S. & Schuluman B. (2017). *A Numerical Model for Simulating the Indoor Climate inside the Growing Chambers of Vertical Farms with Case Studies*.



La edición de esta obra estuvo a cargo de Arturo Juárez Martínez,  
Mary Carmen Paredes Díaz y Rafael Cruz Sánchez.

Se terminó de subir a la red en julio de 2024.

Se empleó tipografía Times New Roman,  
tamaño 9, 10, 11, 13, 18, 20 y 24 puntos.

Julio  
2024