

AGRICULTURA

Procesos hidroagrícolas y sustentabilidad: producción agrícola y turismo en México

José Luis Montesillo
José Isabel Juan Pérez



Procesos hidroagrícolas y sustentabilidad: producción agrícola y turismo en México

José Luis Montesillo Cedillo
José Isabel Juan Pérez



CONACYT
Registro Nacional de Instituciones
y Empresas Científicas y Tecnológicas
Registro: 1900555

Procesos hidroagrícolas y sustentabilidad: producción agrícola y turismo en México

© José Luis Montesillo Cedillo
José Isabel Juan Pérez

Dirección del proyecto

Eduardo Licea Sánchez
Esther Castillo Aguilar
José Eduardo Salinas de la Luz

Arte

Livia M. Rocco Sarmina
Paulina Cordero Mote
Vanessa Alejandra Vázquez Fuentes

Formación de interiores

Livia M. Rocco Sarmina

Preprensa

Víctor Hugo Flores Hernández

1ª edición 2021

© 2021 Fernando de Haro y Omar Fuentes

ISBN: 978-607-437-536-7

D.R. © CLAVE Editorial

Paseo de Tamarindos 400 B, suite 109

Col. Bosques de las Lomas, Ciudad de México, México. C.P. 05120

Tel. 52 (55) 5258 0279/80/81

ame@ameditores.mx

ecastillo@ameditores.mx

www.ameditores.com

Las opiniones y puntos de vista expresadas en la presente obra, son responsabilidad única y exclusiva de su autor y no necesariamente representan las posiciones u opiniones de la Editorial y las de sus integrantes.

Ninguna parte de este libro puede ser reproducida, archivada o transmitida en forma alguna o mediante cualquier sistema, ya sea electrónico, mecánico o de fotoreproducción, sin la previa autorización de los editores.

Elaborado en México.

Procesos hidroagrícolas y sustentabilidad: producción agrícola y turismo en México

El contenido total de este libro fue sometido a dictamen en el sistema de pares ciegos. La dictaminación estuvo a cargo de profesores-investigadores de la Universidad del Caribe, Quintana Roo, México y por tecnólogos del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Morelos, México.

Los fundamentos teóricos y metodológicos contenidos en cada uno de los capítulos que conforman esta obra, así como las fotografías, imágenes, mapas, cuadros, tablas y diagramas son responsabilidad de los autores. Se autoriza la reproducción total o parcial del contenido de los capítulos con fines académicos, docentes, didácticos, de divulgación e investigación, citando siempre la fuente.

Índice

Introducción	7
Aporte del agua a la producción de maíz grano en México, 1980-2019	13
Manejo del sistema agrohidráulico en un ejido de transición ecológica de México	41
La economía circular y el incremento de la oferta de agua en Acapulco	69
Evolución y situación de las Unidades de Riego en México	101

Introducción

Procesos hidroagrícolas y sustentabilidad: producción agrícola y turismo en México está conformado por cuatro capítulos, en cada uno de ellos se analiza la relevancia del agua desde diferentes perspectivas metodológicas y teóricas aplicadas a la producción agrícola y a la prestación de servicios turísticos en Acapulco, Guerrero, México.

En el primer capítulo, José Luis Montesillo-Cedillo nos presenta un análisis del rendimiento de maíz grano en México, tanto en riego como en temporal, a nivel nacional y para cada uno de los estados que conforman el país, con la finalidad de comprobar la superioridad del rendimiento en los sistemas de cultivo con infraestructura de riego. Nos destaca la relevancia que el maíz grano tiene para México, lo cual queda demostrado al hacernos conscientes de las millones de hectáreas que se destinan a dicho cultivo.

Por otra parte, enfatiza la impropiedad de la comparación realizada –entre el rendimiento de maíz grano bajo riego respecto del de temporal– toda vez que, desde la perspectiva de la teoría económica de la producción, dichos procesos no utilizan las mismas cantidades de factores. No obstante, dicha comparación es común, sobre todo para justificar las transferencias federales a los estados con infraestructura para riego, así como por las grandes cantidades de agua que consumen.

Nos recuerda que México se encuentra en la franja desértica mundial y que alrededor del 60% de su territorio es árido, lo cual ha demandado considerables inversiones federales para dotar de agua de riego a dichas zonas áridas, las cuales, en términos generales, están conformadas por los estados del norte del país.

Se destacan las ingentes cantidades de agua que consume la agricultura bajo riego en México, y en el mundo, alrededor del 80% del total de los usos consuntivos.

Para la producción de maíz grano bajo la modalidad de riego, en México, en el año de 2017, se consumió el 130% del agua destinada al uso público en todo el país, esto fue, 16.41 km³.

Para cuantificar la superioridad del rendimiento (toneladas por hectárea) de maíz grano bajo riego respecto del de temporal, se realizaron análisis de varianza a dichos rendimientos a nivel nacional y para cada uno de los estados que conforman a los Estados Unidos Mexicanos, con base en datos de 1980 hasta 2019.

De acuerdo con los resultados obtenidos del análisis de varianza, José Luis Montesillo- Cedillo, concluye que a escala nacional el rendimiento de maíz grano bajo riego sí es superior al obtenido en temporal, pero dicha superioridad es ape-

nas de 1.7 veces, no tres veces mayor como se afirma en casi toda la documentación oficial referente al tema que se presenta en el primer capítulo.

Finalmente, como los promedios no permiten ver las diferencias, el autor nos presenta el análisis de varianza por estado. Lo más destacado es que el rendimiento de maíz grano tanto en riego como en temporal es igual (estadísticamente) en Jalisco, Estado de México y Guerrero; los estados en donde el rendimiento bajo riego es superior al de temporal son aquellos que se encuentran en las zonas áridas del país.

En el segundo capítulo, titulado *Manejo de un sistema agrohidráulico en un ejido de transición ecológica de México*, José Isabel Juan Pérez, hace un análisis descriptivo, cualitativo, cuantitativo y cartográfico de los componentes que favorecen la estructura y funcionamiento del sistema agrohidráulico en el Ejido de Santa Ana Xochuca, Municipio de Villa Guerrero, Estado de México. Con fundamentos de ecología cultural y geografía ambiental, se realizó el análisis espacial y temporal de las interacciones que condicionan los procesos socioambientales de cambio de uso de suelo y la capacidad de gestión para el manejo del agua en la agricultura, considerando, al mismo tiempo, la relación ambiente-sociedad. El conjunto de interacciones entre los componentes ambientales y socioculturales constituyeron la unidad de análisis en el ejido, donde el eje rector de su economía está determinado por la capacidad de gestión para manejo del agua y la producción de alimentos.

Con el uso de diversos métodos, técnicas y herramientas de sistemas de información geográfica se analizó el manejo del agua para riego en los años 2006 y 2018, esto con el propósito de establecer asociaciones entre los procesos socioambientales de cambio de uso de suelo, principalmente con la agricultura tradicional (de riego y temporal) y la agricultura protegida (invernaderos). La observación directa y participativa fue fundamental para conocer las relaciones entre los dos tipos de agricultura, la organización social para el manejo del agua, los procesos de cambio de uso del suelo y la capacidad de gestión de los campesinos.

Se demuestra que los campesinos del ejido han utilizado diferentes conocimientos para manejar el agua y sus obras hidráulicas, y que las estrategias utilizadas para el manejo del agua a pequeña escala conducen al origen de sistemas agrohidráulicos adaptados a condiciones ambientales y socioeconómicas locales, por lo que el agua es un recurso fundamental para transitar hacia el desarrollo local sustentable, y un activo ambiental para mantener la continuidad de los procesos ecológicos y la agrobiodiversidad en el Ejido Santa Ana Xochuca. La capacidad de gestión de las familias campesinas del ejido, la organización social comunitaria, el conocimiento del ambiente, así como la planeación e inversión para conformar un sistema agrohidráulico, les han permitido disponer de agua para producir alimentos destinados al sustento familiar y los mercados local y nacional.

En este estudio, el autor concluye que, en el Ejido Santa Ana Xochuca, el funcionamiento y mantenimiento del sistema agrohidráulico requieren de la orga-

nización social y la capacidad de gestión, estrategias que favorecen la producción agrícola para los mercados nacionales y la alimentación de las familias campesinas. Dichas estrategias son un referente importante para otras comunidades de la zona de transición ecológica en el rur del Estado de México.

Las familias del Ejido Santa Ana Xochuca enfrentan tres retos: el primero está vinculado con la contaminación del agua por el excesivo uso de agroquímicos para producir alimentos; la producción ecológica es una opción, pero los ejidatarios aún no están convencidos de esta modalidad agrícola. El segundo reto es el ingreso de empresarios, cuyo interés es la adquisición de parcelas para establecer infraestructura de agricultura protegida, siendo las condiciones climáticas, la ubicación geográfica del ejido, la fertilidad del suelo, la disponibilidad de agua para riego, el fácil acceso a vías de comunicación y la cercanía con grandes ciudades, los factores que influyen en la conversión agrícola, impacto al paisaje, y la sustitución de ejidatarios (propietarios) por fuerza de trabajo asalariada (jornaleros). Diversificar el uso de los reservorios, el manejo de otros recursos naturales y el paisaje constituyen el tercer reto; la pesca deportiva, el turismo alternativo y algunos deportes acuáticos, son actividades que pueden coadyuvar al desarrollo local sustentable. Esto es viable, ya que los ejidatarios tienen cinco fortalezas importantes: conocimiento del ambiente, capacidad de gestión, organización social comunitaria, ayuda mutua y amplia agrobiodiversidad.

En el tercer capítulo, Miguel Ángel Cruz Vicente presenta la importancia de la economía circular en el incremento inducido de la oferta de agua en Acapulco, Guerrero, México. El paradigma de la economía circular se presenta como alternativa al sistema económico actual basado en un modelo de economía lineal (extraer, producir, utilizar, desechar).

El modelo de economía lineal incurre en la pérdida de recursos, resalta la generación de grandes cantidades de residuos al final de la vida útil del producto, el uso excesivo de energía (agua y electricidad) y la erosión de los ecosistemas (deterioro). Ante esta situación de agotamiento de recursos, en este tercer capítulo, se plantea un nuevo modelo económico, donde el valor de los productos, los materiales y los recursos se mantienen dentro de los procesos productivos durante el mayor tiempo posible, con lo cual se reduce la generación de residuos; es decir, en una economía circular.

El autor presenta una explicación muy comprensible de la economía circular: la economía utiliza recursos extraídos del medio natural (combustibles fósiles, agua, entre otros), y una vez utilizados (antes de regresar estos recursos como emisiones contaminantes) son regenerados para reutilizarse. El objetivo es que el valor de los productos, los materiales y los recursos se mantengan en la economía durante el mayor tiempo posible, y reducir al mínimo la generación de residuos; es decir, la economía circular se interrelaciona con la sustentabilidad. Se trata de implementar una economía basada en el principio de “cerrar el ciclo de vida” de los productos, los servicios, los residuos, los materiales, la energía y el agua.

El agua se encuentra en el corazón de la economía circular, es un recurso renovable y escaso; su disponibilidad se encuentra supeditada a las presiones ejercidas al sistema hídrico que aumentan al ritmo del crecimiento económico y demográfico, lo que provoca una disminución en la cantidad disponible. Ante esta situación, es necesario cambiar de paradigma en el sector agua, pasar del patrón de consumo lineal a un enfoque de economía circular; donde las aguas residuales ya no son vistas como desechos, sino como un recurso valioso en el contexto de escasez relativa.

El tratamiento de las aguas residuales forma parte del ciclo urbano del agua, el cual corresponde al subciclo biológico, lugar donde se genera el “bucle cerrado” donde se plantean las condiciones de descarga de cero-líquido donde se vuelve a utilizar tanto como sea posible, para dar una “segunda vida al agua” (uso). Esto, debido a que se capturan las aguas residuales, las cuales son tratadas y saneadas para su reutilización, que son elementos indispensables para la implementación y desarrollo de la economía circular. Además, la promoción del reciclaje se debe realizar mediante normas que reduzcan los riesgos para la salud y el medio ambiente; la finalidad es el intercambio de agua de primer uso por agua regenerada.

Asimismo, dentro de la economía circular aplicada al sector agua, no solamente se puede dar una segunda vida al recurso hídrico, también se generan nuevos modelos de negocios a través de la obtención de biogás, biosólidos y la obtención de bonos o créditos de carbono por la generación de energías renovables.

Por último, el reúso de las aguas tratadas es una forma inducida de incrementar la oferta hídrica en Acapulco, otras serían la siembra y cosecha de agua, la captura del agua de lluvia y la recarga de acuíferos, por mencionar algunos métodos y técnicas. Sin embargo, a pesar de la gran diversidad de reúsos de las aguas regeneradas o intercambios que pudieran realizarse, hay sectores productivos que bien pueden utilizar dichas aguas, pero por razones de costos, consumen agua de primer uso, con lo cual generan externalidades negativas a la población local y, con ello, trastocan su derecho al agua.

En el cuarto, y último, capítulo, Ojeda-Bustamante y coautores, presentan una caracterización de las Unidades de Riego del país. Documentan sus antecedentes históricos, su situación actual y su problemática; destacan la importancia productiva de dichas Unidades de Riego y la contrastan con la de los Distritos de Riego del país.

Destacan los retos que enfrenta la agricultura de riego en México, como la sobreexplotación de las fuentes subterráneas, el incremento en los costos de producción, la mayor variabilidad climática, el aumento de la competencia de recursos hídricos por sectores no agrícolas, las menores inversiones públicas, y la mayor degradación de los suelos y del agua. Lo anterior ha ocasionado una mayor presión en el desarrollo y consolidación de las unidades de riego, que han estado marginadas de la política hidroagrícola nacional.

Los autores señalan que las zonas de riego de México se han clasificado institucionalmente en dos grandes grupos: Distritos Riego (DR) y Unidades de Riego (UR). Las UR son muy heterogéneas, con diferentes niveles de organización. A diferencia de los DR, las UR son más autónomas del Estado, en términos de la planeación y manejo de las fuentes de abastecimiento y del servicio de riego que se entrega a los usuarios. Además, las UR son mayoritariamente abastecidas por fuentes de agua subterráneas, mientras que los DR son abastecidos en su mayor parte por fuentes superficiales. Como primer hecho, se destaca que existe una gran incertidumbre en la información disponible de las UR, pues en el último inventario publicado en 2018, la Conagua (Comisión Nacional del Agua) reportaba una superficie de 4 millones de hectáreas (ha), cerca de cincuenta y un mil UR y setecientos ochenta mil usuarios, muy superiores en estos tres aspectos a los DR.

Los autores nos presentan un análisis estadístico descriptivo de las UR, y destacan que la superficie promedio de las UR es de 79.4 ha con un tamaño promedio de 5.2 ha por usuario, aunque para la tenencia ejidal el tamaño es de 3.1 ha y, para la pequeña propiedad, de 12. Ha habido una polarización en el desarrollo de la UR. La mayoría (55%) de las UR son monousuario y representan aproximadamente el 30% de la superficie regable del país. En esta vertiente, uno de los retos actuales es generar capacidades organizativas en las UR que permitan mejorar la gestión del riego, con un uso más eficiente del agua, desde la fuente hasta la parcela.

Los resultados que nos presentan indican que existen varias UR con mayor superficie regable que la existente en varios DR. Documentan la presencia de más de 25 UR con una superficie regable mayor de 4,000 ha, así como 15 DR con superficie regable menor a 4,000 ha. Estimaron que las UR son más productivas que los DR, expresado en miles de \$/ha. Otro dato estadístico interesante es la variación de las superficies sembradas (Ssem) y cosechadas (Scos) en las UR y DR. Para 39 años agrícolas analizados, se observó una tendencia positiva de la Scos de las UR. Por su parte, la tendencia de la Scos de los DR responde a la variabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua, mayoritariamente de fuentes superficiales.

Finalmente, los autores concluyen que las UR tienen particularidades muy marcadas que las distinguen de los DR, como se documenta en el trabajo, por lo que proponen instrumentar políticas, programas y apoyos específicos y diferenciados por zona de riego, con la finalidad de incrementar su efectividad y potenciar el desarrollo hidroagrícola del país sin marginar a las UR.

Aporte del agua a la producción de maíz grano en México, 1980-2019

José Luis Montesillo Cedillo

Introducción

En México, de acuerdo con el Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADR), el número de hectáreas (ha) sembradas de 2006 hasta 2017, tanto de riego como de temporal, ha oscilado entre 21.4 y 21.6 millones (SIAP, 2017).

Del total de hectáreas sembradas en el año 2017, 6.5 millones fueron de riego; de las cuales 3.3 millones pertenecen a 86 distritos de riego (DR), y los otros 3.2 millones corresponden a 40 mil unidades de riego [Comisión Nacional del Agua (Conagua), Estadísticas del Agua en México (CONAGUA), 2018, p.106].

Tabla 1. Agua concesionada por los agrupados consuntivos en México, 2017

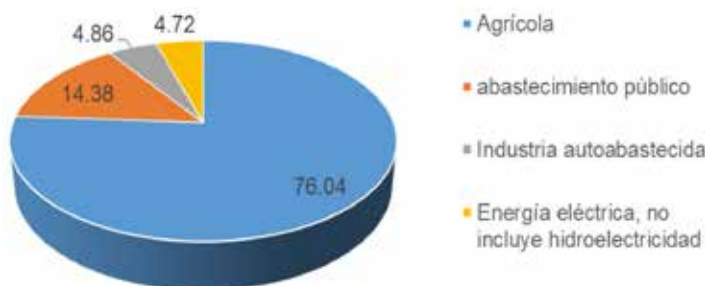
	Volumen total (miles de km ³)	Porcentaje de extracción
Agrícola	66.80	76.04
Abastecimiento público	12.63	14.38
Industria autoabastecida	4.27	4.86
Energía eléctrica, sin incluir hidroelectricidad	4.15	4.72
Total	87.85	100.00

Fuente: Conagua, 2018, p.77.

La agricultura de riego en México –incluye Distritos de Riego y Unidades de Riego– es la mayor consumidora de agua, al igual que en la mayoría de los países en vías de desarrollo (Conagua, 2018, p.212-213) y el sur de Europa y Francia meridional donde consume hasta el 80% (orizont). En el año de 2017, del total de agua concesionada, la agricultura de riego consumió el 76.04% (Conagua, 2018, p.78), equivalente a 66.8 kilómetros cúbicos (km³) de un total concesionado de 87.84 km³ (Conagua, 2018, p.77), para el mismo año. En consecuencia, el consumo promedio de agua por hectárea fue de 10,276 metros cúbicos durante el año de 2017.

El uso consuntivo de agua de la agricultura de riego en México en el año de 2017 equivale a 5.3 veces más de la destinada al abastecimiento público en todo el país (Conagua, 2018, p.77).

Figura 1. Distribución de volúmenes concesionados por usos agrupados consuntivos en México, 2017



Fuente: elaboración propia con base en los datos de la tabla 1.

Por su parte, el número de hectáreas de temporal sembradas en el año 2017 ascendió a 15.1 millones.

El número de hectáreas de riego sembradas con maíz grano en el año 2017 fue de 1,596,855, y su promedio anual del periodo 1980-2017, de 1,275,023. Por lo cual las hectáreas sembradas con maíz grano en 2017 representaron el 24.45% del total.

Si se asume que el consumo de agua por hectárea sembrada con maíz grano, lo cual solo es un dato indicativo, es igual al promedio nacional de riego durante el año de 2017, se obtiene que la producción de maíz grano consumió 16.41 km³ de agua, equivalente al 130.0% del total destinado al abastecimiento público (12.63 km³) durante el mismo año.

Por otra parte, el número de hectáreas de temporal sembradas con maíz grano en el año 2017 fue de 5,944,087, y su promedio anual del periodo 1980-2017, de 6,842,947. Así, en el año de 2017 el número de hectáreas sembradas con maíz grano representaron el 39.34% del total nacional.

Tabla 2. Número de hectáreas sembradas con maíz grano por modalidad y periodo en México

Periodo	Riego	Temporal
2017	1596855	5944087
Promedio, 1980-2017	1275023	6842947
Desviación estándar	245572	535103
Coefficiente de variación	19.26	7.82

Fuente: elaboración propia con base en datos del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADR); se abarcan los años agrícolas de 1980 hasta 2019.

Recuperado de <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430?idiom=es>

El número total de hectáreas sembradas, de riego y de temporal, refleja la importancia del maíz grano en México. Además, el maíz grano, junto con el frijol y el sorgo son los principales cultivos por la superficie cosechada (Conagua, 2018, p.107).

El maíz grano es uno de los cultivos representativos de México, al grado que “supera a cualquier otro [país] en la riqueza de diversidad de su razas y variedades de maíz” (Wellhausen, *et al.*, s.a, p.10). Sin embargo, cabe destacar que gracias al cultivo de maíz grano en temporal se conservan las 59 variedades de maíz nativas, que son la base de los más de 600 platillos de la cocina pluricultural de México. En tanto, que la producción de maíz grano con riego solo se centra en la producción de maíz amarillo y blanco (Turrent, *et al.*, 2012, p.9).

En México, los principales cultivos bajo la modalidad de riego registran un rendimiento (toneladas/ha) “de 1.9 a 3.4 veces mayor que el de los cultivos de temporal” (Conagua, 2018, p.107).

El objetivo del presente trabajo de investigación es cuantificar la superioridad del rendimiento de maíz grano bajo la modalidad de riego respecto del obtenido en temporal, al nivel estatal, durante el periodo 1980-2019.

Materiales y método

De acuerdo con el objetivo propuesto, se torna necesario aclarar un principio económico referente a la teoría de la producción. Toda vez que la comparación propuesta, y realizada por la institución citada líneas arriba, es improcedente desde la perspectiva de teoría económica de la producción. Sin embargo, debido al ingente consumo de agua en la agricultura de riego se precisa de un mayor rendimiento, sobre todo, para justificar las grandes erogaciones federales destinadas a la construcción de la infraestructura requerida, a fin de llevar al cabo el proceso productivo, principalmente en los estados del norte del país, cuyo clima es muy árido, árido y semiárido.

Con base en los principios de la teoría de la producción, se puede decir que un proceso productivo es superior a otro cuando uno de dichos procesos utiliza al menos una menor cantidad de uno de los insumos. Bajo estas condiciones, y solo bajo ellas, se puede afirmar que un proceso productivo es más eficiente que otro (Koutsoyianes, 2002, p.79), o tiene un mayor rendimiento. Por lo tanto, las afirmaciones acerca del mayor rendimiento obtenido en la producción de maíz grano bajo la modalidad de riego respecto del de temporal no tienen soporte teórico alguno.

En la práctica y cotidianidad, y desde la perspectiva de la teoría económica de la producción, es pertinente esperar un mayor rendimiento cuando se incrementa la cantidad de insumos. Así, cuando se construye la infraestructura para riego en las zonas muy áridas, áridas y semiáridas de México —las cuales no son de temporal, sino zonas muy áridas, áridas y semiáridas— la expectativa de un mayor rendimiento está soportada por la teoría económica de la producción. Pero los procesos

productivos con sistemas de riego y antes de dichos sistemas ya no son comparables, por lo apuntado líneas arriba, referente a la cantidad de insumos utilizados.

Formalmente, el conjunto de cantidades necesarias de factores $[V(y)]$ para la producción en las zonas muy áridas, áridas y semiáridas con infraestructura para riego puede representarse como: $V(y)=\{x \text{ en } R_+^n:(y,-x)\in Y\}$ y, para las mismas zonas antes de la instalación de dicha infraestructura para riego como: $V(y^1)=\{x \text{ en } R_+^{n-1}:(y^1,-x^1)\in Y\}$. En donde, de acuerdo con Varian (1992, p.4-6), x es un vector de factores que pueden producir y unidades, y ambos están contenidos en el conjunto de posibilidades de producción (Y). De aquí se desprende que si $x \neq x^1$, tal que $x > x^1$, se espere $y > y^1$. Expectativa factible, pero no extrapolable a la producción de temporal propiamente dicho.

El solo hecho de que $x > x^1$ implica la no comparabilidad de ambos procesos productivos, y obliga a que la producción de maíz grano con agua para riego sea superior a la obtenida en las mismas tierras áridas antes de contar con infraestructura para riego.

Por supuesto, para cuantificar los beneficios de la inversión pública en los Distritos y en las Unidades de riego, es deseable comparar el rendimiento de las mismas tierras antes y después de instalar la infraestructura para riego. Sin embargo, no existen los datos necesarios para llevar al cabo dicha comparación. No obstante, podemos contar con una aproximación si comparamos el rendimiento del cultivo con riego contra el de temporal en el mismo estado del país, bajo el supuesto de que el suelo y el clima son homogéneos a lo largo y ancho del estado considerado —aunque, insisto, no son comparables dichos procesos productivos, por lo apuntado líneas arriba—.

Los datos referentes al rendimiento de maíz grano, obtenido tanto en la modalidad de riego como en la de temporal para cada uno de los estados que conforman a los Estados Unidos Mexicanos, utilizados para realizar el análisis de varianza se obtuvieron del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADR); se abarcan los años agrícolas de 1980 hasta 2019. Recuperado de <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430?idiom=es>.

De los 32 estados que conforman a los Estados Unidos Mexicanos, solo se consideraron 28, debido a que la Ciudad de México y Tabasco no registran producción de maíz grano en la modalidad de riego; Baja California y Baja California Sur no cuentan con los datos para el periodo completo.

El año agrícola comprende del primero de octubre al último día de septiembre del año siguiente, y conjunta los ciclos otoño-invierno y primavera-verano (Conagua, 2018, p.107).

El dato estadístico maíz grano incluye al maíz grano amarillo; azul; azul orgánico; blanco; de color; orgánico; pozolero, y sin clasificar (SIAP, 2020).

El método utilizado para comparar el rendimiento de maíz grano bajo la mo-

dadidad de riego respecto del de temporal fue el análisis de varianza, el cual fue estimado o calculado con el programa Excel.

Se consideraron los principios estadísticos requeridos para el análisis de varianza, los cuales son:

1. Las muestras son independientes y aleatorias.
2. Las muestras deben provenir de poblaciones normales.
3. Las poblaciones deben tener varianzas iguales (Wackerly, *et al.*, 2002, p.635; Anderson, D., *et al.*, 2008, p.446-447).

Sin embargo, con base en el teorema de límite central, se obvió comprobar los principios estadísticos, toda vez que el periodo de análisis es superior a 30 observaciones (40). Además, si las distribuciones a partir de las cuales se obtienen las muestras no son altamente asimétricas, no será estrictamente necesario apearse a la exigencia de normalidad (Stevenson, 2002, p.322). Por otro lado, si las varianzas de población son aproximadamente las mismas se verifica razonablemente el requisito de igualdad de las varianzas; respecto de la independencia podemos decir que sí lo cumplen, pues una muestra es de riego y la otra de temporal; en relación con la aleatoriedad, también, ya que el resultado observado en el ciclo anual de producción es uno de un conjunto infinito (Wackerly, *et al.*, 2002, p.629).

Resultados

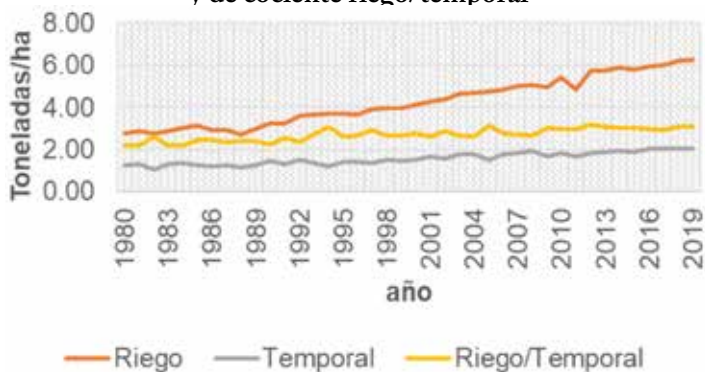
En la tabla 3 se muestra el rendimiento de maíz grano, tanto de riego como de temporal para el periodo de estudio en la presente investigación, y la comparación anual del rendimiento bajo riego *vs* temporal.

Tabla 3. Rendimiento del maíz grano en las modalidades de riego y de temporal, y la comparación anual del rendimiento bajo riego vs temporal a nivel nacional

Año	Riego	Temporal	Riego/Temporal	Año	Riego	Temporal	Riego/Temporal
1980	2.77	1.26	2.19	2000	4.09	1.49	2.74
1981	2.85	1.3	2.19	2001	4.28	1.64	2.61
1982	2.76	1.05	2.62	2002	4.39	1.54	2.85
1983	2.84	1.3	2.18	2003	4.62	1.75	2.64
1984	3	1.37	2.19	2004	4.71	1.79	2.63
1985	3.11	1.26	2.47	2005	4.72	1.5	3.14
1986	2.91	1.2	2.43	2006	4.86	1.75	2.78
1987	2.92	1.24	2.36	2007	4.99	1.84	2.72
1988	2.73	1.14	2.39	2008	5.04	1.92	2.63
1989	2.96	1.24	2.4	2009	4.96	1.66	3
1990	3.2	1.45	2.21	2010	5.4	1.81	2.98
1991	3.24	1.28	2.53	2011	4.86	1.64	2.96
1992	3.58	1.53	2.34	2012	5.7	1.8	3.17
1993	3.67	1.36	2.7	2013	5.71	1.87	3.05
1994	3.7	1.21	3.05	2014	5.91	1.94	3.04
1995	3.71	1.41	2.63	2015	5.77	1.9	3.04
1996	3.64	1.38	2.63	2016	5.93	2.01	2.94
1997	3.89	1.34	2.9	2017	6	2.04	2.94
1998	3.97	1.48	2.67	2018	6.2	2.01	3.09
1999	3.94	1.48	2.67	2019	6.27	2.03	3.09

Fuente: elaboración propia con base en datos del sistema de información agroalimentaria y pesquera (SIAP) de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADR); se abarcan los años agrícolas de 1980 hasta 2019. Recuperado de <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430?idiom=es>

Figura 2. Rendimiento del maíz grano bajo riego, y de temporal, y de cociente riego/temporal



Fuente: elaboración propia con base en los datos de la tabla 3.

La tasa de crecimiento promedio anual durante el periodo 1980–2019 del rendimiento de maíz grano bajo riego fue de 2.23%; la de temporal, 1.73%, y la relación rendimiento riego vs temporal, 1.24%.

Con base en los datos disponibles y la prueba F realizada se puede decir que, en promedio, durante el periodo 1980–2019, el rendimiento de maíz grano bajo riego en el ámbito nacional ha sido superior al rendimiento obtenido en temporal en 1.7 veces, dicha superioridad se confirma con base en el resultado de la prueba F, tabla 4, superioridad un poco menor al límite inferior que se le atribuye, cuyo rango va de 1.9 a 3 veces, como ya se apuntó líneas arriba.

Tabla 4. Prueba F para varianzas de dos muestras

	Riego	Temporal
Promedio	4.24	1.56
Varianza	1.29	0.08
Observaciones	40	40
Grados de libertad	39	39
F	15.78	
P(F<=f) una cola	0	
Valor crítico para F (una cola)	1.7	

Fuente: elaboración propia con base en los datos de la tabla 3.

De acuerdo con lo expuesto hasta aquí, se confirma la superioridad del rendimiento de maíz grano bajo riego respecto del obtenido en temporal al nivel nacional durante el periodo 1980-2019. Pero debemos tener presente que dicho promedio nacional oculta las diferencias existentes entre los estados que conforman al país. Al respecto, es necesario tener presente que el 60% del territorio de México es árido (Cerutti, 2013, p.3), y que el 63% de la superficie destinada al cultivo requiere del riego (Soto, 2003, p.173). Esto se debe a que en México predominan los climas áridos y semiáridos (51.7%), principalmente debido a que el norte del país está en la franja desértica mundial, —desiertos del Sahara en África, Nefud y Rub al-Jali en la península arábiga y de Thar en la India— (<http://abakmatematicamaya.blogspot.mx/2014/09/a-bak2014-mexico-gran-riedad-de-climas.html>).

Figura 3. Distribución del clima en México



Fuente: A-BAK'2014: México gran variedad de climas. Recuperado de <http://abakmatematicamaya.blogspot.com/2014/09/a-bak2014-mexico-gran-variedad-de-climas.html>

Evolución del rendimiento de maíz grano bajo riego en México por estado, 1980-2019

Con la finalidad de ir más allá del promedio nacional respecto del rendimiento de maíz grano bajo la modalidad de riego en relación con el obtenido en temporal, se presenta el análisis por estado durante el periodo 1980-2019.

En la tabla 5 se muestra el rendimiento promedio del periodo 1980-2019 de maíz grano bajo riego; su tasa media de crecimiento anual (TMCA), y su coeficiente de variación (CV), para los 28 estados considerados en esta investigación.

Tabla 5. Rendimiento promedio durante el periodo 1980-2019 de maíz grano bajo riego; la tasa media de crecimiento anual y el coeficiente de variación

Estados	Promedio	TMCA	CV
Aguascalientes	5.29	3.77	32.57
Campeche	3.44	3.09	29.19
Chiapas	3.41	2.83	18.78
Chihuahua	6.65	5.06	44.41
Coahuila	2.47	3.3	24.67
Colima	3.67	2.53	25.85
Durango	4.83	3.54	39.84
Guanajuato	6.37	2.53	30.14
Guerrero	3.1	1.36	16.74
Hidalgo	5.4	2.83	32.95
Jalisco	5.26	3.16	33.47
México	4.02	3.34	20.41
Michoacán	4.62	3.51	35.07
Morelos	3.15	1.05	16.66
Nayarit	5.29	3.54	31.11
Nuevo León	3.17	4.33	36.06
Oaxaca	2.34	1.85	10.31
Puebla	3.8	1.44	16.26
Querétaro	5.35	4.09	39.34
Quintana Roo	2.66	9.33	39.13
San Luis Potosí	3.28	1.87	13.14
Sinaloa	7.32	5.84	42.09
Sonora	5.35	4.53	36.26
Tamaulipas	3.96	4.13	32.9
Tlaxcala	3.42	4.38	22.26
Veracruz	3.85	1.59	20.94
Yucatán	3.19	3.99	20.92
Zacatecas	4.18	5.27	33.49

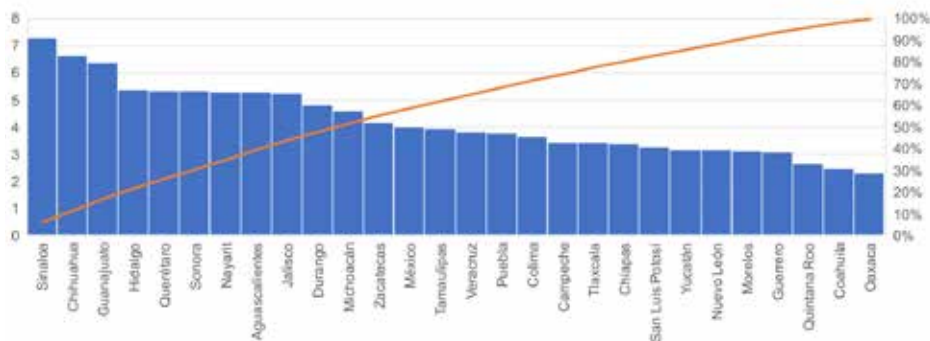
Fuente: elaboración propia con base en datos del sistema de información agroalimentaria y pesquera (SIAP) de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADR); se abarcan los años agrícolas de 1980 hasta 2019.

Recuperado de <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430?idiom=es>

De los datos de la tabla 5 se desprende que los estados que tuvieron el rendimiento medio más alto, durante el periodo considerado, también registraron la mayor TCMA —con excepción de Quintana Roo— y el mayor CV; tales como Aguascalientes, Chihuahua, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Nayarit, Querétaro, Sinaloa y Sonora. Dichos estados se ubican en la franja desértica del país, y por ello precisan del riego para poder llevar al cabo la producción.

En la Ilustración 4 se puede observar que el promedio más alto del rendimiento del maíz grado bajo riego durante el periodo 1980-2019 lo registró el estado de Sinaloa; el más bajo, el estado de Oaxaca. El rendimiento en Sinaloa fue 312.82% superior al de Oaxaca.

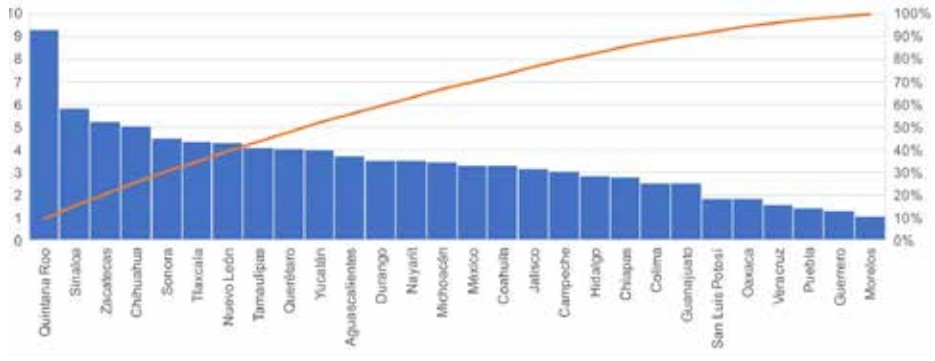
Figura 4. Promedio del rendimiento de maíz grado bajo riego durante el periodo 1980-2019



Fuente: elaboración propia con base en los datos de la tabla 5.

En la ilustración 5 se presenta la TMCA de maíz grano bajo riego durante el periodo 1980-2019, por estado. Cabe destacar que Quintana Roo registró la TMCA más alta y fue superior en 48.55% a la registrada por Sinaloa. Por su parte, el estado de Morelos registró la menor TMCA.

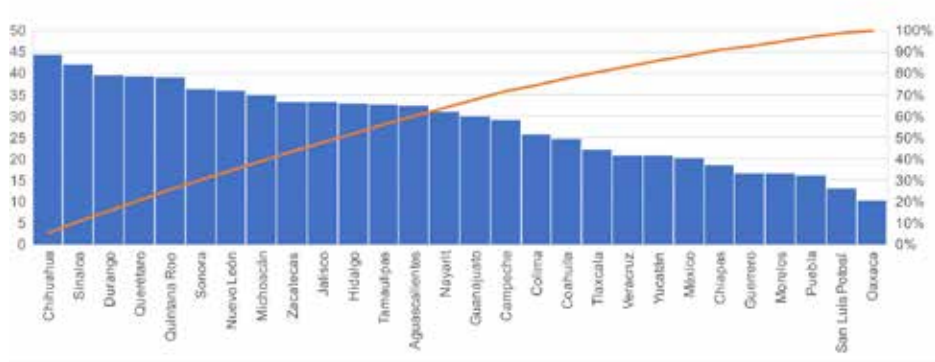
Figura 5. TMCA del rendimiento de maíz grano bajo riego durante el periodo 1980-2019, por estado



Fuente: elaboración propia con base en los datos de la tabla 5.

Los estados que tuvieron el promedio de rendimiento más alto, al igual que la TMCA de maíz grano bajo riego, también registraron el mayor coeficiente de variación, como ya se apuntó líneas arriba, tal y como se puede observar en la ilustración 6.

Figura 6. Coeficiente de variación del rendimiento promedio de maíz grano bajo riego durante el periodo 1980-2019, por estado



Fuente: elaboración propia con base en los datos de la tabla 5.

Evolución del rendimiento de maíz grano de temporal en México por estado, 1980-2019

En la tabla 6 se presenta el rendimiento promedio del periodo 1980-2019 de maíz grano de temporal; su tasa media de crecimiento anual (TMCA), y su coeficiente de variación (CV), para los 28 estados considerados en la presente investigación.

Tabla 6. Rendimiento promedio durante el periodo 1980-2019 de maíz grano de temporal; su tasa media de crecimiento anual, y su coeficiente de variación

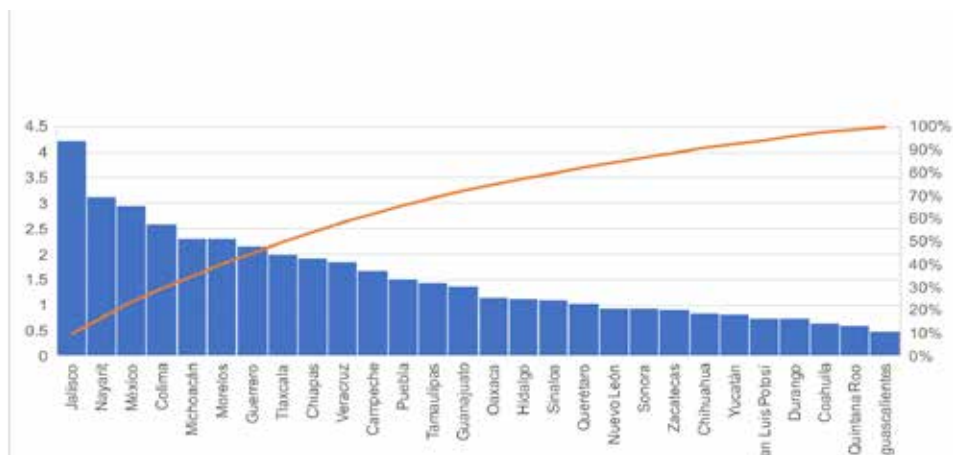
Estado	Promedio	TMCA	CV
Aguascalientes	0.48	12.08	35.34
Campeche	1.69	8.79	36.72
Chiapas	1.92	0.64	15
Chihuahua	0.86	17.02	27.67
Coahuila	0.66	7.06	25.13
Colima	2.61	3.21	26.48
Durango	0.76	7.24	29.2
Guanajuato	1.39	12.33	35.35
Guerrero	2.18	2.62	23.05
Hidalgo	1.15	3.15	18.18
Jalisco	4.22	3.19	33.36
México	2.96	4.04	21.49
Michoacán	2.32	4.09	27.72
Morelos	2.31	9.01	40.04
Nayarit	3.13	2.43	21.78
Nuevo León	0.96	6.54	38.35
Oaxaca	1.15	1.05	10.81
Puebla	1.53	2.61	18.13
Querétaro	1.03	18.04	41.97
Quintana Roo	0.61	6.49	27.39
San Luis Potosí	0.76	2.21	19.24
Sinaloa	1.11	7.52	46.22
Sonora	0.96	16.09	38.88
Tamaulipas	1.44	6.05	29.96
Tlaxcala	1.99	5.25	25.66
Veracruz	1.86	1.26	14.12
Yucatán	0.82	4.12	24.13
Zacatecas	0.91	7.29	36.19

Fuente: elaboración propia con base en datos del sistema de información agroalimentaria y pesquera (SIAP) de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADR); se abarcan los años agrícolas de 1980 hasta 2019.

Recuperado de <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430?idiom=es>

En la Ilustración 7 se puede observar que el promedio más alto del rendimiento de maíz grado de temporal durante el periodo 1980-2019 lo registró el estado de Jalisco; el más bajo, el estado de Aguascalientes, y la superioridad del rendimiento en Jalisco fue de 879.17% respecto de lo obtenido en Aguascalientes.

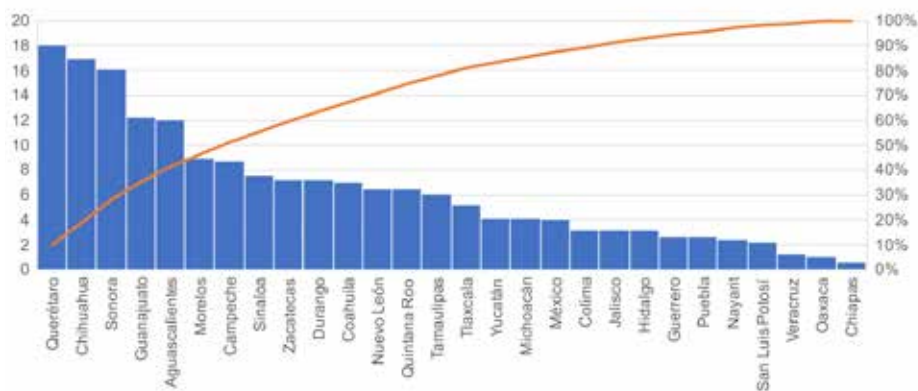
Figura 7. Promedio del rendimiento del maíz grano de temporal durante el periodo 1980-2019, por estado



Fuente: elaboración propia con base en los datos de la tabla 6.

En la Ilustración 8 se presenta la TMCA de maíz grano de temporal durante el periodo 1980-2019, por estado. Cabe destacar que Querétaro registró la TMCA más alta, y Chiapas la más baja.

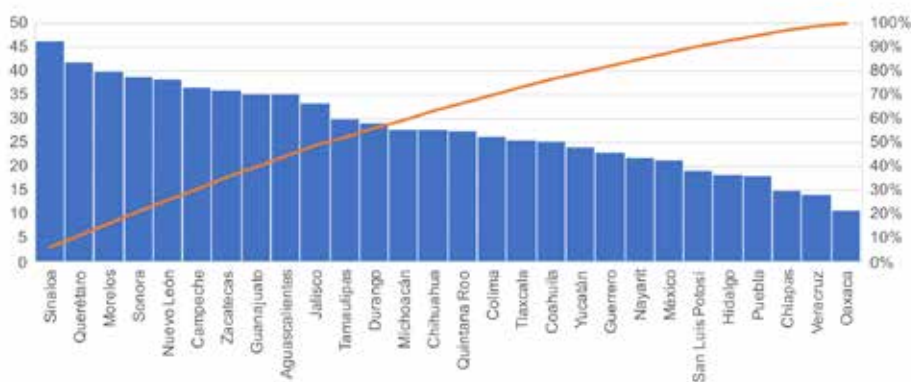
Figura 8. TMCA del rendimiento de maíz grano de temporal durante el periodo 1980-2019, por estado



Fuente: elaboración propia con base en los datos de la tabla 6.

Los estados que tuvieron la TMCA más baja de maíz grano de temporal también registraron el menor coeficiente de variación durante el periodo analizado, tal y como se puede observar en la Ilustración 9.

Figura 9. Coeficiente de variación del rendimiento promedio del maíz grano de temporal durante el periodo 1980-2019, por estado



Fuente: elaboración propia con base en los datos de la tabla 6.

Con base en los datos disponibles para el periodo 1980-2019 referentes al rendimiento de maíz grano bajo riego y de temporal se realizó la prueba F, con la finalidad de constatar la superioridad de dicho rendimiento obtenido con riego para cada uno de los 28 estados considerados en la presente investigación.

En la tabla 7 se presenta el promedio del rendimiento del maíz grano bajo riego, el de temporal y el cociente riego/temporal para el periodo 1980-2019. Esta última —la tercer columna— indica cuantas veces es superior el rendimiento obtenido en la modalidad de riego respecto del de temporal.

Parece que el rendimiento de maíz grano bajo riego respecto del obtenido en temporal se confirma en todos los estados considerados en la tabla 7. Sin embargo, no debemos pasar por alto que para constatar dicha superioridad se precisa del análisis de varianza. Además, dicha aparente superioridad demuestra que entre mayor sea, mayor es la necesidad de agua para riego a fin de poder llevar al cabo la producción, porque el consumo de agua de la producción obtenida con sistemas de riego (Q_r) es:

$$Q_r = \text{Lámina neta} + \text{lámina de lluvia}$$

En tanto que para el de temporal (Q_t) es:

$$Q_t = \text{lámina de lluvia}$$

Tabla 7. Rendimiento promedio de maíz grano bajo riego, el de temporal y el cociente de riego/temporal durante el periodo 1980-2019, por estado

Estados	Riego Promedio	Temporal Promedio	Riego/Temporal Promedio
Aguascalientes	5.29	0.48	11.02
Campeche	3.44	1.69	2.03
Chiapas	3.41	1.92	1.78
Chihuahua	6.65	0.86	7.76
Coahuila	2.47	0.66	3.74
Colima	3.67	2.61	1.41
Durango	4.83	0.76	6.39
Guanajuato	6.37	1.39	4.6
Guerrero	3.1	2.18	1.42
Hidalgo	5.4	1.15	4.71
Jalisco	5.26	4.22	1.25
México	4.02	2.96	1.36
Michoacán	4.62	2.32	1.99
Morelos	3.15	2.31	1.36
Nayarit	5.29	3.13	1.69
Nuevo León	3.17	0.96	3.31
Oaxaca	2.34	1.15	2.03
Puebla	3.8	1.53	2.49
Querétaro	5.35	1.03	5.18
Quintana Roo	2.66	0.61	4.38
San Luis Potosí	3.28	0.76	4.31
Sinaloa	7.32	1.11	6.58
Sonora	5.35	0.96	5.6
Tamaulipas	3.96	1.44	2.75
Tlaxcala	3.42	1.99	1.72
Veracruz	3.85	1.86	2.07
Yucatán	3.19	0.82	3.9
Zacatecas	4.18	0.91	4.58

Fuente: elaboración propia con base en datos del sistema de información agroalimentaria y pesquera (SIAP) de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADR); se abarcan los años agrícolas de 1980 hasta 2019. Recuperado de <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430?idiom=es>

En la tabla 7 se puede observar la superioridad del rendimiento de maíz grano bajo riego respecto del obtenido en temporal por estado, y aunque no son comparables, la columna tres proporciona una visión menos distorsionada de dicha superioridad, porque permite comparar el rendimiento de maíz grano obtenido en condiciones de riego con el de temporal en el mismo estado, y no dichos rendimientos al nivel nacional sin considerar las grandes diferencias climáticas y edafológicas entre los estados que conforman el país. Además, queda de manifiesto la alta dependencia de los sistemas de riego en los estados cuyo rendimiento es superior al obtenido en temporal. En suma, si dichos estados no contaran con sistemas de riego su rendimiento sería similar al que obtienen en temporal.

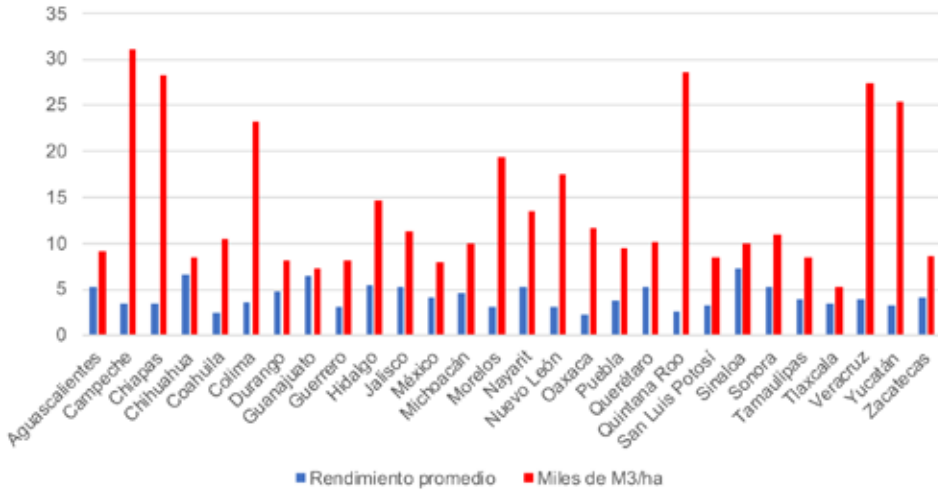
En la tabla 8 y la figura 10 se puede constatar que los estados que registraron el mayor rendimiento de maíz grano bajo riego consumieron menos agua por hectárea en comparación con los estados con menor rendimiento. El mayor rendimiento de maíz grano en los estados ubicados en las zonas muy áridas, áridas y semiáridas de México puede ser atribuido, en parte, al agua de riego, bajo el supuesto de que la producción de maíz grano consume el promedio de agua por hectárea en todo el estado. Si dichos estados no contaran con sistemas de riego su rendimiento sería similar al que obtienen ellos mismos en temporal, tabla 7.

Tabla 8. Rendimiento promedio del periodo 1980-2019 de maíz grano bajo riego y consumo de agua por hectárea durante el año de 2017 por estado

Estados	Rendimiento promedio	Miles de M ³ /ha*
Aguascalientes	5.29	9.08
Campeche	3.44	31.1
Chiapas	3.41	28.26
Chihuahua	6.65	8.45
Coahuila	2.47	10.45
Colima	3.67	23.29
Durango	4.83	8.11
Guanajuato	6.37	7.21
Guerrero	3.1	8.14
Hidalgo	5.4	14.65
Jalisco	5.26	11.23
México	4.02	8
Michoacán	4.62	9.95
Morelos	3.15	19.29
Nayarit	5.29	13.48
Nuevo León	3.17	17.46
Oaxaca	2.34	11.68
Puebla	3.8	9.52
Querétaro	5.35	10.07
Quintana Roo	2.66	28.51
San Luis Potosí	3.28	8.52
Sinaloa	7.32	9.92
Sonora	5.35	10.98
Tamaulipas	3.96	8.39
Tlaxcala	3.42	5.3
Veracruz	3.85	27.4
Yucatán	3.19	25.45
Zacatecas	4.18	8.7

Fuente: elaboración propia con base en datos del sistema de información agroalimentaria y pesquera (SIAP) de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADR); se abarcan los años agrícolas de 1980 hasta 2019. Recuperado de <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430?idiom=es>; (Conagua, 2018, p.82).

Figura 10. Rendimiento promedio del periodo 1980-2019 de maíz grano bajo riego y consumo de agua por hectárea durante el año de 2017 por estado



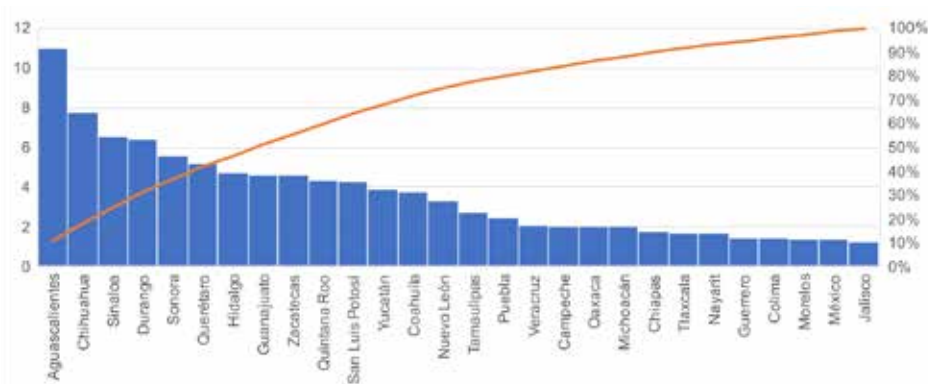
Fuente: elaboración propia con base en los datos de la tabla 8.

De acuerdo con la prueba F realizada para cada uno de los estados considerados en la tabla 7, se confirma que el rendimiento de maíz grano bajo la modalidad de riego es igual al de temporal en los estados de Guerrero, Jalisco y México; en el resto de los estados el de riego sí es superior al de temporal. No obstante, cabe destacar que en los estados donde el clima es árido y semiárido dicha superioridad del rendimiento del maíz grano bajo riego respecto del de temporal va desde cuatro hasta once veces, lo cual refleja la alta dependencia de los sistemas de irrigación para poder llevar al cabo el proceso productivo.

Por otro lado, solo los rendimientos de maíz grano obtenidos bajo riego en los estados de Coahuila, Yucatán y Nuevo León son superiores en poco más de tres veces a los obtenidos en la modalidad de temporal en esos mismos estados.

El rendimiento de maíz grano bajo la modalidad de riego en el resto de los estados no supera en más de dos veces al obtenido en temporal, como se puede constatar en la figura 11.

Figura 11. Cociente rendimiento de maíz grano obtenido bajo riego respecto del obtenido en la modalidad de temporal, promedio del periodo 1980-2019, por estado



Fuente: elaboración propia con base en los datos de la tabla 7.

Al principio del presente trabajo se dijo que, al nivel nacional, para el periodo 1980-2019, la superioridad del rendimiento de maíz grano obtenido bajo riego apenas supera al de temporal en 1.7 veces, pero si no consideramos a los estados que registraron el mayor rendimiento –Aguas Calientes, Chihuahua, Durango, Sinaloa y Sonora–, la superioridad apenas sería de 1.27 veces.

En suma, los estados de Aguascalientes, Chihuahua, Durango, Sinaloa y Sonora registraron el mayor rendimiento de maíz grano bajo la modalidad de riego respecto del obtenido en esos mismos estados en temporal, lo cual refleja la alta dependencia que tienen del agua de riego para llevar al cabo la producción.

En la tabla 9 se presenta la prueba F por estado del rendimiento de maíz grano de riego y de temporal. En los casos en los que $P(F \leq f)$ de una cola es menor al 0.05 se acepta la superioridad del rendimiento del maíz grano bajo riego respecto del de temporal.

Tabla 9. Prueba F para varianzas de dos muestras de rendimiento de maíz grano bajo riego, y de temporal

Aguascalientes		
	<i>Riego</i>	<i>Temporal</i>
Media	5.285	0.476
Varianza	2.964	0.029
Observaciones	40	40
Grados de libertad	39	39
F	103.129	
P(F<=f) una cola	0.000	
Valor crítico para F (una cola)	1.704	

Durango		
	<i>Riego</i>	<i>Temporal</i>
Media	4.833	0.752
Varianza	3.708	0.049
Observaciones	40	40
Grados de libertad	39	39
F	76.109	
P(F<=f) una cola	0.000	
Valor crítico para F (una cola)	1.704	

Michoacán		
	<i>Riego</i>	<i>Temporal</i>
Media	4.616	2.294
Varianza	2.621	0.412
Observaciones	40	40
Grados de libertad	39	39
F	6.358	
P(F<=f) una cola	0.000	
Valor crítico para F (una cola)	1.704	

Querétaro		
	<i>Riego</i>	<i>Temporal</i>
Media	5.354	1.042
Varianza	4.436	0.188
Observaciones	40	40
Grados de libertad	39	39
F	23.608	
P(F<=f) una cola	0.000	
Valor crítico para F (una cola)	1.704	

Tlaxcala		
	<i>Riego</i>	<i>Temporal</i>
Media	3.423	1.985
Varianza	0.580	0.262
Observaciones	40	40
Grados de libertad	39	39
F	2.217	
P(F<=f) una cola	0.007	
Valor crítico para F (una cola)	1.704	

Campeche		
	<i>Riego</i>	<i>Temporal</i>
Media	3.440	1.673
Varianza	1.008	0.385
Observaciones	40	40
Grados de libertad	39	39
F	2.616	
P(F<=f) una cola	0.002	
Valor crítico para F (una cola)	1.704	

Guanajuato		
	<i>Riego</i>	<i>Temporal</i>
Media	6.371	1.368
Varianza	3.686	0.240
Observaciones	40	40
Grados de libertad	39	39
F	15.378	
P(F<=f) una cola	0.000	
Valor crítico para F (una cola)	1.704	

Morelos		
	<i>Riego</i>	<i>Temporal</i>
Media	2.299	3.154
Varianza	0.857	0.276
Observaciones	40	40
Grados de libertad	39	39
F	3.104	
P(F<=f) una cola	0.000	
Valor crítico para F (una cola)	1.704	

Quintana Roo		
	<i>Riego</i>	<i>Temporal</i>
Media	2.665	0.608
Varianza	1.087	0.028
Observaciones	40	40
Grados de libertad	39	39
F	39.093	
P(F<=f) una cola	0.000	
Valor crítico para F (una cola)	1.704	

Yucatán		
	<i>Riego</i>	<i>Temporal</i>
Media	3.192	0.821
Varianza	0.446	0.039
Observaciones	40	40
Grados de libertad	39	39
F	11.414	
P(F<=f) una cola	0.000	
Valor crítico para F (una cola)	1.704	

Chiapas		
	<i>Riego</i>	<i>Temporal</i>
Media	3.408	1.928
Varianza	0.410	0.083
Observaciones	40	40
Grados de libertad	39	39
F	4.954	
P(F<=f) una cola	0.000	
Valor crítico para F (una cola)	1.704	

Guerrero		
	<i>Riego</i>	<i>Temporal</i>
Media	3.099	2.164
Varianza	0.269	0.253
Observaciones	40	40
Grados de libertad	39	39
F	1.064	
P(F<=f) una cola	0.423	
Valor crítico para F (una cola)	1.704	

Nayarit		
	<i>Riego</i>	<i>Temporal</i>
Media	5.286	3.126
Varianza	2.703	0.465
Observaciones	40	40
Grados de libertad	39	39
F	5.810	
P(F<=f) una cola	0.000	
Valor crítico para F (una cola)	1.704	

Sinaloa		
	<i>Riego</i>	<i>Temporal</i>
Media	7.318	1.103
Varianza	9.485	0.265
Observaciones	40	40
Grados de libertad	39	39
F	35.849	
P(F<=f) una cola	0.000	
Valor crítico para F (una cola)	1.704	

Zacatecas		
	<i>Riego</i>	<i>Temporal</i>
Media	4.176	0.901
Varianza	1.955	0.109
Observaciones	40	40
Grados de libertad	39	39
F	17.967	
P(F<=f) una cola	0.000	
Valor crítico para F (una cola)	1.704	

Chihuahua		
	<i>Riego</i>	<i>Temporal</i>
Media	6.649	0.862
Varianza	8.716	0.056
Observaciones	40	40
Grados de libertad	39	39
F	155.133	
P(F<=f) una cola	0.000	
Valor crítico para F (una cola)	1.704	

Hidalgo		
	<i>Riego</i>	<i>Temporal</i>
Media	5.401	1.142
Varianza	3.166	0.043
Observaciones	40	40
Grados de libertad	39	39
F	72.834	
P(F<=f) una cola	0.000	
Valor crítico para F (una cola)	1.704	

Oaxaca		
	<i>Riego</i>	<i>Temporal</i>
Media	2.336	1.147
Varianza	0.058	0.015
Observaciones	40	40
Grados de libertad	39	39
F	3.747	
P(F<=f) una cola	0.000	
Valor crítico para F (una cola)	1.704	

Sonora		
	<i>Riego</i>	<i>Temporal</i>
Media	5.352	0.953
Varianza	3.767	0.138
Observaciones	40	40
Grados de libertad	39	39
F	27.304	
P(F<=f) una cola	0.000	
Valor crítico para F (una cola)	1.704	

Veracruz		
	<i>Riego</i>	<i>Temporal</i>
Media	3.852	1.851
Varianza	0.651	0.069
Observaciones	40	40
Grados de libertad	39	39
F	9.446	
P(F<=f) una cola	0.000	
Valor crítico para F (una cola)	1.704	

Coahuila		
	<i>Riego</i>	<i>Temporal</i>
Media	2.469	0.652
Varianza	0.371	0.028
Observaciones	40	40
Grados de libertad	39	39
F	13.486	
P(F<=f) una cola	0.000	
Valor crítico para F (una cola)	1.704	

México		
	<i>Riego</i>	<i>Temporal</i>
Media	4.024	2.950
Varianza	0.675	0.405
Observaciones	40	40
Grados de libertad	39	39
F	1.667	
P(F<=f) una cola	0.057	
Valor crítico para F (una cola)	1.704	

Puebla		
	<i>Riego</i>	<i>Temporal</i>
Media	3.801	1.529
Varianza	0.382	0.076
Observaciones	40	40
Grados de libertad	39	39
F	4.997	
P(F<=f) una cola	0.000	
Valor crítico para F (una cola)	1.704	

Tamaulipas		
	<i>Riego</i>	<i>Temporal</i>
Media	3.964	1.430
Varianza	1.701	0.186
Observaciones	40	40
Grados de libertad	39	39
F	9.126	
P(F<=f) una cola	0.000	
Valor crítico para F (una cola)	1.704	

Colima		
	<i>Riego</i>	<i>Temporal</i>
Media	3.671	2.592
Varianza	0.900	0.477
Observaciones	40	40
Grados de libertad	39	39
F	1.889	
P(F<=f) una cola	0.025	
Valor crítico para F (una cola)	1.704	

Jalisco		
	<i>Riego</i>	<i>Temporal</i>
Media	5.260	4.183
Varianza	3.100	1.986
Observaciones	40	40
Grados de libertad	39	39
F	1.561	
P(F<=f) una cola	0.084	
Valor crítico para F (una cola)	1.704	

Nuevo León		
	<i>Riego</i>	<i>Temporal</i>
Media	3.170	0.948
Varianza	1.307	0.135
Observaciones	40	40
Grados de libertad	39	39
F	9.709	
P(F<=f) una cola	0.000	
Valor crítico para F (una cola)	1.704	

San Luis Potosí		
	<i>Riego</i>	<i>Temporal</i>
Media	3.281	0.765
Varianza	0.186	0.021
Observaciones	40	40
Grados de libertad	39	39
F	8.659	
P(F<=f) una cola	0.000	
Valor crítico para F (una cola)	1.704	

Fuente: elaboración propia con base en datos del sistema de información agroalimentaria y pesquera (SIAP) de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADR); se abarcan los años agrícolas de 1980 hasta 2019. Recuperado de <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430?idiom=es>

Conclusiones

El promedio de hectáreas sembradas en México durante el periodo 2006-2017 ha oscilado entre 21.4 y 21.6 millones. De ese total, 6.3 millones de hectáreas cuentan con sistemas de riego; los restantes 15.1 millones son de temporal.

La agricultura de riego en México, al igual que en la gran mayoría de países en desarrollo, es la mayor consumidora de agua. En el año de 2017, del total de agua concesionada a los usos consuntivos, consumió el 76.04% de 87.84 km³ concesionados.

Por la superficie destinada a su producción, el maíz grano es uno de los principales cultivos junto con el frijol y el sorgo. Además, el maíz grano es representativo de México por sus variedades y diversos platillos preparados con él.

El número de hectáreas de riego sembradas con maíz grano en el año 2017 representó el 24.45% del total. Por su parte, las hectáreas de temporal sembradas con maíz ascendieron al 39.34 % respecto del total.

La aseveración de que el rendimiento de riego es de 1.9 a 3.4 veces mayor al obtenido en temporal se ha convertido en una afirmación común. Sin embargo, dicha afirmación se basa en el promedio nacional y, por ello, no considera las grandes diferencias climáticas y edafológicas con las que cuentan los Estados Unidos Mexicanos.

La estimación de la prueba F con datos referentes al rendimiento promedio de maíz grano para 28 de los 32 estados que conforman a los Estados Unidos Mexicanos, nos permiten decir que en Guerrero, Jalisco y Estado de México no hay evidencia estadística que soporte la superioridad del rendimiento obtenido en riego. En suma, en dichos estados, el rendimiento promedio de maíz grano tanto en riego como en temporal son “iguales” (estadísticamente), los sistemas de riego no hacen diferencia alguna respecto del rendimiento promedio de maíz grano obtenido en condiciones de temporal. Cabe destacar que los estados cuyo clima es muy árido, árido y semiárido dicha superioridad del rendimiento del maíz grano bajo riego respecto del de temporal va desde cuatro hasta once veces, lo cual refleja su alta dependencia de los sistemas de irrigación para poder llevar al cabo el proceso productivo.

Con base en la prueba F, se puede decir que en el resto de los estados –sin incluir a Guerrero, Jalisco y Estado de México– el rendimiento promedio obtenido bajo riego sí es superior al de temporal, pero las diferencias entre estados sí son considerables. Así, se tiene que el rendimiento de riego en Aguascalientes es superior en poco más de 11 veces al obtenido en condiciones de temporal en el mismo estado. En suma, el mayor rendimiento de maíz grano en los estados ubicados en las zonas muy áridas, áridas y semiáridas de México puede ser atribuido, en parte, al agua de riego. Si dichos estados no contaran con sistemas de riego su rendimiento sería similar al que obtienen ellos mismos en temporal. No obstante, cabe insistir en que dichos sistemas productivos no son comparables.

Finalmente, el rendimiento promedio de maíz grano obtenido bajo riego en los estados de Coahuila, Yucatán y Nuevo León es superior en poco más de tres veces a los obtenidos en la modalidad de temporal en los mismos estados; en el resto de los estados no supera en más de dos veces al obtenido en temporal.

Referencias bibliográficas

- A-BAK 2014: México gran variedad de climas. Recuperado de <http://abakmatematicamaya.blogspot.com/2014/09/a-bak2014-mexico-gran-variedad-de-climas.html>
- Anderson, D., Dennis, R., y Williams, T. (2008). Estadística para administración y economía. Ciudad de México: Editorial Cengage Learning.
- Cerutti, M., La agriculturización del desierto. Estado, riego y agricultura en el norte de México (1925-1970), IV Encuentro. Asociación Española de Historia Económica, Monterrey, México. Recuperado de http://www.econ.unavarra.es/~4e_aehe/4EncuentroAEHE/Programa_files/CeruttiMexico.pdf
- Comisión Nacional del Agua. (2018). Estadísticas del agua en México. Recuperado de http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/CONAGUA_2018.pdf
- Koutsoyiannis, A. (2002). Microeconomía moderna. Argentina: Editorial Amorrortu.
- Orizon. Recuperado de <https://www.orizont.es/el-problema-del-agua-en-la-agricultura/>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADR). Recuperado de <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430?idiom=es>
- Soto Mora, C. (2003). La agricultura comercial de los distritos de riego en México y su impacto en el desarrollo agrícola. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. (50), pp.173-195.
- Stevenson, W. J. (2002). Estadística para administración y economía. México: Editorial Oxford University Press.
- Sweeney y Thomas A., Williams Cerutti, M., “La agriculturización del desierto. Estado, riego y agricultura en el norte de México (1925-1970)”, IV Encuentro. Asociación Española de Historia Económica, Monterrey, México. Recuperado de http://www.econ.unavarra.es/~4e_aehe/4EncuentroAEHE/Programa_files/CeruttiMexico.pdf
- Turrent, A., Wise, T. y Garvey, E. (2012), Factibilidad de alcanzar el potencial productivo de maíz de México. Woodrow Wilson International Center for Scholars. También disponible en <http://www.wilsoncenter.org/publication/mexican-rural-development-research-reports-englishspanish> pp.36.
- Varian, H. (1992). Análisis microeconómico. España: Editorial Antoni Bosch.
- Wackerly, D., Mendenhall, W. y Scheaffer, R. (2002). Estadística matemática con aplicaciones. México: Editorial Thomson.
- Wellhausen, E., Roberts, L. & Hernández, E. (1951). Razas de maíz en México, su origen, características y distribución. Programa de agricultura cooperativo de la Secretaría de Agricultura y Ganadería de México, D.F., y la Fundación Rockefeller. Disponible en https://www.ars.usda.gov/ARSTUserFiles/50301000/Races_of_Maize/Raza_Mexico_0_Book.pdf

Manejo del sistema agrohidráulico en un ejido de transición ecológica de México

J. Isabel Juan Pérez

Introducción

El Ejido de Santa Ana Xochuca, Municipio de Villa Guerrero, Estado de México, está ubicado en ambientes adyacentes a la Provincia Fisiográfica Sierra Madre del Sur. Se caracteriza por las estrategias que utilizan las familias campesinas en el manejo y conservación del agua para riego, el establecimiento de cultivos agrícolas de temporal y de riego, el conocimiento del ambiente y la utilización de recursos naturales en la agricultura.

Geográficamente, la Provincia Fisiográfica Sierra Madre del Sur es considerada como la más compleja y la menos conocida en el país. Su origen geológico le confiere amplia heterogeneidad geográfica, climática y ambiental. El sistema fluvial corresponde al del río Balsas, con importantes afluentes como el río Tepalcatepec y el río Cutzamala. Desde el punto de vista biogeográfico, en distintas regiones de la provincia existe amplia diversidad de comunidades vegetales, al grado de ser reconocida como una de las regiones florísticas más importantes de México, por la Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP, 1981).

Los ambientes adyacentes en la porción norte de la Provincia Fisiográfica Sierra Madre del Sur se caracterizan por la amplia diversidad biológica, que de acuerdo con las condiciones ambientales presenta características que explican y favorecen la diversidad sociocultural de las comunidades, la agrodiversidad y el manejo de los recursos naturales, como es el caso del Ejido Santa Ana Xochuca. En este ejido se analizó el manejo del agua para riego en los años 2006 y 2018 con el propósito de establecer asociaciones entre los procesos socioambientales de cambio de uso del suelo, principalmente con la agricultura tradicional (de riego y temporal) y la agricultura protegida (invernaderos). La observación directa y participativa fue fundamental para conocer las relaciones entre los dos tipos de agricultura, la organización social para el manejo del agua, los procesos de cambio de uso del suelo y la capacidad de gestión de los campesinos. La investigación consideró dos interrogantes: a) ¿existe asociación entre el manejo del agua para riego y los procesos socioambientales de cambio de uso del suelo en el Ejido Santa Ana Xochuca? y b) ¿cómo fue el comportamiento de manejo del agua en los años 2006 y 2018?

El análisis del manejo del agua y el cambio de uso del suelo en el Ejido Santa Ana Xochuca se sustenta en los procesos socioambientales que están ocurriendo en la zona de transición ecológica de la porción sur del Estado de México, procesos asociados con la deforestación y conversión de la agricultura tradicional por agricultura protegida (invernaderos) (Camacho, Balderas, Camacho, Morales y Sánchez 2017). En los terrenos ejidales, antes del año 2006, los campesinos solamente establecían cultivos de riego y de temporal, no practicaban la agricultura protegida, sin embargo, los apoyos financieros otorgados por las dependencias gubernamentales para obtener mayor producción agrícola en menor tiempo, son uno de los factores que influyeron en este proceso socioambiental, por lo que, en el año 2018, el 25% de los campesinos del Ejido Santa Ana Xochuca iniciaron la transición hacia la agricultura protegida.

1. Fundamentos metodológicos y teóricos

La investigación es de tipo descriptivo, cualitativo y cuantitativo, se sustentó en el uso de métodos, técnicas de trabajo de campo y aplicación de herramientas de sistemas de información geográfica. La caracterización geográfica, ambiental y sociocultural del Ejido Santa Ana Xochuca se realizó con el método geográfico y el método etnográfico. El método etnohistórico fue utilizado para conocer la conformación del ejido, el origen del asentamiento humano, los procesos y acuerdos para el suministro de agua para riego, la capacidad de gestión de los campesinos, así como, los procesos y causas que condujeron al incremento de los reservorios de agua, el revestimiento de los canales de conducción y la conversión agrícola.

Con el método cartográfico, herramientas de sistemas de información geográfica (SIG) y técnicas de trabajo de campo (observación directa, recorridos, registros y observación participante) se realizó el análisis espacial y caracterización de los almacenamientos de agua. Esta actividad fue complementada con la participación de los ejidatarios y el uso del equipo Differential Global Positioning System (DGPS), para hacer registros geográficos en las áreas de ubicación de los depósitos de agua y su representación cartográfica.

Con la aplicación de un cuestionario al 100% de los ejidatarios fue posible conocer los mecanismos utilizados en el manejo del agua para riego, su disponibilidad, procedencia, importancia en la agricultura, sus funciones ambientales, la capacidad de gestión, el manejo de los recursos naturales y los procesos socioambientales que provocan cambios de uso del suelo.

El análisis comparativo de uso y manejo del agua se realizó en dos momentos: año 2006 y año 2018. Para cada uno de los años, las variables de análisis y comparación fueron ocho: a) número de depósitos, b) superficie (m^2), c) perímetro (m), d) profundidad (m), e) volumen de almacenamiento (m^3), f) número de canales, g) revestimiento de canales, y h) diversidad de cultivos agrícolas (número), esto con

la finalidad de analizar las condiciones de uso y manejo del agua, la agricultura y su asociación con los procesos socioambientales y el cambio de uso del suelo.

Con fundamentos de Ecología Cultural (Steward, 1959) y Geografía Ambiental (Bocco y Urquijo, 2013) se determinaron las interacciones entre los componentes del ambiente y los campesinos del ejido para el manejo del agua, considerando a la cultura como eje transversal de análisis. La Geografía Ambiental es una disciplina relacional cuyo objeto de estudio es el análisis de las interacciones entre la sociedad y el ambiente, esto desde una dimensión espacial y temporal. Analiza las transformaciones de unidades espaciales determinadas, considerando los cambios, las alteraciones ambientales y los procesos socioambientales (Bocco y Urquijo, 2010). Por otra parte, la Ecología Cultural permite comprender cómo el ser humano posee capacidades para relacionarse con su ambiente a través de su acervo cultural (Steward, 1959). Analiza las reacciones y respuestas emitidas por los seres humanos a través de la cultura, la cual permite comprender y explicar los procesos de cambio social y las adaptaciones (González, 1997).

La cultura es el eje transversal de análisis entre la Geografía Ambiental y la Ecología Cultural, por lo que el estudio de la asociación espacio-temporal entre el manejo del agua, la agricultura, los procesos socioambientales de cambio de uso del suelo y la conversión agrícola en el Ejido Santa Ana Xochuca, se realizó desde un enfoque geográfico, ambiental y cultural.

2. Caracterización del Ejido Santa Ana Xochuca

El Ejido Santa Ana Xochuca, localizado en el municipio de Villa Guerrero, al sur del Estado de México, está ubicado en las coordenadas 18° 51' 00.1" latitud norte y 99° 37' 10.1" longitud oeste y, tiene una altitud promedio de 1,717 metros sobre el nivel del mar (msnm) (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [INEGI], 2001). El asentamiento humano del ejido se llama Progreso Hidalgo (Delegación perteneciente al Municipio de Villa Guerrero), éste se encuentra en la porción central de la superficie ejidal (ilustración 1).

El Ejido Santa Ana Xochuca se encuentra en una zona de transición ecológica o ecotono, en donde convergen los ecosistemas de climas cálidos subhúmedos y semicálidos. El ecotono está ubicado entre la Provincia de las Serranías Meridionales y la Provincia de la Depresión del Balsas, perteneciente a la Región Caribeña del Reino Neotropical. El clima pertenece al grupo A(C)wg que de acuerdo con el sistema de clasificación climática de Köppen, es tropical lluvioso, semicálido, la temperatura media anual es de 20 °C, y registra 1,100 mm de precipitación media anual. El período de lluvias es de mayo a septiembre (García, 1986).

En México, diversos autores han enfocado sus investigaciones en las zonas de transición ecológica, estableciendo en éstas las relaciones entre el conocimiento del ambiente, la diversidad biológica, las actividades humanas y las sociedades (González, 2007; Juan, Gutiérrez, Franco, Monroy, Balderas y Antonio, 2011; Camacho,

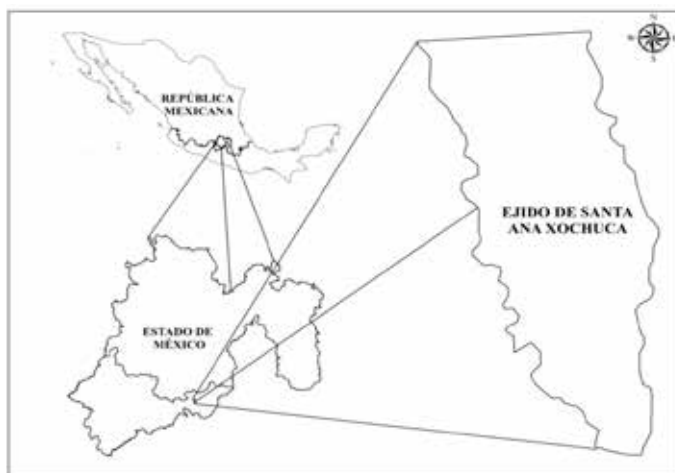
Camacho, Balderas y Sánchez, 2017; García, Gutiérrez, Balderas y Juan, 2018), siendo los ecotonos de mayor manejo humano los de la Sierra de Oaxaca y el del sur del Estado de México (González, 2007).

La vegetación natural en la zona de transición ecológica —y por supuesto, su diversidad ecológica y ambiental— corresponden al bosque subtropical caducifolio, caracterizado por especies vegetales que las sociedades campesinas utilizan para varios propósitos, principalmente en la alimentación familiar, alimento para los animales domésticos, en los procesos agrícolas y en las actividades rituales y ceremoniales.

El Ejido Santa Ana Xochuca no posee de manera natural elementos hidrológicos, aunque las tierras de uso común (laderas, depresiones y barrancos) tienen colindancias con tres ríos importantes: Calderón, Nenetzingo y Tenancingo, localizados aproximadamente a 450 m de profundidad respecto a la altitud promedio del territorio ejidal, además, son límites naturales con otras comunidades. Las familias campesinas de este territorio no utilizan de manera directa el agua de los ríos, pero son fuente importante de recursos, pues de ellos se extraen rocas, arena, plantas y animales silvestres.

Las propiedades del suelo vertisol pélico y su interacción con las condiciones geográficas, topográficas, ambientales, climáticas, hidroIlustraciones y socioculturales generan ambientes propicios para el establecimiento de amplia diversidad de cultivos agrícolas de riego y de temporal, así como el manejo de recursos naturales para la agricultura.

Figura 1. Ejido Santa Ana Xochuca en el contexto de la zona de transición ecológica y el Estado de México



Fuente: elaboración propia con base en SPP (1981).

3. Origen y organización territorial del ejido

El origen del ejido tiene sus antecedentes en la expropiación de la Hacienda La Merced. Los antecedentes del uso y manejo del agua y la agrodiversidad son producto del reparto agrario, ya que, de acuerdo con el artículo 47 del Código Agrario vigente y por Resolución Presidencial, se concede a 38 solicitantes una dotación de 260 hectáreas, de las cuales 52 serían de riego y 208 de agostadero laborable. Este acuerdo fue publicado en el Diario Oficial de la Federación el 5 de octubre de 1936. De manera simultánea a la expropiación de la Hacienda La Merced y al proceso de reparto agrario, ocurrieron repartos para otras familias de la región, por lo que, 11 años después, y mediante Resolución Presidencial del 23 de abril de 1947 se realizaron permutas de parcelas entre los ejidos y la Hacienda de la Merced, (Gobierno del Estado de México [GEM], 1958).

Al término de las permutas se establece un acuerdo entre los nuevos ejidos y la Ex-Hacienda de La Merced, éste enuncia lo siguiente “los propietarios de la Hacienda La Merced construyen obras hidráulicas necesarias para que los ejidos tengan riego efectivo para sus tierras” (GEM, 1958). La posesión definitiva de aguas para riego se hace el 12 de octubre de 1952 que ordena proporcionar 945,568 m³, tomados del caudal del río Texcaltenco para regar 89 hectáreas. Una segunda dotación de agua data del 15 de marzo de 1955, proporcionando 1,397,568 m³ para el riego de 153 hectáreas.

En 2006, el territorio ejidal de Santa Ana Xochuca estaba integrado por el asentamiento humano (Progreso Hidalgo), tres lomeríos, cuatro barrancos, seis laderas, 13 depósitos de agua, tres canales de conducción, 108 canales de distribución, 57 canales terciarios, una vía principal de acceso y otras áreas consideradas como tierras de uso común. Actualmente tiene una superficie de 557 hectáreas, incluidas 55 parcelas agrícolas, las cuales tienen diferentes superficies, las menores son de 1.5 ha, mientras las mayores tienen 7.0 ha. Antes del reparto agrario no existía la comunidad de Progreso Hidalgo, ésta se conformó a partir de la dotación de agua para el riego (GEM, 1958). Después del origen del ejido, el número de habitantes se ha incrementado notablemente, cada año inmigra a la comunidad un promedio de 17 personas. Actualmente (2020), viven 1,208 personas (Juan, 2018).

En los terrenos ejidales, la actividad económica más importante es la agricultura de riego, seguida por la agricultura de temporal y recientemente la agricultura protegida (invernaderos), la primera y la tercera tienen fines comerciales, se cultiva el 97.5% de la superficie total, los cultivos principales son: fresa (*Fragaria sp.*), gladiolo (*Gladiolus sp.*), tomate (*Physalis ixocarpa*), jitomate (*Solanum lycopersicum*), cebolla (*Allium cepa*), calabaza (*Cucurbita pepo*), pepino (*Cucumis sativus*), chile (*Capsicum annuum*), camote (*Ipomoea batata*), guayaba (*Psidium guajava*), rosa (*Rosa sp.*), girasol (*Helianthus annuus*) y flor de terciopelo (*Celosia cristata*). La agricultura de temporal la practica el 100% de los ejidatarios y tiene como finalidad producir alimento para las familias campesinas,

se cultiva en el 93% de la superficie ejidal, siendo el maíz (*Zea mays*) y el frijol (*Phaseolus vulgaris*) los cultivos más importantes.

Entre los tres tipos de agricultura existen vínculos significativos y se manifiestan en la división de las parcelas para establecer cultivos comerciales y para la subsistencia familiar, disponibilidad de agua, estrategias para el manejo de los recursos naturales, organización social y precios de los productos en los mercados. Todo el año se establecen diversos cultivos (de acuerdo con las condiciones hidrometeorológicas y la disponibilidad de agua en los reservorios), por lo que la participación de la familia y sus estrategias en los procesos agrícolas y el manejo de los recursos naturales son relevantes.

Con relación a las Tierras de Uso Común, la Ley Agraria de 1992 establece lo siguiente:

Artículo 73. Las tierras ejidales de uso común constituyen el sustento económico de la vida en el ejido y están conformadas por aquellas tierras que no hubieren sido especialmente reservadas por la asamblea para el asentamiento del núcleo de población, ni son tierras parceladas.

Artículo 74. La propiedad de las tierras de uso común es inalienable, imprescriptible e inembargable. El reglamento interno regulará el uso, aprovechamiento, acceso y conservación de las tierras de uso común del ejido, incluyendo los derechos y obligaciones de ejidatarios y vecindados. En este ejido, las tierras de uso común son seis laderas, la Ex-Hacienda de la Merced, los terrenos con vegetación nativa, los barrancos, tres almacenamientos de agua, los canales y los caminos.

4. Manejo social del agua en los procesos agrícolas

En el asentamiento humano ejidal, la familia juega un papel importante en la organización social comunitaria, las actividades que desempeña cada individuo son estrategias adaptativas que permiten la subsistencia familiar (Steward, 1972). En el ejido, la organización social comunitaria inicia en la familia y después con la parentela para integrar grupos de apoyo mutuo (ayuda recíproca) (Kropotkin, 2016), los cuales coadyuvan de manera eficiente a la capacidad de gestión para manejo del sistema de riego y la agricultura.

Los grupos de ayuda mutua son asociaciones de campesinos que prestan su fuerza de trabajo sin recibir ningún salario, pero que, a corto plazo, debe ser regresada esta mano de obra al coordinador del grupo o jefe de familia que organizó a sus parientes, amigos y compadres. Cada individuo es responsable de realizar determinadas actividades y al término de éstas, tendrá presente que el coordinador del grupo recibirá el beneficio o ayuda, que debe ser repartida de manera homogénea a todos los integrantes. La ayuda mutua es una estrategia de los campesinos

del ejido, indispensable en los procesos agrícolas, pues favorece el manejo del agua para riego y refuerza la cohesión social comunitaria (Juan *et al.*, 2011).

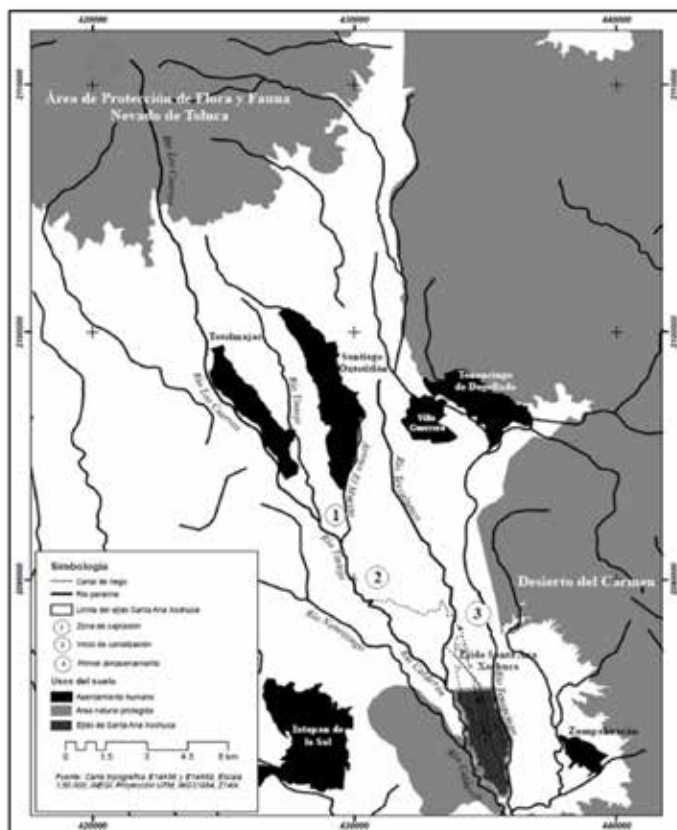
La organización social de las familias ejidatarias ha sido importante desde 1952, cuando los campesinos en asociación con el propietario de la Hacienda La Merced establecieron acuerdos para disponer de agua para riego de los cultivos. La organización social coadyuvó a la capacidad de gestión, pues, a partir de 1952, los ejidatarios participaron activamente para realizar recorridos por la pendiente sur del Volcán Xinantécatl para identificar otros escurrimientos que pudieran ser utilizados para incrementar el suministro de agua. En esta década se iniciaron los trabajos para captación y conducción del agua de afluentes del río Texcaltenco hasta los terrenos ejidales (ilustración 2) (GEM, 1958), proceso socioambiental asociado con la capacidad de gestión e introducción del riego ejidal.

A partir de la captación del agua en la pendiente sur del Volcán Xinantécatl, ésta es conducida mediante un canal principal que llega a un primer almacenamiento (presa, reservorio, bordo, depósito, cuerpo de agua) ubicado en el Ejido de la Finca (ilustración 2). Este reservorio representa el inicio del sistema de riego para el Ejido Santa Ana Xochuca, a partir del cual se deriva un canal principal y canales secundarios de distribución. El primero es utilizado para abastecer a otros reservorios ubicados en tierras de uso común de menores altitudes, mientras, los secundarios, distribuyen agua para el riego de los cultivos y abastecen a otros reservorios familiares. (ilustración 3).

Los bordos, reservorios, almacenamientos o pequeños estanques (jagüeyes) son una técnica para la utilización de aguas de crecida, también llamadas torrenciales, de avenida o broncas, que se presentan durante la estación de lluvias. Consiste en canalizar las aguas a depósitos artificiales llamados “bordos”, “jagüeyes”, “Tablas de agua” “reservorios”. Es frecuente que el llenado y vaciado de los almacenamientos se realice al pasar agua de un almacenamiento a otro. Las funciones principales de los almacenamientos son: captar agua para dotar de humedad y fertilidad al suelo, crear una ecología particular que consiste en la llegada de patos silvestres (*Anas penelope*), la proliferación de peces (*Oreochromis niloticus*) y anfibios (*Lithobates catesbeianus*) y la recarga de acuíferos por la infiltración y el control de avenidas (Palerm, 2002).

En el ejido, los almacenamientos de agua tienen distintos nombres: “depósitos”, “bordos”, “represas” “reservorios” o “presas” y son utilizados para almacenar el recurso agua y utilizarlo para el riego de cultivos comerciales, cultivar especies acuáticas para complementar la alimentación familiar y proporcionar agua a los animales domésticos. Es una tecnología prehispánica muy común en el centro y sur de México (Rojas, 2009).

Figura 2. Captación y conducción del agua para riego, pendiente sur del Volcán Xinentécatl (Área de protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca)



Fuente: elaboración propia con base en INEGI (2001). Cartas topográficas claves E14A58 y E14A59 y trabajo de campo (2016).

El suministro de agua para riego se realiza mediante una infraestructura tradicional de abastecimiento, distribución y almacenamiento, está conformado por depósitos de distintas dimensiones, canales, compuertas y válvulas que regulan la entrada y salida del recurso hídrico. La participación de los campesinos de este ejido en el cuidado y mantenimiento de esta infraestructura coadyuva al funcionamiento del sistema, y por consiguiente al manejo sustentable del agua. En caso de no utilizar el agua para el riego de los cultivos, ésta puede ser almacenada en otros depósitos y utilizarse posteriormente en casos de riesgos hidrometeorológicos. Todos los almacenamientos comunitarios disponen de canales, compuertas y válvulas que permiten conducir y distribuir el agua hacia las parcelas u otros depósitos familiares de menores dimensiones.

El uso y manejo del agua en los procesos agrícolas se realiza por diferencia de altitudes (riego por gravedad) entre los reservorios, los canales y las parcelas. A partir del primer almacenamiento (ubicado en la porción norte) (ilustración 2), el agua es conducida y distribuida de manera natural hacia las parcelas (ubicadas al sur). No se requiere utilizar equipo de bombeo, ya que la pendiente del terreno es descendente (de norte a sur). Después de regar los cultivos, los excedentes escurren por las pendientes de las laderas y finalmente, son incorporados a los barrancos y caudales de los ríos.

Desde la primera dotación de agua (1952), los campesinos se han organizado para hacer un manejo eficiente del recurso, lo cual demuestra su capacidad de gestión. Palerm (2002) dice que los requerimientos técnicos para el manejo del agua implican una cierta organización y acuerdos entre los copropietarios. Esto es válido en el Ejido Santa Ana Xochuca, donde el manejo del agua funciona a través de la participación de todos los ejidatarios, quienes nombran a un encargado o administrador (aguador) para suministrar agua a todos los ejidatarios y atender los asuntos relacionados con la infraestructura hidráulica.

La designación del encargado o administrador del agua para riego se realiza en una asamblea general donde participan exclusivamente los ejidatarios, generalmente se elige al ejidatario o hijo de un ejidatario que sea responsable, honesto, solidario, justo y dinámico. El cargo del administrador o encargado del servicio es por un periodo de tres años. En el ejido las estrategias y normatividad (autogobierno) para manejo del agua de riego son establecidas por los integrantes de la asamblea (ejidatarios) y el administrador. Las funciones del encargado o administrador del agua de riego son las siguientes:

1. Proporcionar agua a todos los ejidatarios que requieren el servicio para riego en sus cultivos. El suministro del servicio es constante durante las 24 horas del día. La duración del suministro y el volumen para cada ejidatario están condicionados por siete factores: a) estación del año, b) frecuencia de lluvias y deshielo en la pendiente sur del Volcán Xinantécatl, c) volumen de conducción desde el área de captación, d) superficie de la parcela, e) tipo de cultivo, f) ubicación de las parcelas respecto al almacenamiento, y g) volumen disponible en los depósitos.

El ejidatario que requiera agua para el riego de sus cultivos deberá solicitarla al administrador con 24 horas de anticipación y éste determinará la hora exacta para proporcionar el suministro. El administrador solicita la presencia del ejidatario en la compuerta del reservorio comunitario para que éste verifique el caudal de salida correspondiente, observar posibles obstrucciones en el canal, evitar fugas hacia otros canales y conducir el recurso directamente hasta su parcela. El pago por el suministro de agua se realiza al momento de solicitar el servicio.

2. Conducir el agua hacia el almacenamiento de mayor capacidad, manteniendo el volumen máximo para evitar su descarga total, excepto en los meses de abril y mayo que se vacía casi en su totalidad (85%). El suministro es equitativo para los ejidatarios, situación que demuestra equidad, empatía, igualdad y solidaridad de las familias. Durante la época de lluvias, los depósitos comunitarios almacenan agua en su máxima capacidad, por lo que el administrador debe abrir las compuertas para evitar riesgos hidrometeorológicos (desbordamientos de presas). En este caso, el caudal es conducido por canales principales hacia las laderas, barrancos y ríos.

3. Cobrar por el servicio de suministro de agua. El número de horas de suministro está en función de los siete factores referidos anteriormente. La forma de determinar el volumen de salida es arbitraria y empírica, las paredes de las compuertas tienen señalamientos que indican el equivalente a un volumen y caudal determinado (tanda). El señalamiento o indicador es complementado con observaciones directas en la velocidad del caudal y el nivel del agua en los canales de conducción.

Para los ejidatarios, el costo del servicio de suministro de agua (tanda) es de \$30.00 (treinta pesos m.n.), mientras el costo de la tanda para los arrendatarios de parcelas es de \$300.00 (trescientos pesos m.n.), cantidades determinadas en reuniones de asamblea de ejidatarios. La duración de la tanda de agua es de cuatro horas.

4. Supervisar la infraestructura y el funcionamiento del sistema de captación, abastecimiento, conducción y almacenamiento, esto con el propósito de evitar inadecuado manejo del recurso. En caso de existir problemas técnicos en el sistema, el administrador notifica al Comisariado Ejidal, quien convoca a todos los ejidatarios para informar e integrar equipos de trabajo y dar solución a las averías.

El dinero recabado por pago de suministro de agua es utilizado para el mantenimiento de la infraestructura hidráulica, generalmente no es suficiente, por lo que, en casos de problemas técnicos, cada ejidatario tiene la obligación de aportar determinadas cantidades de dinero para mantener en condiciones adecuadas los componentes y funcionamiento del sistema. Cuando algunos ejidatarios no puedan aportar la cantidad de dinero correspondiente para el pago de servicios de mantenimiento o reparación de averías, entonces se recurre a la aportación de fuerza de trabajo familiar (el ejidatario y sus hijos realizan jornadas de trabajo), situación que debe ser aprobada en reunión de asamblea. Otra parte del dinero obtenido por el pago de servicio de suministro de agua es destinada al salario semanal del administrador, quien percibe \$2,500.00 (dos mil quinientos pesos m.n.).

5. Organizar equipos de trabajo para hacer recorridos por la pendiente sur del Volcán Xinantécatl, esto con la finalidad de vigilar y mantener la cubierta forestal

y supervisar el caudal de los arroyos que aportan el recurso hídrico. Los ejidatarios conocen la importancia de mantener la cubierta forestal, participan en campañas de reforestación, y saben que la deforestación y los cambios de uso del suelo influyen en las lluvias y las condiciones ambientales de la región. Cuando los ejidatarios no pueden participar en actividades de mantenimiento de la infraestructura o en jornadas de reforestación, el ejidatario recurre a la contratación de fuerza de trabajo (peones) para cumplir con esta obligación comunitaria. A cada trabajador se le debe pagar \$300.00 (trescientos pesos m.n.) por una jornada de ocho horas.

6. Asistir a las reuniones convocadas por la Unión de Ejidatarios de la Región para tratar asuntos agrícolas, manejo del agua, solución a riesgos hidrometeorológicos, pesca en los reservorios, mantenimiento del sistema y determinar sanciones a los infractores. Todos los ejidatarios tienen acceso a la pesca en los reservorios, pero deben solicitar permiso al Comisariado Ejidal. Cuando una persona practica la pesca en los reservorios ejidales sin previa autorización o permiso, es acreedora a una amonestación, que, generalmente, es la restricción temporal de acceso a la pesca.

8. Supervisar el uso y manejo adecuado del recurso hídrico por parte de los regantes. En caso de desperdicio o abandono del riego, el administrador tiene la facultad de interrumpir el suministro (cierre de compuerta o válvula) o de desviar el agua hacia canales secundarios para conducirla a otros reservorios comunitarios o familiares, evitando de esta manera el uso inadecuado del recurso. Al ser un riego para toda la localidad (social), todos los ejidatarios tienen derecho y acceso al servicio de agua para riego, siempre y cuando realicen, en tiempo y forma, los pagos y aportaciones económicas para el funcionamiento de la infraestructura. Una de las obligaciones de los regantes es utilizar de manera eficiente el agua en el riego de los cultivos. Al finalizar el riego, los excedentes deben ser conducidos a los depósitos comunitarios o familiares, o hacia las laderas y barrancos, con el propósito de favorecer el crecimiento de herbáceas y gramíneas para la alimentación de los animales domésticos.

El pago por el servicio de agua para riego y aportaciones económicas para el funcionamiento del sistema no otorga derechos ni permisos a los ejidatarios para usos inadecuados del recurso, de la vida acuática y de los canales, por ello, cuando un regante incurre en anomalías, otros regantes adyacentes a su parcela que se percatan de esta situación tienen el derecho y obligación de denunciarlo ante alguno de los integrantes de la Comisaría Ejidal. Al respecto, la asamblea de ejidatarios aplica una sanción económica (multa) de \$5,000.00 (cinco mil pesos m.n.), de no pagar esta cantidad, se le suspenderá temporalmente el servicio. En caso de que el regante sancionado no disponga en ese momento de recursos económicos para el pago de la sanción, éste tiene derecho a solicitar prórroga o realizar pagos parciales hasta completar la cantidad total de la sanción. Ante esta situación, los regantes evitan

ser sancionados, pues la interrupción del riego afecta el desarrollo de sus cultivos y repercute en la economía familiar.

Mientras se establecen acuerdos de pago y solución entre el regante sancionado y la asamblea de ejidatarios, el regante tiene otras alternativas viables, ya que la organización social comunitaria le provee de garantías que coadyuvan a la mitigación de impactos ambientales y económicos. En esta localidad siempre hay soluciones a los problemas de riego. En este sentido, existen dos estrategias: la primera es utilizar el agua de su reservorio familiar, y, en la segunda, los ejidatarios adyacentes a su parcela se solidarizan y comparten porciones del caudal (tanda) que les corresponde.

5. Capacidad de gestión para el riego

Existen diversas técnicas para el uso y manejo del agua en los procesos agrícolas, que no son propiamente sistemas de riego, cuando menos no son de la competencia de los especialistas en irrigación, ni suelen estar en las estadísticas nacionales como “tierras de riego”. Para que una técnica de manejo del agua sea considerada como “sistema de riego” se requiere un reservorio de agua o una fuente perenne de agua y una red de canales o un sistema de distribución tecnificado (Palerm, 2002).

En el territorio ejidal de Santa Ana Xochuca la infraestructura de riego no es tecnificada, ni existe solamente un reservorio (hay 64). El riego de los cultivos se hace mediante el conocimiento de las condiciones topográficas, la diferencia altitudinal, la gravedad, la ubicación geográficas de las parcelas y las estrategias de organización social comunitaria, las cuales permiten gestionar el agua para riego como un bien común, y lo hacen con éxito, tal y como Ostrom (2012) lo ha registrado en el mundo para algunos sistemas de riego.

Aunque en el ejido el sistema de riego no es tecnificado, su estructura, organización y funcionamiento han determinado la continuidad de los procesos agrícolas, principalmente los asociados con la agricultura de riego, por casi 70 años. Por lo tanto, se demuestra la capacidad de gestión para el manejo del agua, además, este sistema de riego campesino es sustentable, toda vez que, continuamente, los ejidatarios planifican e invierten en el acondicionamiento de reservorios comunitarios y familiares para almacenar mayores volúmenes de agua, disponer de peces para la alimentación e introducir nuevos cultivos comerciales.

El comienzo de la relación de los antecesores de las comunidades con el agua, en los procesos locales y nacionales, no sólo importa como organización histórica por el agua, sino que dichos procesos del pasado se vuelven elementos latentes del presente y, más aún, se convierten en capitales en las relaciones de fuerzas de poder entre los actores de la gestión comunitaria del agua (Díaz, 2018).

La capacidad de gestión para el manejo del agua de riego está sustentada en el conocimiento geográfico que poseen las familias campesinas, la ayuda mutua y

la organización social comunitaria con un tipo de economía agrícola caracterizada por la diversidad de cultivos. Como enfatiza Toledo (1991), los campesinos aplican estrategias complejas en las que combinan componentes biológicos, ecológicos y geográficos y sus procesos para el manejo de los recursos naturales.

Los ejidatarios tienen capacidad de gestión, además, han planificado e invertido recursos monetarios para mantener el funcionamiento de la infraestructura de riego. Después de ser utilizado el caudal para riego de los cultivos, los excedentes escurren por canales menores (terciarios) y son distribuidos para el riego de cultivos establecidos en parcelas ubicadas en menor altitud. De no ser utilizados, éstos son almacenados en otros reservorios menores (familiares). En este proceso de manejo del agua, los recursos naturales asociados con la conducción y distribución son rocas, suelo húmedo y vegetales herbáceos. En este proceso y manejo existen interacciones entre los componentes físicos y biológicos del ambiente con la sociedad (Bocco y Urquijo, 2013) y su acervo cultural (Steward, 1972).

La interacción de las condiciones ambientales (Bocco y Urquijo, 2010) con la organización social y la capacidad de gestión para el manejo del agua coadyuvan a la formación de diversos sistemas agrícolas con cualidades peculiares para cada uno de los cultivos y sus ciclos respectivos. En las parcelas ejidales los cultivos de riego se establecen en cualquier época del año, siempre y cuando se disponga de agua en los reservorios. El 67% de los ejidatarios divide sus parcelas para utilizar algunas áreas en cultivos de riego y cultivos de temporal.

En Santa Ana Xochuca, el éxito de la agricultura de riego depende de la capacidad de gestión de los ejidatarios para el manejo del agua, de los cultivos de temporal que proporcionan alimento a las familias, del manejo de otros recursos naturales (suelo, rocas, vegetación) y de los grupos de ayuda mutua. De no existir capacidad de gestión y una organización social eficiente, se generarían problemas en el manejo del agua. Díaz (2018) menciona que la gestión comunitaria del agua, como campo de fuerza, implica un conjunto de sistemas de objetos y acciones en el que se desarrollan capitales que conllevan relaciones de poder frente a la pugna por algo inherente a la gestión.

En el manejo del agua del caso de estudio intervienen múltiples componentes, factores y relaciones, por lo que es relevante su análisis desde varios enfoques, por ejemplo, desde la perspectiva de la Ecología Cultural (Steward, 1959) y la Geografía Ambiental (Bocco y Urquijo, 2013) fueron identificadas tres relaciones importantes entre el ambiente, la sociedad y la cultura:

1. La relación entre los ejidatarios y varios componentes de su ambiente inorgánico como la altitud, topografía, clima, agua y suelo. El conocimiento de la diversidad topográfica, la altitud y la gravedad han permitido el manejo del agua. El riego de los cultivos se hace por diferencia del gradiente altitudinal y la gravedad.

2. La diversidad vegetal es utilizada y manejada para la alimentación de la familia, alimentación de los animales domésticos y control del caudal en los surcos. La caza y captura de animales silvestres coadyuva en la alimentación familiar. Los animales domésticos complementan la dieta alimentaria y son utilizados en algunos procesos agrícolas. El follaje de algunas plantas es útil para el control del caudal durante el riego de los cultivos.
3. La relación entre los ejidatarios de la región. Los campesinos establecen interacciones que favorecen la cohesión social entre las familias y sus vecinos, éstas se expresan a través de la ayuda mutua y favorecen el manejo del agua a nivel local y regional.

6. Manejo del sistema agrohidráulico: 2006-2018

a) En el año 2006, solamente había 13 almacenamientos con un volumen total de 112,515.52 m³ (tabla 1). Para el año 2018, el número de depósitos fue 35, o sea, 22 depósitos más en comparación al año 2006 (tabla 2). Esto significa un incremento de 169%. El volumen de almacenamiento es de 126,317.79 m³ (13,802.27 m³ más en comparación con el año 2006), lo cual representa el 10.9%. Aunque para el año 2018 el incremento del número de almacenamientos fue de 169%, el incremento en el volumen fue mínimo. Esto se debe a que 15 de los nuevos almacenamientos tienen una capacidad menor a 300 m³.

**Tabla 1. Reservorios para riesgo.
Ejido Santa Ana Xochuca, Estado de México, año 2006**

Núm. de depósito	Superficie (m ²)	Perímetro (m)	Profundidad (m)	Volumen (m ³)
1	3,090	226	3.6	4,903.30
2	3,704	250	3.8	6,333.33
3	8,658	359	4.6	15,809.40
4	10,117	434	3.2	16,073.05
5	3,837	251	2.3	3,864.06
6	1,494	156	1.8	1,168.13
7	3,169	229	2.6	3,635.91
8	3,651	228	2.2	3,049.73
9	19,818	556	5.7	46,988.67

10	2,813	200	2.2	2,346.67
11	139	49	1.2	76.83
12	871	133	2.1	990.58
13	5,196	292	3.2	7,275.86
Total	66,557.00	----	----	112,515.52

Fuente: trabajo de campo, 2016.

b) El 89% de los ejidatarios considera que, antes del año 2006, el suministro de agua para riego de cultivos era suficiente, pero a partir del año 2008, la época de lluvias es irregular, o sea, ésta puede iniciar en la primera quincena de mayo o al principio de junio, por lo que los ejidatarios han acondicionado reservorios en sus parcelas o en las tierras de uso común.

c) 74% de los reservorios contienen peces (*Oreochromis niloticus*) y anfibios (*Lithobates catesbeianus*), éstos son utilizados para complementar la alimentación del 100% de las familias. Los reservorios generan microclimas, proveen agua a los animales domésticos y embellecen el paisaje. El 95% de los encuestados considera que los reservorios son importantes para las familias, además, disponer de un depósito asegura la provisión de alimento. Los reservorios son un hábitat importante para patos (*Anas penelope*) y garzas (*Ardeidae sp*), son ambientes multifuncionales.

d) En 2018, el área que ocuparon los almacenamientos fue de 81,441 m², lo cual representa el 1.46% de la superficie ejidal. El área de cada uno de los 35 almacenamientos es diferente, el menor tiene 29.21 m² y el mayor, 19,818 m². La diferencia de área de los almacenamientos está asociada con las superficies de las parcelas y la capacidad de los reservorios comunitarios (ilustración 3). Los ejidatarios consideran que es mejor disponer de un depósito de menor área, pero de mayor profundidad, pues un depósito con área grande afectaría la superficie agrícola cultivable.

e) El costo para la excavación de un reservorio es variable en función de sus dimensiones. El costo promedio (incluye mano de obra y combustible para la maquinaria) para un reservorio de 200 m² y de 2.5 m de profundidad es de \$3,500.00 (tres mil quinientos pesos m.n.). Los ejidatarios siempre eligen un espacio estratégico para la excavación, comparten costos y mantienen el reservorio, también comparten el agua almacenada. La planeación e inversión para ampliación de la infraestructura de riego se sustentan en la capacidad de gestión de los ejidatarios.

f) El Ayuntamiento del Municipio de Villa Guerrero, en coordinación con los integrantes de la Comisaría Ejidal y la Delegación del Pueblo de Progreso Hidalgo, han establecido convenios para la excavación de nuevos reservorios en las tierras de uso común, con el propósito de disponer de reservorios de mayor capacidad. En estos acuerdos, los ejidatarios no realizan erogaciones monetarias, pero aportan los costos del combustible para la maquinaria y alimentos a los operadores. La concertación social con las dependencias gubernamentales también demuestra la capacidad de gestión de las familias.

g) Cada uno de los almacenamientos tiene profundidad diferente, el promedio es de 2.0 m. El menos profundo tiene 0.8 m, mientras el de mayor profundidad alcanza 5.7 m. La profundidad no es proporcional al área que éstos ocupan, ya que no todos los reservorios de mayor superficie son más profundos, con excepción del almacenamiento mayor, cuya área es de 19,818 m² y su profundidad de 5.7 m. El 37% de los ejidatarios comenta que los almacenamientos más profundos representan riesgos para los habitantes.

h) El almacenamiento de mayor perímetro tiene 556 m y el menor 37 m. Esta cualidad se asocia con su forma perimetral, aunque la mayoría no tiene forma geométrica definida. El 83% de los ejidatarios refirió que, al momento de gestionar el servicio de maquinaria para excavación, lo más importante es disponer de un reservorio, sin importar una forma geométrica específica, pues algunas ocasiones la topografía del terreno, su proximidad con las vías de comunicación y la presencia de árboles, no favorecen formas específicas. Solamente cinco reservorios (14.2%) se caracterizan por ser ligeramente cuadrangulares.

i) La capacidad de almacenamiento depende de cuatro factores: 1) el volumen de precipitación pluvial en la pendiente sur del Volcán Xinantécatl, 2) el volumen de precipitación pluvial en la superficie ejidal, 3) los excedentes del riego, y 4) el número de usuarios/día. El reservorio de mayor capacidad es de 46,988.67 m³, mientras el menor es de 29.21 m³ (tabla 2). El 74% de los ejidatarios comentó que cuando los reservorios disminuyen su nivel (volumen), deben recurrir al bombeo y accesorios para extraer el agua.

Tabla 2. Reservorios para riego. Ejido Santa Ana Xochuca, Estado de México.
Año 2018.

Núm. de depósito	Superficie (m ²)	Perímetro (m)	Profundidad (m)	Volumen (m ³)
1	3,090	226	3.60	4,903.30
2	3,704	250	3.80	6,333.33
3	8,658	359	4.60	15,809.40
4	10,117	434	3.20	16,073.05
5	3,837	251	2.30	3,864.06
6	1,494	156	1.80	1,168.13
7	3,169	229	2.60	3,635.91
8	3,651	228	2.20	3,049.73
9	19,818	556	5.70	46,988.67
10	2,813	200	2.20	2,346.67
11	139	49	1.20	76.83
12	871	133	2.10	990.58
13	5,196	292	3.20	7,275.86
14	1,316	142	1.20	645.25
15	214	65	1.00	112.67
16	330	74	1.30	189.83
17	2,178	182	1.90	1,678.28
18	416	85	1.20	231.20
19	276	68	1.10	135.64
20	216	60	1.40	134.40
21	2,331	188	2.50	2,356.27

22	298	77	1.50	237.16
23	81	37	0.80	29.21
24	114	44	1.30	67.11
25	264	77	1.70	268.78
26	132	47	1.10	64.80
27	239	64	1.00	109.23
28	1,395	150	1.90	1,140.00
29	277	78	1.00	162.24
30	1,004	140	1.80	940.80
31	388	85	1.60	308.27
32	92	41	1.10	49.31
33	2,788	286	2.10	4,580.58
34	289	66	1.20	139.39
35	246	80	1.30	221.87
Total	81,441.00	-----	-----	126,317.79

Fuente: trabajo de campo, 2018.

j) En virtud de que después del año 2008, el régimen pluviométrico es irregular (Carmacho *et al.*, 2017a), en reunión de asamblea se determinó hacer excavaciones para almacenar agua en terrenos clasificados como tierras de uso común (depresiones del terreno), estrategia importante para disponer de agua para riego en la época de estiaje, mitigar riesgos hidrometeorológicos y coadyuvar en la seguridad alimentaria.

k) Entre 2006 y 2018 el número de canales de conducción ha permanecido constante, pero el número de canales de distribución y canales terciarios (zanjas) sí registraron incrementos de 25.92% y 68.42%, respectivamente (tabla 3). La función de los canales terciarios es conducir escurrimientos excedentes del riego hacia los reservorios ubicados en menor altitud.

l) Las condiciones en las que se encuentran actualmente (2018) los canales de conducción sí son diferentes a las condiciones que prevalecían en el año 2006. En el año 2015, la asamblea de ejidatarios determinó que los canales de conducción deberían ser revestidos con concreto (mezcla de cemento, arena, grava y agua) con la finalidad de incrementar la velocidad del caudal y evitar desperdicio. Se han revestido 4,850 m de canales (tabla 3). Al respecto, 72% de los ejidatarios considera que el revestimiento es importante para el manejo adecuado del agua y requiere mínimas labores de mantenimiento.

m) Como se observa en la ilustración 3, el canal principal proveniente de un primer reservorio ubicado en el Ejido de la Finca (colindancia norte del Ejido Santa Ana Xochuca) conduce agua hacia el reservorio de mayor capacidad (número 9), pero antes de que el caudal ingrese en éste, una parte es utilizada para el riego de parcelas adyacentes. De este reservorio (presa), derivan tres canales de conducción con dirección hacia el sur, su función es abastecer a otros reservorios menores y ubicados en puntos estratégicos de las parcelas o tierras de uso común.

De los tres canales de conducción derivan canales de distribución, los cuales suministran agua a las parcelas o abastecen a otros reservorios (ilustración 3). El canal de conducción de mayor longitud está ubicado de manera paralela a un camino de terracería del lomerío izquierdo y tiene una longitud de 4,743.20 m. El segundo canal en importancia se ubica a un lado del camino principal de acceso y pasa por el centro del asentamiento humano, mide 4,421.90 m, uniéndose al primero en la colindancia sur del territorio ejidal, y juntos vierten sus escurrimientos al Río Calderón. El canal de menor longitud tiene 3,014.22 m, está ubicado en el lomerío derecho y vierte sus escurrimientos al Río Tenancingo. Entre 2006 y 2018, el incremento de la longitud de los canales fue mínimo, situación asociada con el número de reservorios (tabla 3, ilustración 3).

n) El 63% de los ejidatarios comenta que, al existir mayor disponibilidad de agua para el riego, existe la posibilidad de intensificar y diversificar el uso del suelo, así como el establecimiento, combinación o rotación de cultivos. Vargas (2010) refiere que al cambiar el patrón de cultivos se transforma el patrón de uso del agua y, por consiguiente se inician procesos socioambientales de cambio de uso del suelo e impacto a los componentes del ambiente (Bocco y Urquijo, 2013), esto es notorio en el ejido, ya que entre 2006 y 2018, la superficie ocupada con selva baja caducifolia y agricultura tradicional registró pérdidas significativas (tabla 3).

o) De 2006 a 2018 los procesos socioambientales de cambio de uso del suelo son significativos, están vinculados con la apertura y superficie de los reservorios, y por supuesto, con el establecimiento de invernaderos, para producir flores, fresa y jitomate (Camacho *et al.*, 2017). Antes del año 2006, en los terrenos ejidales no había infraes-

estructura para agricultura protegida (invernaderos), actualmente (2018) existen 15, los cuales suman en total 5.08 ha (1.0%) de la superficie ejidal (tabla 3). Respecto a este incremento de cambio de uso del suelo para el establecimiento de infraestructura destinada a la producción de cultivos en ambientes de invernadero existen incongruencias en los datos que reportan algunos investigadores. Por ejemplo, Camacho *et al.*, 2019, refieren que en el año 2015 la agricultura tecnificada controlada ocupaba una superficie de 19 ha, mientras Ballesteros (como se citó en Camacho *et al.*, 2019) señala que esta misma modalidad de cultivo creció 6 ha, por lo que es pertinente exponer que la superficie del ejido y su representación cartográfica reportadas por estos autores y otros, no es absolutamente real, esto en virtud de que durante el reparto agrario y la permuta de tierras entre el Ejido Santa Ana Xochuca y el Ejido de la Finca, varias parcelas del segundo, se encuentran inmersas en el contexto territorial del primero, situación que incide en las diferencias referidas.

Tabla 3. Componentes socioambientales de cambio de uso del suelo e infraestructura de riego. Ejido Santa Ana Xochuca, Estado de México: 2006 y 2018

Componente	Unidad de medida	Año 2006	Año 2018	Pérdida	Ganancia	%
Superficie del ejidal	ha	557	557	0	0	0.00
Parcelas	Número	55	55	0	0	0.00
Canales de conducción	Número	3	3	0	0	0.00
Canales de distribución	Número	108	136	0	28	25.92
Canales terciarios	Número	57	96	0	39	68.42
Longitud de canales de conducción	m	11,168	12,179	0	1,011	9.05
Revestimiento de canales	m	0	4 850	0	0	0.00
Vías de comunicación (carreteras)	Número	4	4	0	0	0.00
Tierras de uso común	Número	14	14	0	0	0.00
Selva baja caducifolia	ha	234.20	227.45	6.75	0	2.88
Agricultura tradicional	ha	321.64	320.39	1.24	0	0.38
Agricultura comercial tecnificada	ha	0	5.08	0	0	0.00
Almacenamientos	Número	13	35	0	22	169.00
Superficie de los almacenamientos	ha	6.62	8.14	0	1.52	22.96
Volumen de almacenamiento	M ³	112,515.52	126,317.79	0	13,802.26	12.26
Asentamiento humano	ha	8.53	10.28	0	1.74	20.43

Fuente: elaboración propia con base en trabajo de campo, (tablas 1 y 2).

Conclusiones

A través del tiempo los campesinos regantes han utilizado diferentes conocimientos para manejar el agua y sus obras hidráulicas. El manejo del agua a pequeña escala conduce al origen de sistemas agrohidráulicos adaptados a condiciones ambientales y socioeconómicas locales. El conocimiento que poseen los campesinos les ha permitido aplicar estrategias para la conservación y manejo del agua (Ocampo y Escobedo, 2006), situación semejante a las estrategias utilizadas por los campesinos del Ejido Santa Ana Xochuca para el manejo de los recursos naturales de su territorio, principalmente los utilizados en la agricultura.

El conocimiento de las condiciones geográficas y ambientales se manifiesta en las estrategias utilizadas para el manejo del agua, el relieve, la diferencia altitudinal, la gravedad, las rocas, el suelo, la humedad y la vegetación. Este conocimiento coadyuva al manejo de diversos cultivos, manejo de recursos naturales y la combinación de agricultura de riego con agricultura protegida y agricultura de temporal. Calvache (2009) refiere que, al utilizar el desnivel del terreno como fuente de energía para la conducción y distribución del agua, se logra la máxima eficiencia en la distribución hídrica y se optimiza el uso del agua en la producción agrícola.

La existencia de los sistemas de riego implica su operación, conservación y administración, exige mantener en óptimas condiciones los canales, drenes, caminos, estructuras y obras complementarias, solo así es posible proveer agua a los usuarios en la cantidad y oportunidad debidas (Aceves, 1998). En el espacio geográfico objeto de estudio, la operación, conservación y administración del sistema de riego funciona de manera permanente desde 1952, suministra agua a todos los regantes, siempre y cuando los canales estén en buenas condiciones y exista disponibilidad en los reservorios.

Montes de Oca, Palerm y Chávez (2012) y Montes de Oca y Palerm (2013) demuestran que el servicio de agua para riego en las comunidades que conforman el Sistema de Riego Tepetitlán, Estado de México no es equitativo. Existe un plan de riegos, el cual indica que el riego debe iniciar aguas arriba y termina aguas abajo. Los usuarios de aguas abajo deben esperar a que los usuarios de aguas arriba terminen de regar o cierren las compuertas para iniciar el riego en sus parcelas. La inequidad en la distribución del agua se asocia con la ubicación geográfica de las comunidades de regantes; es decir, si se encuentran aguas arriba o aguas abajo de canales principales o secundarios. En el Sistema de Riego Tepetitlán, la inequidad se demuestra en el suministro de agua; ya que primero riegan las parcelas ubicadas aguas arriba, situación que no ocurre en el Ejido Santa Ana Xochuca.

Por otra parte, Vargas (2010) realizó un estudio de aspectos socioeconómicos de la agricultura de riego en la cuenca Lerma-Chapala. En las comunidades regantes de la cuenca, el autor enfatiza que existe una problemática diferenciada entre cada sistema de riego, se muestra un patrón complejo de relaciones entre el

tamaño de las unidades de producción, las características de los responsables de la producción, las formas de acceso al agua y su ubicación en la cuenca, situación semejante a lo que ocurre en el Sistema de Riego Tepetitlán, ubicado en la misma cuenca. Entre los agricultores existen valores medioambientales positivos, que se expresan en la disposición de apoyar en acciones de mejoramiento, siempre y cuando se realicen en condiciones de equidad y compensación, y con base en una negociación equitativa.

En la superficie ejidal de Santa Ana Xochuca, el agua es el recurso determinante en la economía, su manejo está vinculado con el conocimiento del ambiente, los procesos agrícolas, la organización social comunitaria y la capacidad de gestión. El manejo del agua debe entenderse dentro de un ciclo anual que combina tres tipos de agricultura. Esto es acorde con lo que enfatiza Aceves (1998), quien señala que en concordancia con los sistemas de riego existen variados sistemas de producción agrícola, que el sistema de producción más común en las áreas de riego incluye la categoría de cultivo único con el arreglo o disposición espacial que cada caso requiere; es decir, en la parcela se hace un solo cultivo y no se comparte con otros, situación diferente a lo que ocurre en el Ejido Santa Ana Xochuca, donde las interacciones entre el ambiente y la sociedad (Bocco y Urquijo, 2013) son determinantes para el riego y la diversidad agrícola.

Aceves (1998) menciona que los logros en la agricultura de temporal son resultado de la investigación básica y aplicada, la asistencia técnica y apoyos especializados. El productor tradicional ha adaptado sus prácticas tradicionales a las nuevas tecnologías en la agricultura de riego y de temporal. Al respecto, Kaplan y Manners (1979) dicen que la Ecología Cultural tiene como elemento de análisis a la adaptación sociocultural, considerando dos niveles: 1) la forma en la que los sistemas culturales se adaptan a su ambiente, y 2) la forma en la cual las instituciones de una cultura se adaptan o se ajustan a las de otra. En el Ejido Santa Ana Xochuca, los campesinos establecen relaciones con su ambiente y con otros ejidatarios de la región, por lo que estos niveles e interacciones favorecen la capacidad de gestión para manejo del agua. La adaptación sociocultural es un proceso permanente de la sociedad (Steward, 1972), posee elementos que interactúan entre sí: recursos, energía, organización y trabajo.

Las estrategias utilizadas para el manejo del agua en sistemas de riego no convencionales favorecen el aprovechamiento de la biodiversidad, la producción agrícola, la soberanía y seguridad alimentaria, el funcionamiento de los agroecosistemas, la recarga de acuíferos, el manejo de riesgos hidrometeorológicos y la conservación del suelo. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2010), considera que la gestión mejorada del agua de uso agrícola es un motor de crecimiento para el desarrollo rural: crea empleo, mejora la seguridad alimentaria y revitaliza las economías locales.

En concordancia con lo que señala la FAO, algunos investigadores (Ocampo

y Escobedo, 2006; Montes de Oca *et al.*, 2012; Montes de Oca y Palerm, 2013) consideran que la agricultura campesina es una actividad importante, los alimentos producidos constituyen una fuente básica para las comunidades rurales. El agua de riego en la agricultura campesina, además de aumentar los rendimientos de los cultivos, contribuye a conservar los recursos naturales, establece relaciones sociales comunitarias, genera nuevos conocimientos y mantiene la relación campesino-agua para hacer agricultura (Ocampo y Escobedo, 2006). El manejo del agua y la agricultura fomentan la cohesión social comunitaria en el Ejido Santa Ana Xochuca.

Los campesinos regantes han manejado el espacio hidráulico con racionalidad y han logrado adecuar sus prácticas al nuevo contexto, con ello han mostrado su fortaleza autogestiva y su capacidad social de resiliencia para enfrentar los cambios provocados desde el exterior o dentro del sistema (Ocampo y Escobedo, 2006). Respecto a sistemas agrícolas de pequeño riego, el campesino ha generado conocimientos para manejar el agua, la infraestructura y los cultivos (Ocampo y Escobedo, 2006), situación similar al sistema de riego del Ejido Santa Ana Xochuca.

Vargas (2010), determina que en varias comunidades de la cuenca Lerma-Chapala predomina el régimen de propiedad ejidal, pero el suministro de agua no lo determinan los ejidatarios, ya que muchas veces éstos no conocen el origen del recurso ni las condiciones en las que se encuentra, situación que no coincide con el manejo del agua en la zona objeto de estudio, donde los ejidatarios sí conocen el funcionamiento del sistema agrohidráulico. En esta localidad el agua es un recurso fundamental para transitar hacia el desarrollo local sustentable y un activo ambiental para mantener la continuidad de los procesos ecológicos y la agrobiodiversidad.

El Ejido Santa Ana Xochuca no tiene fuentes naturales de agua, sin embargo, la capacidad de gestión de sus habitantes, la organización social comunitaria, el conocimiento del ambiente, así como la planeación e inversión para conformar un sistema agrohidráulico, les ha permitido disponer de agua para producir alimentos destinados al sustento familiar y los mercados nacionales. El recurso hídrico es fundamental para el desarrollo humano y la economía. El acceso al agua y, por consiguiente, la seguridad hídrica son prioritarios para coadyuvar al mejoramiento de la seguridad alimentaria, las condiciones económicas y el bienestar en las comunidades rurales de México.

En esta investigación, la Ecología Cultural y la Geografía Ambiental coadyuvieron al análisis espacial y temporal de las interacciones que condicionan los procesos socioambientales de cambio de uso del suelo y la capacidad de gestión para el manejo del agua en la agricultura, sin desconsiderar la relación ambiente-sociedad. El conjunto de interacciones entre los componentes ambientales y socioculturales constituye una unidad de análisis para realizar estudios en comunidades rurales donde el eje rector de su economía está determinado por la capacidad de gestión para manejo del agua y la producción de alimentos.

En el Ejido Santa Ana Xochuca, el funcionamiento y mantenimiento del sistema agrohidráulico requieren de la organización social y la capacidad de gestión, estrategias que favorecen la producción agrícola para los mercados nacionales y la alimentación de las familias campesinas, siendo estas estrategias un referente importante para otras comunidades de la zona de transición ecológica en el sur del Estado de México.

La cultura es un instrumento de ajuste, un sistema de adaptación generado por las sociedades en condiciones ambientales, espaciales, temporales e históricas particulares. Es a partir de éste cuando los campesinos interactúan con los componentes de su entorno natural y con otras sociedades. Las interacciones entre ambiente, sociedad y cultura han proporcionado elementos básicos a las familias campesinas para su capacidad de gestión en el manejo del agua para la agricultura.

Las familias ejidatarias enfrentan tres retos: el primero está vinculado con la contaminación del agua por el excesivo uso de agroquímicos para producir alimentos, la producción ecológica es una opción, pero los ejidatarios aún no están convencidos de esta modalidad agrícola. El segundo reto es el ingreso de empresarios, cuyo interés es la adquisición de parcelas para establecer infraestructura de agricultura protegida, siendo las condiciones climáticas, la ubicación geográfica del ejido, la fertilidad del suelo, la disponibilidad de agua para riego, el fácil acceso a vías de comunicación y la cercanía con grandes ciudades, los factores que influyen en la conversión agrícola, impacto al paisaje, y la sustitución de ejidatarios (propietarios) por fuerza de trabajo asalariada (jornaleros).

Diversificar el uso de los reservorios, el manejo de otros recursos naturales y el paisaje conforman el tercer reto, siendo la pesca deportiva, el turismo alternativo y algunos deportes acuáticos, actividades que pueden coadyuvar al desarrollo local sustentable. Esto es viable, ya que los ejidatarios tienen cinco fortalezas importantes: conocimiento del ambiente, capacidad de gestión, organización social comunitaria, ayuda mutua y amplia agrobiodiversidad.

Referencias

- Aceves, E. (1998). Uso y manejo del agua en la agricultura mexicana. Comercio Exterior, (38)7, 570-577. Recuperado de: <http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/188/2/RCE2.pdf>.
- Bocco, G. y Urquijo, P. (2010). La geografía ambiental como ciencia social. En A. Lindón y D. Hiernaux (Eds.), Los giros de la geografía humana: Desafíos y horizontes (pp.259-270). México: ANTHROPOS-UAM.
- Bocco, G. y Urquijo, P. (2013). Geografía ambiental: reflexiones teóricas y práctica institucional. Región y Sociedad, 56 (XXV), 75-101. Recuperado de: <https://www.colson.edu.mx:4433/Revista/Articulos/56/3Bocco.pdf>.
- Calvache, M. (2009). Manejo del Agua de Riego en Zonas de Ladera. EIDOS, 32-39. DOI: 10.29019/Eidos.v0i252.

- Camacho, R., Balderas, M., Camacho, J., Morales, C. y Sánchez, M. (2017a). Variabilidad de la temperatura ambiente en una zona de transición ecológica y procesos que determinan su comportamiento. *Revista Geografía y sistemas de Información Geográfica*, 9(9), 104-123.
- Camacho, R., Camacho, J., Balderas, M. y Sánchez, M. (2017b). Cambios de cobertura y uso de suelo: estudio de caso en Progreso Hidalgo, Estado de México. *Madera y bosques*, 3(23), 39-60. DOI: 10.21829/myb.2017.2331516.
- Camacho, R., Camacho, J., Camacho, R. y Camacho, J. (2019). Modelado de cambios de cobertura y uso de suelo: un estudio de caso en el Estado de México. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*, 10(26), 1-15. Recuperado de: [http://emas.siu.buap.mx/portal_pprd/work/sites/rlac/resources/LocalContent/55/3/10\(26\)-1.pdf](http://emas.siu.buap.mx/portal_pprd/work/sites/rlac/resources/LocalContent/55/3/10(26)-1.pdf)
- Diario Oficial de la Federación (DOF) (25-06-2018). *Ley Agraria de 1992*. Recuperado de: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/13_250618.pdf.
- Díaz, S. M. (2018). Relaciones de poder en la gestión comunitaria del agua. El territorio y lo social como fuerzas de poder. Campina Grande, Brasil: EDUEPB-WATERLAT GOBACIT.
- García, J., Gutiérrez, J., Balderas, M. y Juan, J. (2018). Agroecological Traditional Peasant Knowledge in Mexico. ATINER's Conference Paper Proceedings Series. SME 2017-0037.
- García, E. (1986). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. México. México: Instituto de geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gobierno del Estado de México (GEM) (1958). Catálogo. Los Ejidos del Estado de México. México: Gobierno del Estado de México.
- González, A. (1997). La influencia de la antropología estadounidense en México: el caso de la ecología cultural. En: M. Rutsh, M. y C. Serrano (Eds.). *Ciencia en los márgenes* (pp.167-188). México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- González, A. (2007). Conversión social y cultural. De los agroecosistemas tradicionales a los alternativos en México. En: A. González, S. Del Amo y F. Gurri (Eds.). *Los nuevos caminos de la agricultura: procesos de conversión y perspectivas* (pp.59-95). México: Plaza y Valdés-Universidad Iberoamericana-PROAFT. A.C.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (2001). *Cartas topográficas. Claves: E14A58 y E14A59, escala 1:50 000*. México: INEGI.
- Juan, J. Gutiérrez, J., Franco, R., Monroy, J. Balderas, M. y Antonio, X. (2011). Grupos de ayuda mutua juvenil en la región fresera del Subtrópico mexicano: una estrategia para la subsistencia de las familias campesinas. *LEISA Revista de Agroecología*, 27(1), 12-13.

- Juan, J. (2018). Manejo del ambiente, recursos naturales y procesos agrícolas. Estrategias para el desarrollo local sustentable en una comunidad del Subtrópico Mexicano. México: Universidad Autónoma del Estado de México-Colegio de Investigadores en Ciencias de la Educación-Colegio de Ciencias Geográficas del Estado de México, A.C.
- Kaplan, D. y Manners, R. (1979). Introducción crítica a la teoría antropológica. México: Nueva alianza.
- Kropotkin, P. (2016). El apoyo mutuo: un factor en la evolución. Logroño: Pepitas de calabaza.
- Montes de Oca, A., Palerm, J., y Chávez, M. (2012). El Sistema de Riego Tepetitlán, México: mejoras en la distribución del agua a partir de la transferencia. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 3(1), 77-101. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222012000100006.
- Montes de Oca, A. y Palerm, J. (2013). Los reservorios secundarios (jagüeyes) en el sistema de riego Tepetitlán: el control local. En: J. Palerm y T. Martínez (Eds.). *Antología sobre Riego. Instituciones para la gestión del agua: vernáculos, alegales e informales*. (pp.215-233). México: Biblioteca Básica de Agricultura.
- Ocampo, I. y Escobedo, J. (2006). Conocimiento tradicional y estrategias campesinas para el manejo y conservación del agua de riego. *Ra Ximhai*, 2(2), 343-371. Recuperado de: <http://www.revistas.unam.mx/index.php/rxm/article/view/6878/6398>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (2010). El agua y la agricultura. Recuperado de: <http://www.fao.org/WorldFoodSummit/sideevents/papers/Y6899S.htm>.
- Ostrom, E. (2012). Acción colectiva, bienes comunes y múltiples métodos en la práctica. México. Distrito Federal: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Palacios, L. y Escobar, B. (2016). La sustentabilidad de la agricultura de riego ante la sobreexplotación de acuíferos. *Tecnología y ciencias del Agua*, 2(3), 5-16. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222016000200005.
- Palerm, J. (2002). *Antología sobre Pequeño Riego. Volumen III Sistemas de Riego no Convencionales*. México: Colegio de Postgrados.
- Rojas, R. T. (2009). Las obras hidráulicas en la época prehispánica y colonial. En: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). *Semblanza histórica del agua en México* (pp.7-79). México: SEMARNAT.
- Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP) (1981). *Síntesis Geográfica del Estado de México*. México: SPP.
- Steward, J. (1959). The concept and method of Cultural Ecology. *Reading in Anthropology, Volume II*. New York: Crowell.

- Steward, J. (1972). *Theory of Culture Change. The methodology of multilinear evolution*. USA: Illinois University Press.
- Toledo, V.M. (1991). *El juego de la supervivencia. Un manual para la investigación etnoecológica en Latinoamérica*. Santiago, Chile: Consorcio Latinoamericano sobre Agroecología y Desarrollo.
- Vargas, S. (2010). Aspectos socioeconómicos de la agricultura de riego en la Cuenca Lerma-Chapala. *Economía, Sociedad y Territorio*, 32(10).

La economía circular y el incremento de la oferta de agua en Acapulco

Miguel Ángel Cruz Vicente

Introducción

“La naturaleza produce el agua sin costo para el ser humano” (Bravo, 2002, p.1), es resultado de los procesos naturales que realizan los diferentes ecosistemas (terrestres, marinos o mixtos) y son presentados como servicios ambientales (soporte, provisión, regulación y culturales), los cuales son aprovechados por todos los seres vivos.

El agua *in situ* es de difícil exclusión y alta sustractabilidad (rivalidad). La alta sustractabilidad se presenta en los sistemas de recursos cuando los individuos se apropian de las unidades de recursos es decir, del sistema de recursos (cuenca hidrológica), las personas obtienen una concesión (unidad de recurso) para el aprovechamiento limitado de las aguas superficiales o subterráneas.

El agua tiene propiedades físicas y químicas particulares, las cuales la convierten en un bien indispensable para el desarrollo de la vida; sin embargo, alrededor de ella existen diferentes problemáticas por la ausencia de una buena gestión. De acuerdo con el Informe de Riesgos Mundiales 2019, emitido por el Foro Económico Mundial (WEF, por sus siglas en inglés de World Economic Forum), ubica a la crisis hídrica en la cuarta posición como uno de los diez principales riesgos en términos de impacto.

Para el estudio del agua, Wong (2004) propone la noción del desarrollo regional sustentable para abordar de forma integral su problemática, mientras que Ávila (1999) y Cruz (2011) sugieren la teoría de los sistemas complejos de Rolando García como marco epistémico para abordar de manera articulada el estudio del agua (histórico, cultural, ambiental, social, económico, tecnológico, político, entre otros aspectos).

Diversas culturas ancestrales se desarrollaron alrededor de los cuerpos de agua, como por ejemplo, en la región de Mesopotamia se ubicaron los sumerios, acadios, babilonios, asirios y persas; por otro lado, tenemos a los egipcios; los chinos; los hindúes y los aztecas; los cuales dispusieron de los recursos hídricos para su florecimiento y desarrollo; recursos hídricos que fluían (ríos) o se encontraban en reposo (lagos, lagunas).

La disposición de agua en el medio natural está en función del ciclo hidrológico. “El ciclo hidrológico es un modelo conceptual que describe el almacenamiento y movimiento del agua entre distintos puntos del planeta Tierra, entenderlo permite modelar la ubicación espacial y temporal del agua” (Tecnológico de Monterrey, 2018).

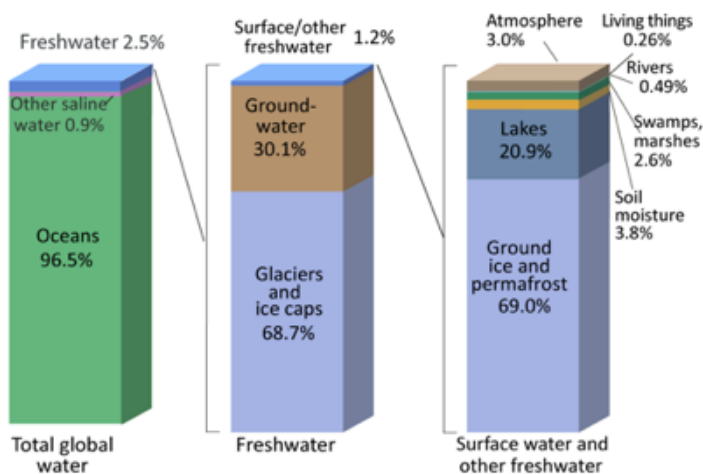
El ciclo hidrológico es un sistema cerrado y no se inicia en un lugar específico o tiene un punto de partida, implica una serie de procesos (evaporación, condensación, precipitación, infiltración y escorrentía) entre los diferentes reservorios de agua. Los océanos son los principales reservorios de agua en el planeta Tierra, ya que aproximadamente el 97 por ciento del agua se encuentra en ellos, y es donde ocurre uno de los procesos del ciclo hidrológico: la evaporación.

La precipitación es fuente principal de agua para todos los seres humanos y ecosistemas. Esta precipitación es retenida por las plantas y el suelo, se infiltra a través del suelo, se evapora y se retiene en la atmósfera mediante la evapotranspiración y condensación; y corre (escorrentía) hacia el mar a través de los ríos o hasta los lagos y humedales.

De la disponibilidad total de agua dulce que existe en el planeta Tierra (2.5%), el 68.7% se encuentra en los casquetes polares y glaciares; el 30.1% es agua subterránea (acuíferos) y el 1.2% se encuentra en otras superficies de agua dulce (ríos).

Del agua disponible para consumo humano sólo una pequeña porción se encuentra en lagos, ríos, humedales y depósitos subterráneos; cuya renovación es producto de la infiltración. “Mucha de esta agua se encuentra lejos de las zonas pobladas, lo cual dificulta su utilización; se estima que solamente el 0.77% se encuentra como agua dulce accesible al ser humano” (agua.org.mx., 2020).

Figura 1. Distribución del agua en la Tierra



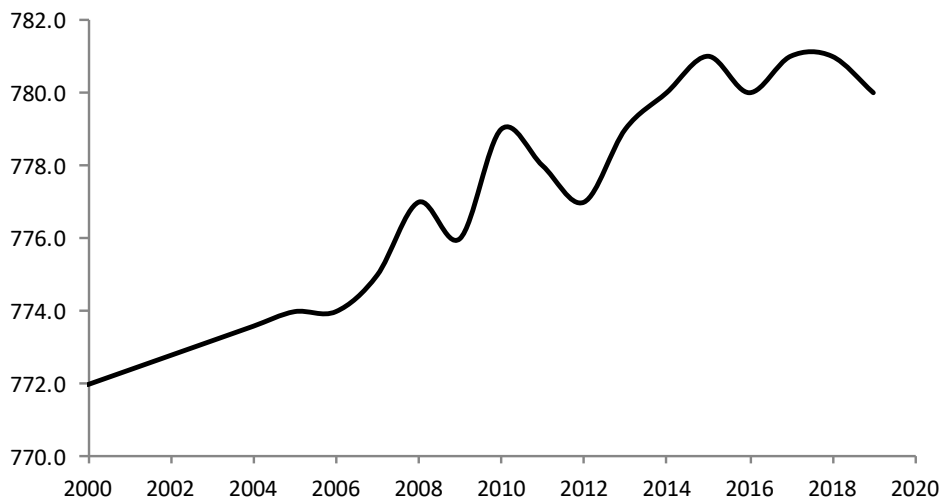
Fuente: USGS, 2020.

Disponibilidad/oferta natural de agua en México

La precipitación constituye la principal fuente de agua para todos los seres humanos (*supra*). Se presenta, principalmente, durante el verano y el resto del año es escasa; “la precipitación media anual nacional en el año 2019 fue de 780 milímetros (mm)” (Semarnat, 2020).

Una característica fundamental del recurso hídrico es su mala distribución regional en el tiempo y el espacio, ya que existen estados de la República Mexicana donde su precipitación anual se encuentra muy por debajo de la media nacional, en cambio otros alcanzan más de los 1,000 mm por año (Veracruz, Tabasco, Chiapas, por mencionar algunos).

Ilustración 1. Precipitación Media Anual Nacional (mm), 2000-2019



Nota: de 2001-2004, estimaciones a partir del promedio de incremento.

Fuente: Semarnat (2020).

La disponibilidad (oferta) de agua en México se compone por el escurrimiento superficial (cuencas hidrológicas) y el agua del subsuelo (acuíferos), elementos fundamentales para la gestión de las aguas nacionales.

- En temporada de lluvia las aguas fluyen constantemente, lo cual ha permitido la construcción de obras de infraestructura para su almacenamiento, regulación y control. Además, hay que añadir la retención que realizan los cuerpos receptores del recurso hídrico que se encuentran en reposo (lagos y lagunas). “México cuenta con 137 lagunas costeras que abarcan 1,250,000 hectáreas (has) y con lagos, lagunas y embalses de agua dulce del orden de 2,900,000 has” (Ortiz, 1997).

- El agua del subsuelo se encuentra conformada por: 1) la recarga natural y 2) la recarga inducida por la infiltración en zonas de riego.

Anualmente México recibe aproximadamente 1,449,471 millones de metros cúbicos de agua en forma de precipitación. De esta agua, se estima que el 72.1% se evapotranspira y regresa a la atmósfera, el 21.4% escurre por los ríos o arroyos y el 6.4% restante se infiltra al subsuelo de forma natural y recarga los acuíferos. Tomando en cuenta los flujos de salida (exportaciones) y de entrada (importaciones) de agua con los países vecinos, el país anualmente cuenta con 451,585 millones de metros cúbicos de agua dulce renovable (Semarnat/Conagua, 2018).

De acuerdo con la Semarnat/Conagua (2018) en México se han identificado 757 cuencas hidrológicas, las cuales están organizadas en 37 Regiones Hidrológicas (RH) y se agrupan en 13 Regiones Hidrológico-Administrativas (RHA); en lo que se refiere a las aguas subterráneas, el país se encuentra dividido en 653 acuíferos. Además, la infraestructura hidráulica con la que cuenta la República Mexicana para proporcionar el agua requerida a los diferentes usuarios es de más de 5 mil presas y bordos de almacenamiento, con una capacidad aproximada de 150 mil hm³, donde 180 presas acumulan 127,373 hm³, es decir, el 82 por ciento del almacenamiento total¹.

Disponibilidad/oferta natural de agua en Acapulco

“Acapulco siempre ha causado admiración a quienes han tenido la oportunidad de conocerlo, sus visitantes no han dudado en compararlo con la tierra prometida, un parangón al mítico Edén bíblico” (Ruz y Rodríguez, 2006, p.1). Los primeros visores de Acapulco quedaron maravillados por la forma estructural de la bahía, tal como lo indica León-Portilla (2011, p.51) al señalar que “en el año 7-Caña (1499) los guerreros de Ahuítzotl, gran señor de México-Tenochtitlan, contemplaron, victoriosos y asombrados, la tan bella como inmensa bahía de Acapulco”.

El municipio de Acapulco de Juárez forma parte de los 81 municipios que integran la división territorial y la organización política y administrativa del estado de Guerrero; “está integrado por una cabecera municipal que es la ciudad y puerto de Acapulco de Juárez, y se encuentra organizado territorialmente por 67 comisarías y 57 delegaciones municipales” (Plan Municipal de Desarrollo, 2018-2021, p.23). En el Informe Anual sobre la Situación de Pobreza y Rezago Social 2015 (Sedesol/Coneval, 2015) se identifican 234 localidades. Tiene una superficie territorial de 1,883.60 km², que representa el 2.6 por ciento de la superficie del

¹. Un hm³=1'000,000 m³.

estado y un litoral de 62 kilómetros (km), que constituye el 12.3 por ciento de la costa guerrerense.

De acuerdo a la Encuesta Intercensal 2015 realizada por Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2015), el municipio de Acapulco de Juárez contabilizó 810,669 habitantes, de los cuales el 52.4 por ciento son del sexo femenino y el resto (47.6 por ciento) son hombres. La relación hombre/mujer es de 0.908; es decir, por cada 100 mujeres existen alrededor de 91 hombres.

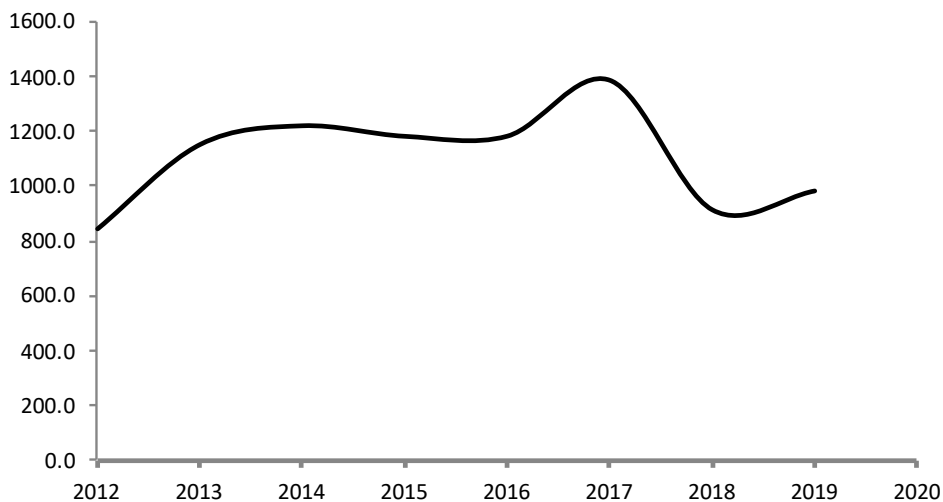
En Acapulco el agua ha jugado un papel importante en su toponimia, como se expone en la leyenda de Acatl y Quiáhuitl², de la cual se desprende su significado. La palabra Acapulco es de origen náhuatl y sus raíces son: *Acatl* (carrizo), *Poloa* (destruir o arrasar) y *Co* (lugar); es decir, “*lugar donde fueron destruidos o arrasados los carrizos*”, por esta razón el escudo del municipio está representado por dos manos que parten o destruyen un carrizo y se le agregó el término “Juárez”, en honor a Benito Juárez; decretado el 27 de junio de 1873 y signado por el entonces gobernador Diego Álvarez (Bando de Policía y Gobierno de Acapulco, 2015-2018).

Acapulco se encuentra en la vertiente del Pacífico, es una zona lluviosa, su precipitación anual es variada, su temporalidad va de los meses de mayo a octubre, con excepciones de julio y agosto cuando se presenta la canícula como una depresión de humedad y lluvias con sensación de intenso calor. Además, y derivado de la irregularidad en las precipitaciones, se acentúa un periodo de estiaje de al menos seis meses, agudizando el incremento de la temperatura y la presencia de incendios forestales.

La precipitación anual promedio varía, en su extremo sur, particularmente en el sureste, presenta 1,200 mm. En la zona centro y los extremos oeste y suroeste del territorio donde se localiza la cabecera municipal se presentan precipitaciones de 1,500 mm y, en su extremo norte, en una muy pequeña porción, se llega a presentar precipitaciones de hasta 2,000 mm (Plan Municipal de Desarrollo, 2018-2021).

². Véase: <https://www.museovirtualdeacapulco.com/cuentos-mitos-y-leyendas>. Consultado el 26/03/2020.

Ilustración 2. Precipitación pluvial en Acapulco (mm), 2012-2019



Nota: los valores para 2013, 2015 y 2018 son promedios de incremento.

Fuente: <https://www.tutiempo.net/clima/ws-768050.html>

De acuerdo con los instrumentos de planeación hidráulica, el municipio de Acapulco de Juárez se ubica en la RHA V (Pacífico-Sur), las RH 19 (Costa Grande de Guerrero) y 20 (Costa Chica de Guerrero). La RH 19 comprende 28 cuencas hidrológicas, prácticamente toda la zona oeste, suroeste y el sur del municipio de Acapulco, y es bañada por la cuenca del río Atoyac (incluido el río de La Sabana); y la RH 20 conformada por 32 cuencas, donde el río Papagayo forma parte de ella. Se identifican cuatro acuíferos: 1) El Conchero, 2) Bahía de Acapulco, 3) La Sabana y 4) Papagayo; y dos cuerpos lagunares: 1) Coyuca (compartida con el municipio de Coyuca de Benítez) y 2) Tres Palos.

Suministro de agua en Acapulco

El suministro de agua y el sistema de aguas residuales es operado por la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Acapulco (CAPAMA), así como el alcantarillado y el drenaje de la ciudad. El río Papagayo “es la fuente principal de abastecimiento de agua, tiene una longitud de 140 km, con un escurrimiento natural medio superficial de 4,333 millones de hm³/año, su área de cuenca es de 7,554 km²” (Semarnat/Conagua, 2018, p.45).

Las aguas suministradas para Acapulco, por el río Papagayo, provienen de dos fuentes de abastecimiento: 1) superficial (sistema Papagayo II) y 2) subterránea (Papagayo I y Acueducto Lomas de Chapultepec).

La capacidad total de explotación del sistema Papagayo I es de 1,230 litros por segundo (lps), siendo su agua de buena calidad, ya que solo requiere cloración para su distribución. La zona que abastece este subsistema es la zona baja, identificada como la de mayor actividad turística. El sistema Papagayo II está constituido por una toma directa del río, presenta problemas de turbiedad y azolvamientos que hacen que esta agua deba ser tratada en una planta potabilizadora. Mediante el sistema Papagayo II es posible captar hasta 2,000 lps, y abastece las zonas alta y media del sistema de distribución, las cuales están comprendidas entre las cotas 275 a 100 y 100 a 50 metros sobre el nivel del mar (msnm) (Capama, 2016).

El Acueducto Lomas de Chapultepec aporta 1,500 lps, “fomentará el desarrollo turístico y urbano en Barra Vieja y Punta Diamante. Permitirá liberar caudales del sistema Papagayo I y II, y se beneficiaran las zonas de Renacimiento y Zapata” (Conagua, 2015, p.60).

De los 1,230 lps del acueducto Papagayo I, se utilizan 980 lps (79.7%) y del caudal del Papagayo II, solamente llegan a la planta potabilizadora 1,695 lps (84.8%) por fugas, tomas clandestinas y toleradas. Lo anterior implica una pérdida en la conducción de 555 lps, equivalente al 17.2% de la producción en estos dos sistemas de abastecimiento. Además, del agua que llega a la planta potabilizadora se pierden 115 lps por el proceso de retrolavado de filtros. En las líneas primarias y secundarias de distribución se pierden 1,241 lps debido a fugas en el sistema, por tanto, las pérdidas físicas de agua en el sistema son de 1,911 lps, que equivale al 59.2% de la producción total de agua (Programa Municipal de Turismo, 2009-2012).

Existe otro sistema que abastece de agua a la zona rural de Acapulco y es el acueducto El Chorro⁴, el cual aprovecha caudales de manantiales ubicados en el municipio de Coyuca de Benítez. “El agua captada es conducida, almacenada y distribuida mediante la infraestructura del organismo operador” (Capama, 2016). Además, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 2008) identificó 23 sistemas conformados por pozos profundos localizados en la zona conurbada y rural, todos ellos abastecen a las localidades donde se ubican y no aportan agua a la zona urbana de Acapulco.

De acuerdo con los datos disponibles en INEGI (2016), la disponibilidad de servicios en la vivienda de agua entubada era del 65.1 por ciento. “La red de abastecimiento tiene una extensión de 1,062 km y están conectados 177,237 consu-

³. Véase: <http://www.capaseg.gob.mx/?Id=94>. Consultado el 08/03/2020.

⁴ Sistema hidráulico que abasteció a Acapulco hasta los años 90. Por el alto costo que representa la rehabilitación, Capama da el mantenimiento para que solo fluya el agua para las comunidades más próximas. El sistema no abastece de agua a Acapulco (Nava, 2014).

midores registrados, en promedio la red deja de suministrar servicio a los usuarios durante 2,920 horas cada año” (Sener/Banco Mundial, 2016, p.38-40).

La información publicada en Semarnat/Conagua (2014), señala que el caudal producido de agua fue de 3,150 l/s, con una dotación media de 395 l/h/d. El sistema opera con un 33 por ciento de pérdidas técnicas; es decir, de los 100 litros de agua producidos sólo 66 llegan al usuario final; además, el 60 por ciento del agua potable la consume el sector residencial y el 40 por ciento el sector comercial; del total de las tomas de agua conectadas a la red de distribución municipal el 60 por ciento corresponde al servicio tandeado, un 30 por ciento para servicio continuo y el 10 por ciento no cuentan con servicio de agua potable (Sener/Banco Mundial, 2016).

En Acapulco sólo el 11.4% de las viviendas no disponían de agua entubada y 9.9% de las viviendas no tenían drenaje. La provisión del servicio de agua potable sigue siendo deficiente con base con los datos registrados en el Sistema de Indicadores del Municipio de Acapulco, en el año 2013 los predios que tenían un servicio de 8 horas o menos representaban el 10%, comparado con el año 2018, durante el cual los predios con este servicio representaron el 25%. Al primer semestre del 2018 los predios registrados con servicio de 24 horas representaron el 25%; los predios con servicio de 16 a 23 horas representaron el 20%; los predios registrados con servicios de 8 a 15 horas el 30% y los predios con servicio de 8 horas o menos el 25% (Plan Municipal de Desarrollo, 2018-2021, p.45).

Otra forma de suministrar agua a la población que habita en colonias que no cuentan con infraestructura hidráulica es por medio de camiones cisterna (pipas) de manera gratuita, “a los cuales se les han otorgado 11,060 servicios en las colonias Emiliano Zapata, El Coloso, Farallón y la zona Poniente, beneficiando a un promedio de 40,000 familias” (Román, A., 1er Informe de Gobierno, 2018-2021, p.35).

“La falta de acceso a agua potable puede agravar las condiciones de salud de las personas, e implicar altos costos, cargas y riesgos sanitarios” (ONU/Hábitat, 2018, p.50); propiciando la aparición de enfermedades de origen hídrico (transmitidas por el agua, originadas en el agua, relacionadas con el agua y vinculadas a la escasez de agua), mermando la calidad de vida de la población (desarrollo social).

El paradigma de la economía circular

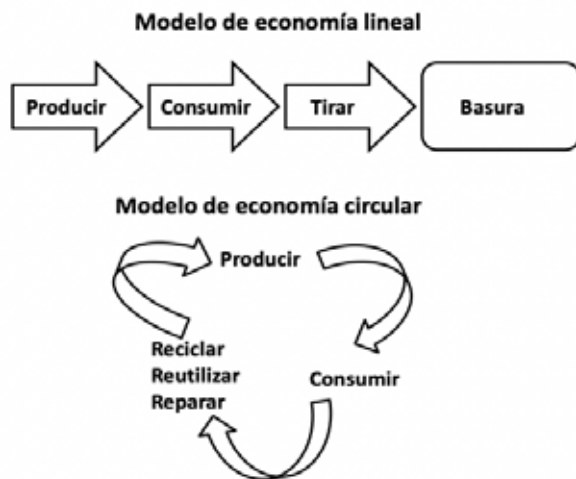
Haciendo un símil de Hidalgo (2004, p.175) cuando propone la definición de desarrollo, se plantea el enunciado siguiente: *basta con añadir un adjetivo a la economía para que surjan diferentes propuestas teóricas y metodológicas, acompañadas por una gran cantidad de bibliografía*; tal es el caso de la economía circular. De acuerdo con Kirchherr, Reike & Hekkert (2017, p.221) “la economía circular es tendencia por el rápido crecimiento de los artículos publicados (más de 100 artículos sobre el tema en 2016, en comparación con 30 artículos en 2014)”. Reikea, Vermeulena, & Witjesb (2018, p.246) señalan que “el primer artículo sobre la economía circu-

lar se registró en 2007. Además, se han publicado informes sectoriales por grupos empresariales trasnacionales”.

El paradigma de la economía circular es presentado como una alternativa al sistema económico actual basado en un modelo de economía lineal (extraer, producir, desechar). En el modelo de economía lineal las empresas fabrican productos y los consumidores los utilizan y eliminan, se supone que los recursos son abundantes, están disponibles y son fáciles de eliminar. Además, el modelo incurre en pérdidas innecesarias de recursos, entre los que resaltan: la producción de grandes cantidades de residuos al final de la vida útil del producto, uso excesivo de energía (agua y electricidad) y erosión en los ecosistemas (deterioro).

Ante esta situación de agotamiento de recursos se plantea un nuevo modelo económico, donde el valor de los productos, los materiales y los recursos se mantienen dentro de los procesos económicos durante el mayor tiempo posible, reduciendo al mínimo la generación de residuos; es decir, a una economía circular.

Figura 2. Comparativo entre economía lineal y circular



Fuente: Cruz, Agatón y Añorve (2018).

La economía circular es un sistema industrial restaurativo o regenerativo por intención y por diseño, que propone rediseñar productos, modelos de negocios y patrones de producción de manera que se eliminen todos los residuos (cero-residuos) de manera sistemática; representa un nuevo modelo económico, el cual, basándose en la economía ambiental, disminuye el impacto de las externalidades. Propone que los precios de mercado reflejen todos los costos de producción, recuperación ambiental, inclusión social y disminución de la brecha económica-social incurridos en la creación de productos y servicios (Scheel y Aguiñaga, 2017, p.9).

La economía circular es una nueva forma de ver las relaciones entre mercados, clientes y recursos naturales.

Supone un cambio radical de los sistemas de producción y consumo, trata de desvincular el desarrollo económico global del consumo de recursos finitos; plantea dos metabolismos: 1) biológico y 2) técnico; que se basan en la restauración y regeneración a través del diseño; con la finalidad de que los productos, componentes y recursos mantengan su utilidad y valor en todo momento (Lobato, 2017, p.38-39).

Aunque la economía circular no se remonta a una fecha o autor específico, Ghisellini, Cialani & Ulgiati (2016) y Piedra & Rosales (2019) señalan al economista ecológico Kenneth Boulding como precursor de la economía circular. La idea que tenía Boulding de la economía era la de un sistema circular cerrado como requisito previo para el mantenimiento de la sostenibilidad de la vida humana en la Tierra (un sistema cerrado donde no existe ningún intercambio de materia con el exterior).

El modelo de economía circular sintetiza varias escuelas de pensamiento, entre las que se encuentran: Diseño regenerativo de John T. Lyle; Economía del rendimiento de Walter Stahel y Genevieve Reday; De la cuna a la cuna (*cradle to cradle*) de Michael Braungart y Bill McDonough; Ecología industrial de Roland Clift y Julian Allwood; Biomímesis de Janine Benyus; Economía azul de Gunter Pauli; Capitalismo natural de Paul Hawken, Amory Lovins y L. Hunter Lovins. (Ellen MacArthur Foundation, 2017).

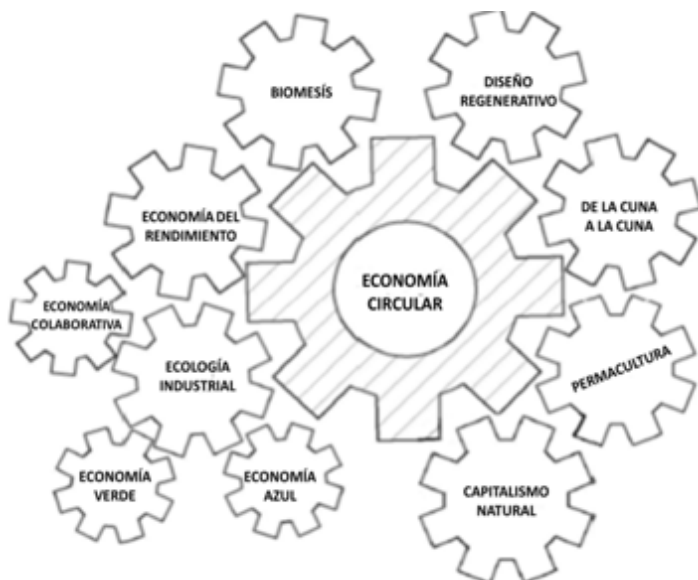
A las escuelas de pensamiento anteriores, Lobato (2019) adiciona, para el estudio de la economía circular, a la Permacultura de Bill Mollison y David Holmgren; la Economía verde impulsada por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Economía colaborativa con sus seis bloques: 1) consumo colaborativo, 2) producción colaborativa, 3) conocimiento colaborativo y abierto, 4) financiamiento colaborativo, 5) gobierno abierto y organización horizontal y 6) sistemas de intercambio de valor.

Para Amato (2019, p.12), “la economía circular es un flujo de materiales en bucle cerrado en todo el sistema económico en asociación con los llamados principios de las 3R (Reducir, Reciclar y Reutilizar)”. La Fundación Ellen McArthur (WEF, 2018) plantea tres principios que caracterizan a la economía circular:

1. Conservación del valor: mantener el mayor valor posible de los materiales en los procesos de producción y los productos finales. Esto implica la reutilización, la remanufactura, la restauración, la reparación y la reutilización de componentes, la extensión de la vida útil del producto y la extensión del valor del producto.
2. Optimización de recursos: implica un uso limitado, eficiente y reducido de los recursos primarios combinado con una mejor recolección de desechos, reciclaje de recursos, recuperación de energía y uso de fuentes de energía renovables.

3. Efectividad del sistema: implica minimizar las fugas sistemáticas de lo que es útil para los humanos (alimentos, vivienda, salud, educación) durante el ciclo de producción/consumo y abordar las externalidades (uso del suelo, contaminación del aire, agua y ruido, cambio climático).

Figura 3. Escuelas del pensamiento de la economía circular



Fuente: Cruz, Agatón y Añorve (2018).

Adicionalmente, “añade siete principios que Ámsterdam (Holanda) ha seguido en su transición hacia una economía circular” (*ibidem*, p.10), los cuales son: 1) Bucle cerrado, 2) Reducción de emisiones, 3) Generación de valor, 4) Diseño modular, 5) Modelos de negocio innovadores, 6) Logística inversa orientada a la región y 7) Mejoramiento de sistemas naturales.

Además, Reikea, Vermeulena, & Witjesb (2018) señalan que la economía circular presenta tres fases evolutivas:

1. Economía circular 1.0, que va de 1970 a 1990 y se refiere a la implementación de políticas de control y la proliferación de los movimientos ambientales, donde el concepto de las 3R (Reducir, Reutilizar y Reciclar) llamó poderosamente la atención. La mayoría de las medidas de control en esta fase estaban centradas por el lado de la producción, los desechos no se evitan, pero la contaminación se limita a través de principios como “quien contamina paga”.
2. Economía circular 2.0, a partir de 1990 y hasta 2010. En esta fase

existía mayor integración entre las medidas preventivas y las de producción. Se promovía la idea de ganar-ganar entre el medio ambiente y la actividad empresarial, bajo el lema “la prevención de la contaminación paga” y se da paso a la ecoeficiencia.

3. Economía circular 3.0, a partir de 2010, su característica principal es la maximización de la retención de valor de los recursos en la era del agotamiento.

En una economía circular en lugar de materiales que están siendo desechados, después de su uso, se reparan y se reutilizan, o se reciclan como materias primas para nuevos productos (ilustración 1). Es decir, los factores principales que hacen que este sistema funcione es el uso de productos de desecho procedentes de procesos industriales como insumos para la realización de otros o el cambio de los combustibles fósiles a energías renovables; se reduciría la presión sobre los recursos naturales y se contribuiría al crecimiento económico sostenible. Sus defensores insisten en que no se debe considerar como un movimiento ecológico, sino como una forma distinta de pensar: *una filosofía del diseño*.

El concepto de la economía circular es fácil de comprender: la economía utiliza recursos extraídos del medio natural (combustibles fósiles, minerales, productos forestales y agua), ya utilizados (y antes de regresar estos recursos como productos empleados o como emisiones que contribuyen a la contaminación) son “regenerados” para volverse a reutilizar; el objetivo es que el valor de los productos, los materiales y los recursos se mantengan en la economía durante el mayor tiempo posible, y que se reduzca al mínimo la generación de residuos; es decir, la economía circular se interrelaciona con la sustentabilidad. Se trata de implementar una nueva economía (circular, no lineal), basada en el principio de “cerrar el ciclo de vida” de los productos, los servicios, los residuos, los materiales, la energía y el agua.

La transición hacia la economía circular significa aumentar el reciclaje y la prevención de la pérdida de materiales valiosos, la creación de empleo y el crecimiento económico, mostrando de cómo los nuevos modelos de negocio, eco-diseños y la simbiosis industrial pueden alcanzar cero residuos y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y la degradación del medio ambiente.

Economía circular y agua

El agua se encuentra en el corazón de la economía circular, es un recurso renovable, escaso, “distribuido de manera desigual en el tiempo y el espacio, su disponibilidad se encuentra limitada por las presiones ejercidas al sistema hidrológico que aumentan al ritmo del crecimiento económico y demográfico, lo que provoca una disminución en la cantidad disponible” (Cruz, Agatón y Añorve, 2018, p.489); “provocando con ello poblaciones vulnerables al agua, la cual se debe no sólo a los cambios ambientales

sino también al crecimiento de la demanda, al deterioro de las áreas de captación y a la reducción del agua aprovechable” (UNAM, 2016); traducido en sociedades con una alta inseguridad hídrica.

La seguridad hídrica se define como la provisión confiable de agua cuantitativa y cualitativamente aceptable para la salud, la producción de bienes y servicios y los medios de subsistencia, junto con un nivel aceptable de riesgos relacionados con el agua. Para alcanzar la seguridad hídrica, es necesario invertir en infraestructura para almacenar y transportar el agua, y para tratar y reutilizar las aguas residuales (Sadoff y Muller, 2010, p.14).

Existe una crisis mundial por el agua, donde algunos organismos internacionales sugieren que en la planificación económica se le considere como un capital natural no renovable, que se puede agotar como consecuencia de la explotación excesiva de los acuíferos y de la contaminación de las fuentes superficiales.

El Informe de Riesgos Mundiales 2019, emitido por el Foro Económico Mundial, la ubica en la cuarta posición como uno de los diez principales riesgos en términos de impacto. En la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible que contempla 17 objetivos, destaca el Objetivo 6 (seis) que sugiere: garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.

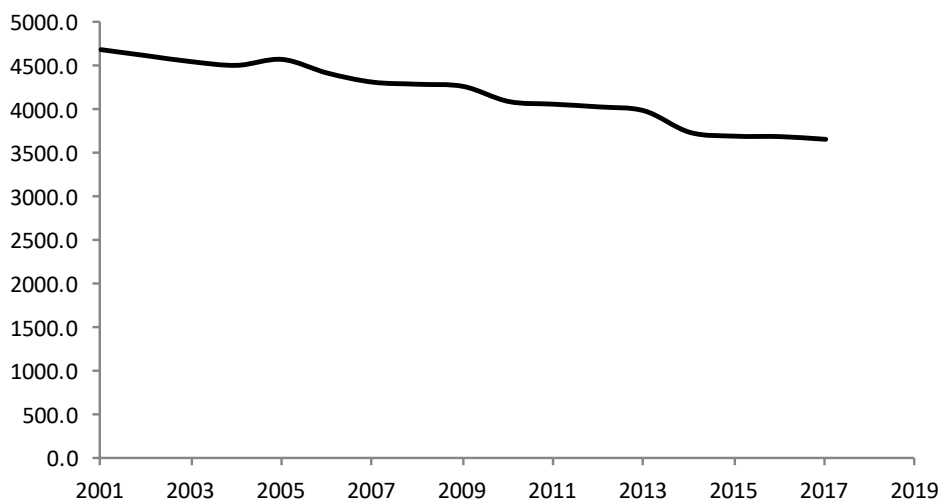
La escasez de agua afecta a todos los continentes y a cuatro de cada diez personas en el mundo. La situación empeora por el crecimiento de la población, el desarrollo urbano y el aumento del uso del agua con fines industriales y domésticos. En 2025, cerca de 2,000 millones de personas vivirán en países o en regiones donde la escasez de agua será absoluta y los recursos hídricos por persona estarán por debajo de los 500 metros cúbicos anuales recomendados, cantidad de agua que necesita una persona para llevar una vida sana e higiénica (Organización Mundial de la Salud, 2020).

Aunado a lo anterior y de acuerdo con Saldívar (2007), “la mayoría de los tres mil millones de seres que se agregarán a la población a mediados del siglo XXI nacerán en países que ya padecen escasez de agua” (p.17). Es decir, “para el año 2030, casi la mitad de la población mundial vivirá con estrés hídrico” (Veolia, 2014, p.3) y “se estima que para el año 2050 este estrés hídrico abarque al 60 por ciento de la población que habita en el planeta Tierra” (Carabias *et al.*, 2005, p.17).

En México las cifras no son tan favorables, ya que existe una tendencia negativa en la disponibilidad media per cápita de agua, en el año 2017 fue de 3,656 m³/hab/año. Se estima que para 2030, con el aumento de la población y el deterioro de los cuerpos de agua descenderá hasta 3,430 m³/hab/año; además, en algunas de las RHA, el agua renovable per cápita alcanzará niveles cercanos o incluso inferiores a los 1,000 m³/hab/año, lo que se califica como una condición de escasez (agua.org.mx, 2020). Con estos pronósticos no tan optimistas sobre la disponibilidad de agua, es necesario reconsiderar el enfoque tradicional sobre el consumo de agua, adoptando

estrategias que posibiliten que el recurso hídrico sea reutilizado lo más posible, generando normas eficientes para su gestión.

Ilustración 3. Agua renovable per cápita en México, 2001-2017 (m³/hab/año)



Nota: los valores para 2002 y 2011 son promedios aritméticos.
Fuente: Semarnat/Conagua, Estadísticas del Agua en México. Varios tomos.

La necesidad de un cambio de paradigma en el sector agua —pasando de patrones lineales tradicionales de consumo de agua (tomar, utilizar, desechar) a un enfoque de economía circular en que las aguas residuales ya no son vistas como desechos, sino como un recurso valioso en el contexto de escasez de agua— es especialmente importante; dado que el agua es el recurso más escaso en el mundo y existe abundancia de aguas residuales, es inevitable la reutilización o intercambio de las últimas (Saltiel, 2016).

Tabla 1. Aplicación de los enfoques de la economía circular en torno a los recursos hídricos

Enfoque	Aplicación de los recursos hídricos
Ecología Industrial	<ul style="list-style-type: none"> • Intercambio de aguas residuales entre distintos sectores para uso industrial. • Da un nuevo uso a las aguas residuales. • Creación de parques eco-industriales para favorecer las sinergias entre organizaciones.
<i>Cradle to Cradle</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Reutilización de las aguas residuales y sus subproductos para la producción de bienes y servicios. • Prevención de la contaminación de los cuerpos de agua (fuentes receptoras de aguas residuales).

<i>Performance Economy</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de la huella hídrica de las industrias mediante el uso eficiente del agua y la energía. • El agua como recurso para generar bienes y energía.
Biomimétrica	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnologías y biotecnologías para el tratamiento del agua. • Producción de energía limpia. • Restauración y conservación de los ecosistemas acuáticos.
Economía Azul	<ul style="list-style-type: none"> • Innovación para reducir el consumo de agua en la producción de nuevos bienes. • Prevención de la degradación y restauración de los ecosistemas marinos, utilizando los residuos para la producción de nuevos bienes. • Generación de un desarrollo sustentable en torno a las regiones costeras.

Fuente: Piedra y Rosales (2019, p.12).

La economía circular y la oferta inducida de agua en Acapulco⁵

El cambio de paradigma dentro del sector del agua es pasar del patrón lineal de consumo de agua a un enfoque circular; es decir, a la captación, depuración y reutilización de las aguas residuales en actividades donde no se requiere agua de primera calidad.

Figura 4. Reutilización de aguas residuales en la economía circular



Fuente: Saltiel, 2016.

⁵ Se retoman algunas ideas desarrolladas en Cruz (2017), en el apartado V.2. El agua turística en la economía circular.

Las aguas residuales son un recurso insuficientemente explotado y recuperado, una gestión óptima de estas puede ayudar a incrementar su eficiencia en el uso de los recursos naturales y favorecería a la economía circular, se debe tener un “bucle cerrado” en condiciones de descarga de cero-líquido y volverla a utilizar tanto como sea posible, dando una segunda vida al agua.

La promoción del reciclaje del agua se debe realizar mediante normas que protejan los riesgos para la salud y el medio ambiente, con la finalidad de lograr el desarrollo sustentable en el sector agua y el intercambio de agua de primer uso por agua regenerada.

Israel, ocupa el primer lugar en la reutilización de las aguas residuales en el mundo, recicla cerca del 75% del total de las aguas residuales, en comparación con España (segundo lugar) y EE.UU., que reciclan alrededor del 12% y el 6%, respectivamente. Además, la reutilización de las aguas residuales aborda la escasez al brindar la oportunidad de revertir la situación y generar abundancia; entre los posibles beneficios de una economía circular en el sector del agua se encontraría también la potencial reducción rápida de los mayores costos de limpieza debido a los niveles limitados de sustancias nocivas que se agregarían al suministro de agua (Saltiel, 2016).

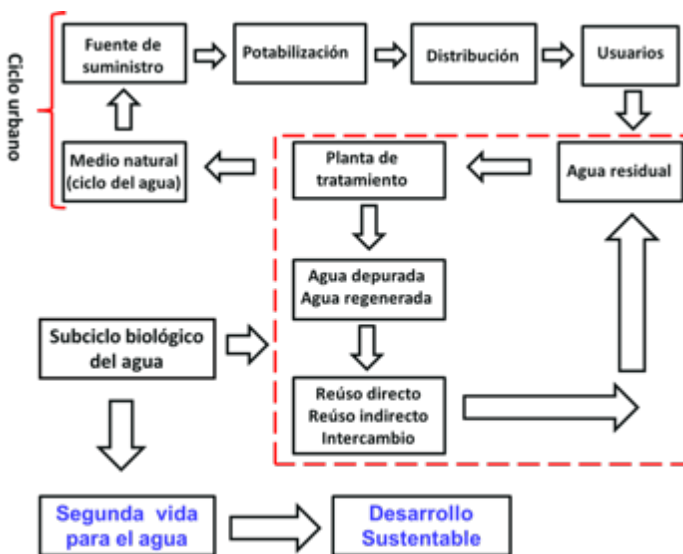
Para el desarrollo de la economía circular en el sector agua es necesario identificar el ciclo natural, el ciclo urbano y el subciclo biológico del agua como parte del ciclo urbano. Cuando el ser humano interviene en el ciclo natural se genera el ciclo urbano del agua, el cual abarca todos los procesos desde la captación hasta su devolución a la naturaleza. Dentro del ciclo urbano se identifica el subciclo biológico, el cual corresponde al bucle cerrado, ya que se capturan las aguas residuales, las cuales son tratadas y regeneradas para su reutilización, que son elementos indispensables para la implementación y desarrollo de la economía circular (ilustración cuatro).

El subciclo biológico es el alma de la economía circular, donde la reutilización de las aguas generadas (reúso directo, indirecto o intercambio de agua) conllevaría a lograr el desarrollo sustentable del agua⁶:

- Sustentabilidad social: se transfiere agua entre diferentes sectores usuarios, prevaleciendo el consumo humano, que requiere agua de primer uso (derecho humano al agua).
- Sustentabilidad ambiental: disminución de la demanda de agua de la fuente principal de suministro, se manejaría el agua desde la cuenca hidrológica (Gestión Integral de los Recursos Hidráulicos).
- Sustentabilidad económica: utilización del agua regenerada para diferentes usos, en función de la principal actividad económica.

⁶. Véase: Cruz (2017, p.151).

Figura 5. Ciclo de la economía circular en el sector agua



Fuente: elaborada a partir de Cruz, 2017.

Para lograrlo se requieren políticas públicas que promuevan un mayor uso de los sistemas colectivos de evacuación y tratamiento de las aguas residuales; ya que es necesaria una infraestructura que permita una depuración y regeneración del recurso hídrico que podría ser reutilizada o intercambiada entre diferentes sectores, para ello se necesita:

- La ampliación de los sistemas de saneamiento y tratamiento de aguas residuales.
- La reutilización e intercambio de aguas residuales tratadas.
- La transferencia de agua liberada entre sectores usuarios.

Estas condiciones permitirían otorgarle una segunda vida al agua, convirtiéndose en el pilar de la economía circular; implicando una huella hídrica igual a cero (dixit Arjen Hoekstra⁷); respondiendo al planeamiento realizado por la Semarnat/Conagua (2011) en la Agenda del Agua 2030 en dos de sus estrategias: 1) todas las aguas municipales (urbanas) tratadas y 2) todas las aguas industriales tratadas.

Los sistemas de tratamiento serían la herramienta fundamental utilizada dentro de las acciones para controlar la contaminación del agua, ya que a través de ellos se mejoraría la calidad de las aguas residuales, proporcionando la posibili-

⁷. Postuló el concepto de huella hídrica en 2002.

dad de su reúso; ya que **la reutilización del agua juega un papel relevante y es, sin duda, parte de la solución hacia un modelo de utilización de agua sostenible (dixit Coral Robles).**

Las aguas residuales se dividen en: agua gris y agua negra. Las aguas grises son todas aquellas que fueron utilizadas en las duchas, bañeras y lavabos; mientras que las aguas negras se encuentran contaminadas con heces fecales y proceden de los desechos orgánicos (personas y animales); las cuales son vertidas en el sistema de alcantarillado. En el sistema de alcantarillado se combina con el agua pluvial (en épocas de lluvia). Los sistemas de alcantarillado que transportan descargas de aguas residuales y aguas de lluvia (precipitación) son llamados sistemas combinados.

En Estados Unidos, Canadá, Reino Unido y Argentina, por mencionar algunos países, la construcción de sistemas de alcantarillas combinadas es menos común; ya que el agua residual y el agua de lluvia son recolectadas y transportadas por separado, la finalidad es disminuir los costos de tratamiento de las aguas para su reúso (desarrollo económico), la transferencia de caudales entre sectores usuarios mejorando la calidad de vida de la población asegurando su derecho al agua (desarrollo social) y disminuir la demanda de agua al medio natural (desarrollo ambiental); es decir, tener un manejo sustentable del agua (supra).

Aquí, la cuestión es el cómo impulsar una estrategia que coloque el manejo del agua residual en Acapulco a la par de los países ya citados, en donde el reciclaje o tratamiento de las aguas residuales (grises, lluvia y negra) permite utilizarla para usos en los que no es necesaria el agua de primer uso a partir de que:

- El agua gris mediante un proceso de purificación queda totalmente higienizada y puede reutilizarse para **usos de la casa en los que no se requiere de agua potable**; por ejemplo, en: inodoros, riego, lavadoras o limpieza de suelos o vehículos.
- El agua de lluvia arrastra varios contaminantes (partículas del suelo, metales pesados, compuestos orgánicos, basura animal, aceites y grasa) y requiere recibir algunos niveles de tratamiento antes de ser descargada al ambiente.
- Mientras que el tratamiento de las aguas negras es más complejo, ya que consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos; que tiene como fin eliminar los contaminantes vertidos en el agua por el uso humano.

Sobre la reutilización existen varias experiencias, por ejemplo: en Alicante (España) el 80 por ciento de las zonas verdes se riegan con agua reutilizada, o en algunas empresas utilizan agua reciclada en sus procesos productivos, es un insumo; “otras industrias (autoabastecidas) utilizan el agua directamente de los ríos, arroyos, lagos y acuíferos del país” (INEGI, 2020), generando externalidades negativas.

“En 2018 estaban registradas en México 2,540 Plantas Tratadoras de Aguas Residuales (PTAR), con una capacidad de 181,152.22 l/s y un caudal tratado de 137,698.61 l/s, que permitieron una cobertura nacional de tratamiento de aguas del 64%” (Semarnat/Conagua, 2019, p.73). En el estado de Guerrero se identifican 67 PTAR con una capacidad instalada de 4,428.3 l/s y un caudal tratado de 3,755.5 l/s. Sin embargo, existen discrepancias entre el número de PTAR y el volumen de agua residual tratada entre la Comisión de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento del Estado de Guerrero (Capaseg) y la Conagua; ya que se contradicen entre el número de plantas tratadoras existentes y cuántas funcionan (Amapola, 2019).

Estas controversias sobre la información también se hacen presentes en el municipio de Acapulco, “de acuerdo al Plan Municipal de Desarrollo 2018-2021, se generan 56.6 millones de metros cúbicos de aguas residuales, de las cuales sólo tratan el 90% y para su tratamiento se cuenta con 15 plantas” (p.45); en Sener/Banco Mundial (2016, p.40), “la cantidad de agua residual generada por año es de 63’977,281 m³ de la cual el 89.69 por ciento es tratada en 11 plantas de rebombeo de aguas negras y 19 plantas de tratamiento de aguas negras”. Además, el portal agua.org.mx vía la Plataforma Nacional de Transparencia obtuvo información de un inventario que contiene las PTAR por estado, municipio, localidad y nombre de las PTAR que operaron en México durante 2016. Para el municipio de Acapulco se registran 19 PTAR, de las cuales solo 18 están en operación, con un caudal tratado de 2,227 l/s. En ONU/Habitat (2018) se indica que el tratamiento de aguas residuales es de 63.64%, y se considera como un indicador moderado. Por último, en Semarnat/Conagua (2019: p.130), “se tienen registradas 18 PTAR”, y de acuerdo al portal Planetab (2019), “solo 6 de las 19 plantas de tratamiento de aguas negras del municipio no están operando”.

Tabla 2. Plantas Tratadoras de Agua Potable en Acapulco, 2019

	(l/s)	(l/s)	capacidad instalada	
1	1,350.0	1,350.0	100.0	Playa Olvidada
2	90.0	85.0	94.4	Infiltración superficial, riego de campos de golf en temporada de estiaje
3	40.0	35.0	87.5	Infiltración superficial, riego de campos de golf en temporada de estiaje
4	25.0	20.0	80.0	Playa Olvidada (Océano Pacífico)
5	15.0	13.0	86.7	Infiltración superficial, riego de campos de golf en temporada de estiaje
6	18.0	15.0	83.3	Áreas verdes (canal meándrico de la Laguna de Puerto Marques)
7	20.0	17.0	85.0	Áreas verdes (canal meándrico de la Laguna de Puerto Marques)
8	50.0	48.0	96.0	Inyección al subsuelo (canal meándrico de la Laguna de Puerto Marques)
9	25.0	24.0	96.0	Rio la Sabana
10	50.0	48.0	96.0	Océano Pacífico
11	10.0	9.0	90.0	Laguna Negra
12	475.0	450.0	94.7	Rio la Sabana
13	18.0	15.0	83.3	Áreas verdes (canal meándrico de la Laguna de Puerto Marques)
14	40.0	37.0	92.5	Infiltración superficial, riego de campos de golf en temporada de estiaje
15	14.0	13.0	92.9	Laguna de Tres Palos
16	20.0	18.0	90.0	Rio la Sabana
17	25.0	20.0	80.0	Rio la Sabana
18	12.5	10.0	80.0	Arroyo Xallianguis
Total	2,297.5	2,227.0	89.4	

Fuente: Semarnat/Conagua (2019, p.130).

En el municipio de Acapulco, y de acuerdo con la información de Semarnat/Conagua (2019), funcionaban 18 plantas tratadoras de aguas residuales, en promedio, el caudal tratado (l/s) representó el 89.4 por ciento de la capacidad instalada (l/s). Todas las plantas operan bajo el sistema de lodos activados⁸ y diferentes fuentes de disposición (cuerpo receptor o reúso).

Se han coordinado y realizado esfuerzos entre los tres niveles de gobierno para el óptimo funcionamiento de las PTAR en Acapulco, dos han sido los programas más sobresalientes:

- El Programa para el Saneamiento Integral de la Bahía de Acapulco (PROSIBA). El programa tenía como objetivo rehabilitar y ampliar las plantas de tratamiento de aguas residuales e incorporar infraestructura complementaria para la captación, conducción y bombeo de las aguas residuales, para contribuir al saneamiento de la Bahía de Acapulco. Los recursos servirían para el desazolve de ríos y arroyos, reforzamiento de las líneas de recolección y conducción de aguas residuales y construcción de nuevos subcolectores y colectores en zonas de crecimiento, así como de sistemas de bombeo. Con este programa se evitarían las descargas a la Bahía de Acapulco, y con ello se reducirá la incidencia de enfermedades de origen hídrico en la población.
- El Proyecto de Suministro de Agua Potable y Saneamiento de las Zonas Marginadas del Valle de La Sabana en el estado de Guerrero. El proyecto tenía un objetivo general, un específico y seis componentes. El objetivo específico señalaba que se mejorarían y ampliarían los servicios de agua potable, alcantarillado, drenaje pluvial, así como el tratamiento de aguas residuales del valle de La Sabana; y sobre el tema de las aguas residuales se consideraba la ampliación de la planta de tratamiento de Paso Limonero. Con el proyecto se contribuiría a la rehabilitación y cambio de proceso de físico-químico a biológico de la planta de tratamiento de aguas residuales “Aguas Blancas”. Además, se realizarían los ajustes necesarios a la planta de tratamiento de Aguas Blancas para poder utilizar el efluente en el riego de áreas verdes del parque Papagayo. El reúso de esta agua evitaría la descarga directa del efluente al mar y “liberará” agua del sistema, quedando ésta disponible para mejorar el abastecimiento de los y las habitantes del valle de La Sabana. (Aecid, *et al.*, s/e)

⁸ El proceso de lodos activados tiene como objetivo remover la materia orgánica de las aguas residuales.

Además, se debe adicionar la reciente gestoría que se realizó en el Décimo Foro Urbano Mundial (2020), organizado y convocado por ONU-Habitat, donde las autoridades municipales presentaron, ante inversionistas especializados en sustentabilidad, el proyecto “Energía Solar para el Saneamiento de Agua en la Ciudad de Acapulco”. El proyecto, de acuerdo con sus expositores, es de gran importancia para el saneamiento de la bahía, ríos y lagunas, consiste en la rehabilitación de quince PTAR y la construcción de una granja solar. La granja solar abastecerá de energía eléctrica al sistema de agua potable en lo que respecta a la captación, conducción, distribución y tratamiento, así como a las oficinas del organismo operador. El proyecto suma un monto total de inversión de mil 590 millones de pesos y operará bajo el esquema App (Asociación público-privado); el objetivo es crear la primera agencia local de agua sustentable a través de energía solar, que permita operar con finanzas sanas, no afectar el medio ambiente a través de los cuerpos de agua receptores, en congruencia con los objetivos de desarrollo sostenible de la agenda 2030 de las Naciones Unidas (H. Ayuntamiento, 2020).

De estos tres proyectos solamente el que se refiere al suministro de agua potable y saneamiento de las zonas marginadas del valle de La Sabana consideraba el reúso de las aguas tratadas en el riego de áreas verdes del parque Papagayo, evitando la descarga directa al mar y liberar agua del sistema de suministro, quedando ésta disponible para mejorar el abastecimiento de los habitantes del valle de La Sabana.

En Semarnat/Conagua (2016) se enlistan los posibles reúsos, sin embargo, para poder darle una segunda vida al agua es necesario cumplir con las normas preestablecidas por las autoridades correspondientes:

1. NOM-003-SEMARNAT-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.
2. NOM-014-CONAGUA-2003, requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada.

Tabla 3. Clasificaciones de reúso

Actividad	Uso
1. Agrícola	a) Productos que se consumen crudos. b) Productos que se consumen cocidos o procesados.
2. Industrial	a) Enfriamiento. b) Procesos. c) Servicios.
3. Recreativos	a) Con contacto directo. b) Sin contacto directo.
4. Municipal	a) Riego de áreas verdes. b) Limpieza de calles e hidrantes. c) Limpieza y áreas verdes.
5. Acuicultura	a) Cultivos y especies de interés comercial. b) Cultivos y especies de interés ecológico.
6. Recarga de Acuíferos	a) Por infiltración superficial. b) Por inyección directa.
7. Intercambio	a) Sectorial. b) Regional.
8. Sector educativo	a) Limpieza en escuelas. b) Riego en áreas verdes. c) Reutilización en sanitarios.

Nota: se adiciona el numeral 8 con sus diferentes usos.

Fuente: Semarnat/Conagua, 2016, p.159.

Existen diferentes tecnologías para poder reutilizar las aguas residuales, sin embargo, e independientemente del método utilizado, las aguas residuales deben ser depuradas y, posteriormente, regeneradas, lo cual permite adecuar su calidad a las normas establecidas. Las aguas regeneradas son las aguas residuales depuradas que han pasado por un procedimiento de tratamiento adicional o complementario de depuración (pasar de un proceso físico-químico al biológico) que permite ajustar su calidad al uso al cual se destinará.

Se reutilizan las aguas que han sido sometidas a los procesos de depuración necesarios y establecidos por la normatividad para alcanzar la calidad requerida

en función de su utilización. Los posibles usos para esa agua regenerada serían aquellos en los que la calidad y las propiedades del agua no requieren un control tan estricto (las cuales son no aptas para el consumo humano).

Tabla 4. Prohibiciones de uso del agua reutilizada

- Para el consumo humano, salvo situaciones de declaración de catástrofe en las que la autoridad sanitaria especificará los niveles de calidad exigidos a dichas aguas y usos.
- Para el uso en torres de refrigeración y condensadores evaporativos, excepto lo previsto para uso industrial.
- Para los usos propios de la industria alimentaria, salvo lo dispuesto para el uso de aguas de proceso y limpieza.
- Para el uso en fuentes y láminas ornamentales en espacios públicos o interiores de edificios públicos.
- Para uso en instalaciones hospitalarias y otros usos similares.
- Para el uso recreativo como agua de baño.
- Para el cultivo de moluscos filtradores en acuicultura.
- Para cualquier otro uso que la autoridad sanitaria considere un riesgo para la salud de las personas o un perjuicio para el medio ambiente.

Fuente: Remtavares (2010).

Existen diferentes experiencias a nivel mundial sobre la reutilización de las aguas residuales, por ejemplo, la organización no gubernamental 2030 Water Resources Group (2030 WRG) asociada al Banco Mundial, publica una guía para la gestión de aguas residuales municipales en la India (2016), la cual gira alrededor de la aplicación de los principios de la economía circular a las aguas residuales; además, presentan, en 17 estudios de caso, el progreso de la aplicación de la economía circular para la reutilización de las aguas residuales en diferentes sectores usuarios de diversos países. Otro ejemplo es el Instituto Internacional del Agua de Estocolmo (SIWI, por sus siglas en inglés “Stockholm International Water Institute”), en la semana mundial del agua en 2017, con el lema “Agua y residuos: reducir y reutilizar”; el corazón de la temática giró alrededor de la economía circular y la reutilización segura de las aguas residuales (SIWI, 2017).

Dentro de la economía circular aplicada al sector agua no solamente se puede dar una segunda vida al recurso hídrico, también se generan nuevos modelos de negocios a través de la obtención de biogás (generación de energía) o biosólidos (fertilizantes en la agricultura); además, las PTAR pueden recibir bonos o créditos de carbono por la generación de energías renovables (Delgado, s/f). Por ejemplo, en Sudáfrica, a través de la innovación, se están impulsando las vías para lograr los principios de la economía circular y su interrelación (agua, material y energía), “el cual se basa en la polimerización hidrotérmica denominada carbono sólido polimérico, el cual convierte la biomasa en un hidrocarburo multiusos. Uno de los productos clave es un biocombustible verde” (Water Research Commission, 2018, p.33).

En México la práctica de la economía circular en el sector agua es muy amplia y diversa.

De las 2,500 PTAR que se tienen registradas en México, aproximadamente el 1% genera biogás, y de ese 1% la mitad lo usa para generar energía eléctrica. Algunas plantas son la de San Pedro Mártir, en Querétaro, la de Agua Prieta, y el Ahogado, en Nuevo León, y otra en Aguascalientes. La macroplanta de Atotonilco, ubicada en el estado de Hidalgo, el agua residual tratada sirve para el riego agrícola. En la Ciudad de México se encuentra la planta de tratamiento de Chapultepec, el agua residual, en la época de estiaje, se utiliza para rellenar los lagos de la primera y de la segunda sección del Bosque de Chapultepec, así como para el riego de los jardines, mientras en la época de lluvia, el agua residual recibe un tratamiento extra con el fin de poder recargar el acuífero. En Nuevo León una PTAR tiene convenio con Pemex, la empresa estatal lleva a cabo la operación y mantenimiento de esa planta; como beneficio utiliza el agua y genera vapor en su refinería de Cadereyta. Otro caso es en Ciudad Lerdo, Durango, donde el municipio tiene concesiones con la planta de tratamiento; la concesionaria realiza el tratamiento terciario y el agua se vende a la CFE, quien la utiliza para las torres de enfriamiento de su central termoeléctrica (Espinosa, 2019, p.36-37).

Por último, el reúso de las aguas residuales es una forma inducida de incrementar la oferta hídrica en Acapulco, otras serían, por ejemplo, la siembra y cosecha de agua, la captura del agua de lluvia y la recarga de acuíferos, por mencionar algunos métodos y técnicas. El Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, (INDRHI), de la Republica Dominicana y el Centro para la Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos en los Estados Insulares del Caribe (CEHICA), en el año 2009 auspiciaron un curso-taller de capacitación regional con la finalidad de divulgar los diferentes métodos para aumentar la oferta hídrica de manera inducida.

Sin embargo, y a pesar de la gran diversidad de reúsos de las aguas regeneradas o intercambios que pudieran realizarse, se siguen demandado, por sectores que pueden darle una segunda vida al agua, recursos hídricos de primer uso, generando, como señalan Morales y Rodríguez (2007), externalidades negativas para la población local, trastocando su derecho al agua.

Conclusiones

El sector agua es muy importante dentro del paradigma de la economía circular. El agua tiene dos características muy importantes: 1) es un recurso renovable y 2) es un activo económico no producido. Por ser un recurso renovable toda el agua se recicla y se vuelve a disponer de ella a través del ciclo hidrológico (sistema cerrado), esto sucede en el largo plazo, pero en el corto plazo no es reutilizable; y para poder ser reutilizable, el agua debe ser depurada y, posteriormente, regenerada. El agua regenerada es el agua residual tratada que ha pasado por los procesos físico-químicos y biológicos necesarios, los cuales la hacen apta para su reutilización. Las aguas regeneradas pueden ser aprovechadas en diferentes usos, como por ejemplo,

en el riego de parques y jardines, aseo de calles, edificios públicos, centros educativos (donde se consume agua de primer uso), recarga de acuíferos, entre otros.

La consecuencia sería el incremento del balance hídrico (oferta inducida), generándose transferencias de agua entre sectores usuarios que demanden recursos hídricos de menor calidad y reservar la de primer uso para el consumo humano, teniendo como resultado el manejo sustentable del agua.

El caso del reúso como método del aumento de la oferta hídrica implica una nueva categorización del uso del agua a partir de las aguas regeneradas y sus diferentes usos de menor calidad, pero aplicada a usos específicos para los cuales resulta adecuada. El aumento de la oferta hídrica busca crear diferentes sistemas de aprovechamiento de agua disponible, para diversos usos a un bajo costo de producción.

Los sistemas de tratamiento serían la herramienta utilizada dentro de las acciones de la economía circular para controlar la contaminación del agua, ya que a través de ellos se mejoraría la calidad de las aguas residuales, proporcionando la posibilidad de su reúso o intercambio.

En Acapulco se ha invertido una gran cantidad de dinero para el buen funcionamiento de las PTAR y los resultados han sido pocos satisfactorios (Soaresy Priego, 2018). El Programa para el Saneamiento Integral de la Bahía de Acapulco ascendió a 806.48 mdp hasta el año 2010 y el Proyecto de suministro de agua potable y saneamiento de las zonas marginadas del valle de La Sabana en el estado de Guerrero fue de 47,154,471 € (agosto 2017). Sin embargo, algunas PTAR no funcionan, “tal es el caso de la PTAR de La Mira-Potrerrillo, la cual descarga más de 770 mil litros de aguas negras crudas diariamente hacia playa Olvidada” (Parra, 2019).

Por tal motivo, es relevante recoger y depurar las aguas residuales (gris y negra) que son vertidas en Acapulco, “de las cuales el 60 por ciento son desechadas por el sector residencial y el 30 por ciento pertenece al sector comercial o servicio continuo” (Sener/Banco Mundial, 2016, p.40). Las aguas grises son todas aquellas que fueron utilizadas en las duchas, bañeras y lavabos; y con tratamiento previo, no tan complicado, se pueden regenerar para poder ser reutilizada; mientras que las aguas negras se encuentran contaminadas con heces fecales y proceden de los desechos orgánicos de animales y humanos.

Por último, la aplicación del paradigma de la economía circular en Acapulco es una asignatura pendiente, se requiere darle una segunda oportunidad al agua; se debe transitar del modelo lineal del uso del agua al circular. Se reemplazaría la escasez con abundancia, se transferiría agua entre sectores usuarios, se aumenta el tratamiento de las aguas residuales y se reduciría la demanda del recurso hídrico al medio natural. Por lo tanto, así como el agua es un recurso de suma importancia en el proceso socioeconómico, también lo son las aguas residuales en el subciclo biológico (depuración), los cuales son el punto de partida para la revolución circular.

Referencias bibliográficas

- Aecid, et al. (s/f). Plan operativo general: "Proyecto de suministro de agua potable y saneamiento de las zonas marginadas del valle de La Sabana en el estado de Guerrero". Ref.: Proyecto MEX 001-B.
- Agua.org.mx (2020). ¿Cuánta agua hay en el planeta? Obtenido de agua.org.mx. Recuperado de <https://agua.org.mx/en-el-planeta/>.
- Amato, C.N. (2019). Aspectos básicos y de interdisciplina de la economía circular. Primeras Jornadas Internacionales de Diseño y Tecnología para la Sostenibilidad. Universidad Nacional de Córdoba, Centro de Investigaciones en Ciencias Económicas/Facultad de Ciencias Económicas.
- Amapola, P. (15 de septiembre de 2019). Guerrero invirtió en plantas tratadoras que están en desuso y contaminan a las comunidades. Obtenido de Animal Político. Recuperado de <https://www.animalpolitico.com/2019/09/plantas-tratadoras-agua-comunidades/>.
- Ávila G., P. (1996). Escasez de agua en una región indígena de Michoacán: el caso de la Meseta Purépecha. México: El Colegio de Michoacán.
- Bravo P., H. M. (2002). Un análisis económico de los derechos de propiedad del agua. Aplicación a dos regiones hidrológicas mexicanas. Tesis para obtener el grado de Doctor en Economía. Universidad Autónoma de Barcelona/Departamento de Economía Aplicada; España.
- Carabias, J.; Land, R.; Collado, J. y Martínez, P. (2005). Agua, Medio Ambiente y Sociedad. Hacia la Gestión Integral de los Recursos Hídricos en México. México: UNAM/COLMEX/Fundación Gonzalo Río Arronte.
- Cruz V., M. A. (2011). Los sistemas complejos y la gestión de la demanda de agua: un análisis introductorio para México. En Observatorio de la Economía Latinoamericana. Revista Académica de Economía, Núm. 159.
- Cruz V., M. A. (2017). Modelo econométrico para determinar la demanda de agua en las empresas de hospedaje en Acapulco, su análisis desde la economía circular y su impacto en el desarrollo local. Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias de Desarrollo Regional. UAGro/UCDR; México.
- Cruz V., M. A.; Agatón L., D. y Añorve F., N. N. (2018). El agua desde la economía circular: base para el turismo sustentable y el desarrollo local en Acapulco. En UNAM/AMECIDER, Impacto Socio-Ambiental, Territorios Sostenibles y Desarrollo Regional desde el Turismo (pp. 483-501). México.
- Capama (2010). Programa de Saneamiento Integral de la Bahía de Acapulco. H. Ayuntamiento Constitucional de Acapulco.
- Capama (2016). Infraestructura. Obtenido de Capama. Recuperado de <http://www.capama.gob.mx/infraestructura#>.
- Conagua (2015). Proyectos Estratégicos: Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. Programa Nacional de Infraestructura 2014-2018. México: Semarnat/Conagua.

- Conagua (2018). Atlas del Agua en México edición 2018. México: Semarnat/Conagua.
- Delgado, A. (s/f). Agua residual: de residuo a recurso. Opciones para la recuperación de costos en PTARs: Generación de Energía. Argentina: World Bank Group.
- Ellen MacArthur Foundation. (2017). Economía Circular. Obtenido de Ellen MacArthur Foundation. Recuperado de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/economia-circular/escuelas-de-pensamiento>.
- Museo Virtual de Acapulco. (2019). Cuentos, Mitos y Leyendas. Obtenido de Museo Virtual de Acapulco. Recuperado de <https://www.museovirtualdeacapulco.com/cuentos-mitos-y-leyendas>.
- Espinosa B., M. (2019). Prácticas de economía circular en el sector hídrico. En Memoria del 8° Encuentro Universitario del Agua (Investigación de Frontera para la Seguridad Hídrica) (pp. 34-39). México: UNAM/Red del Agua.
- Ghisellini, P.; Cialani, C. & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*: V. 114 (2016), 11-32. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>.
- H. Ayuntamiento Constitucional de Acapulco de Juárez (2015-2018). Bando de Policía y Gobierno. Acapulco, Gro.; México.
- H. Ayuntamiento Constitucional de Acapulco (18 de febrero de 2020). Proyectos de Acapulco presentados en ONU Hábitat logran interés de 4 firmas europeas. Obtenido de H. Ayuntamiento Constitucional de Acapulco. Recuperado de <https://acapulco.gob.mx/2020/02/proyectos-de-acapulco-presentados-en-onu-habitat-logran-interes-de-4-firmas-europeas/>.
- H. Ayuntamiento Constitucional de Acapulco de Juárez. Plan Municipal de Desarrollo 2018-2021. Acapulco, Gro.; México.
- H. Ayuntamiento Constitucional de Acapulco de Juárez. Programa Municipal de Turismo de Acapulco 2009-2012. Acapulco, Gro.; México.
- Hidalgo T., A. (2004). Teorías y modelos de la idea de desarrollo: los cinco cánones. En Hernández M., R., Rodríguez D., F. J. y Zaiter M., A. J. *Cooperación al Desarrollo y Bienestar Social* (pp.175-233). México: Universidad de Guadalajara/Instituto de Estudios para la Paz y la Cooperación-IEPC/Editorial EIKASIA.
- IMTA (2008) Análisis de la infraestructura hidráulica, de alcantarillado y saneamiento; así como, evaluación de la calidad bacteriológica de agua en fuentes de abastecimiento para consumo humano, en la ciudad de Acapulco de Juárez. México: IMTA/SEMARNAT.
- INEGI (2016). Panorama Sociodemográfico de Guerrero 2015. México: INEGI.
- INEGI (2020). Usos del agua. Obtenido de INEGI. Recuperado de <http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/agua/usos.aspx?tema=T>.

- Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (2010). Aumento de la oferta hídrica. República Dominicana: Editora Taller C. x A.
- Kirchherr, J.; Reike, D. & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation & Recycling*, 127 (2017), 221–232. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>.
- León-Portilla, M. (2011). De México-Tenochtitlan a Acapulco en tiempos de Ahuítzotl. *Revista de Estudios de Cultura Náhuatl*. Universidad Nacional Autónoma de México. Vol. 42 (2011), 51-63.
- Lobato G., I. (2017). Economía circular. De la “Eco-obligación” a la “Eco-oportunidad”. Autopublicaciones Tagus.
- Morales N., J. y Rodríguez T., L. (2007). Retos y perspectivas de una gestión no sustentable del agua en el área metropolitana del Valle de México. En: Morales N., J. A. y Rodríguez T., L. *Economía del agua: escasez del agua y su demanda doméstica e industrial en áreas urbanas* (pp. 15-68). México: Cámara de Diputados/UAM/Miguel Ángel Porrúa.
- Nava, J. (29 de Julio de 2014). El Chorro, unas cascadas en la sierra de Tixtlancingo. Obtenido de Costa Brava. Recuperado de <http://www.revistacostabrava.com/publicidad/el-chorro-unas-cascadas-en-la-sierra-de-tixtlancingo/>.
- Organización Mundial de la Salud (2020). Datos y Cifras. Escasez de agua. Obtenido de Organización Mundial de la Salud. Recuperado de https://www.who.int/features/factfiles/water/water_facts/es/.
- ONU/Habitat (2018). Índice básico de las ciudades prósperas, Acapulco de Juárez. México: ONU/Habitat.
- Ortiz R., G. A. (1997). La política del agua en México en el marco del desarrollo sustentable. *Revista de Ingeniería Hidráulica en México*. Vol. XII, Núm. 3, 59-70.
- Parra, A. (7 de agosto de 2019). Planta tratadora contamina la bahía con aguas negras crudas. Obtenido de Novedades Acapulco. Recuperado de <https://novedadesaca.mx/planta-tratadora-contamina-bahia-aguas-negras/>.
- Piedra M., A. G. y Rosales R., F. H. (2019). Aproximaciones al concepto de economía circular y su relación con los recursos hídricos. *Economía circular en el sector hídrico*. Impluvium. UNAM/Red de Agua, N. 9 (2019), 6-14.
- PlanetaB (9 de septiembre de 2019). Guerrero abandona plantas de tratamiento de aguas residuales. Obtenido de PlanetaB. Recuperado de <https://www.planetab.com.mx/post/2019/09/09/guerrero-abandona-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales>.
- Reike, D.; Vermeulena, W. J. V. & Witjesb, S. (2018). The circular economy: New or Refurbished as CE 3.0? —Exploring Controversies in the Conceptualization of the Circular Economy through a Focus on History and Resource Value Retention Options. *Resources, Conservation & Recycling*. V. 135 (2018), 246–264. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.027>.

- Remtavares (15 de marzo de 2010). Regeneración y reutilización de las aguas: actuaciones en las Edar de España. Obtenido de Fundación para el conocimiento Madrid. Recuperado de <http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2010/03/15/131429>.
- Román O., A. (2019). 1er Informe de Gobierno (2018-2021). H. Ayuntamiento Constitucional de Acapulco de Juárez.
- Ruz V., M. I. & Rodríguez H., A. (2006). La vulnerabilidad del paraíso. Recuperado de <http://www.eumed.net/jirr/1/AMECIDER2006/PARTE%205/91%20Ignacio%20Ruz%20Vargas%20et%20al.pdf>
- Sadoff, C. y Muller, M. (2010). La gestión del agua, la seguridad hídrica y la adaptación al cambio climático: efectos anticipados y respuestas esenciales. Global Water Partnership, Comité Técnico (TEC).
- Saldívar V., A. (2007). Las aguas de la ira: economía y cultura del agua en México. ¿Sustentabilidad o gratuidad? México: Facultad de Economía/UNAM.
- Saltiel, G. (30 de agosto de 2016). ¿Qué significa una economía circular en el sector del agua para América Latina? Recuperado de <https://www.iagua.es/blogs/gustavo-saltiel/que-significa-economia-circular-sector-agua-america-latina>.
- Scheel, C. y Aguiñaga, E. (2017). Economía circular, una alternativa a los límites del crecimiento lineal. En Raufflet, E.; Portales D., L.; García de la Torre, C.; Lozano A., J. F. & Barrera D., E. Responsabilidad, ética y sostenibilidad empresarial (págs. 157-171). México: Editor Pearson Educación.
- Sedesol/Coneval (2015). Informe Anual sobre la Situación de Pobreza y Rezago Social 2015, Acapulco de Juárez. México: Sedesol/Coneval.
- Semarnat (2020). Consulta temática. Precipitación media histórica por entidad federativa. Recuperado de http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_AGUA01_01&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce&NOMBREENTIDAD=* &NOMBREANIO=*.
- Semarnat/Conagua. Estadísticas del Agua en México, Varias Ediciones. México: Semarnat/Conagua.
- Semarnat (1998). NOM-003-SEMARNAT-1997 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. Diario Oficial de la Federación, 21 de septiembre de 1998.
- Semarnat (2009). NOM-014-CONAGUA-2003, Requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada. Diario Oficial de la Federación, 18 de agosto de 2009.
- Semarnat/Conagua (2010). Conagua cumple anticipadamente metas del Programa de Saneamiento Integral de la Bahía de Acapulco. México: Semarnat/Conagua
- Semarnat/Conagua (2011). Agenda del Agua 2030. México: Semarnat/Conagua.

- Semarnat/Conagua (2014). Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, Edición 2014. México: Semarnat/Conagua.
- Semarnat/Conagua (2016). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento; Introducción al Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. México: Semarnat/Conagua.
- Semarnat/Conagua (2018). Estadísticas del Agua en México edición 2018. México: Semarnat/Conagua.
- Semarnat/Conagua (2019). Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación, diciembre 2018. México: Semarnat/Conagua.
- Sener/Banco Mundial (2016). Evaluación Rápida del Uso de la Energía. Acapulco de Juárez, Guerrero. México: Sener/Banco Mundial.
- SIWI (2017). Water and waste: reduce and reuse. Estocolmo, Suecia: Stockholm International Water Institute.
- Soares, D. y Priego, K. (2018). El agua y el saneamiento en la periferia de Acapulco, Guerrero: muchos recursos invertidos y pocos resultados. Recuperado de <https://redissa.files.wordpress.com/2018/04/el-agua-y-el-saneamiento-en-la-periferia-de-acapulco-guerrero-muchos-recursos-invertidos-y-pocos-resultados.pdf>
- Tecnológico de Monterrey (2018). Huella Hídrica: una mirada integral al uso del agua. Curso Virtual. México: Centro del Agua para América Latina y el Caribe/Fundación FEMSA.
- Tutiempo.net (2020). Clima Acapulco. Datos climáticos: 1973-2020. Recuperado de <https://www.tutiempo.net/clima/ws-768050.html>.
- UNAM (30 de septiembre de 2016). ¿Qué es la vulnerabilidad del agua? Recuperado de <https://www.iagua.es/noticias/mexico/unam/16/09/30/que-es-vulnerabilidad-agua>.
- USGS. (2020). Water Science School. Where is Earth's Water? Recuperado de https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/where-earths-water?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects.
- Veolia (2014). Water at the heart of the Circular Economy. Recuperado de <https://www.veolia.com/sites/g/files/dvc2491/files/document/2014/12/economy-circular-water.pdf>
- Water Research Commission (2018). Water and the Economy: Transitioning to a circular economy – the role of innovation. The Water Wheel. V. 17 (5), 32-33.
- Water Resources Group 2030 (2016). Circular Economy Pathways for Municipal Wastewater Management in India: A Practitioner's Guide. N.W., Washington D.C., USA: 2030 WRG/World Bank Group.

- Wong G. P. (2004). Agua y desarrollo regional sustentable: una aproximación metodológica. En Jacobo V., M. A. y Saborio F., E. La gestión del agua en México (los retos para el desarrollo sustentable) (pp. 283-299). México: Universidad Autónoma Metropolitana/Miguel Ángel Porrúa.
- World Economic Forum (2018). Circular Economy in Cities. Evolving the model for a sustainable urban future. WEF: Ginebra, Suiza.
- World Economic Forum (2019). Informe de Riesgos Mundiales 2019. WEF: Ginebra, Suiza.

Evolución y situación de las Unidades de riego en México

Waldo Ojeda Bustamante, Mariana de Jesús Marcial Pablo, Sergio Iván Jiménez Jiménez, Mauro Iñiguez Covarrubias

Introducción

De los 307.96 millones de ha con infraestructura de riego a nivel mundial, México ocupa el sexto lugar con una superficie regable de 6.5 millones de ha (tabla 1). Los 10 países con la mayor superficie de riego acumulan el 68.9% de la superficie regable del mundo, con 212.2 millones de ha, concentrando los tres primeros países la mitad de la superficie regable mundial: China, India y EE.UU.

Tabla 1. Superficie regable a nivel mundial

Posición	País	Superficie Regable (Millones de ha)	%
1°	China	65.9	21.4%
2°	India	62.0	20.1%
3°	USA	26.7	8.7%
4°	Pakistán	19.1	6.2%
5°	Irán	8.6	2.8%
6°	Indonesia	6.7	2.2%
7°	México	6.5	2.1%
8°	Brasil	5.8	1.9%
9°	Turquía	5.7	1.9%
10°	Bangladesh	5.2	1.7%
-	Resto del Mundo	95.80	31.1%
	Total	307.96	100.0

Fuente: adaptación propia con base en ICID, 2018.
Recuperado de <https://www.icid.org/world-irrigated-area.pdf>

En México, las zonas de riego, con una extensión de 6.5 millones de ha bajo riego, se han clasificado institucionalmente en dos grandes grupos: Distritos (DR) y Unidades (UR) de Riego. El primer grupo, los constituye los DR que fueron promovidos, construidos y administrados por el gobierno federal y transferida la administración del servicio de riego y la conservación de la red de distribución menor a Asociaciones de Usuarios de Riego que se formaron para tal fin, pero en donde el estado opera las obras de cabeza y la red de distribución mayor. El segundo grupo, las UR son zonas de riego autónomas, cuya operación, administración y conservación son responsabilidad de los usuarios de riego.

Existe una gran incertidumbre en la información disponible de las UR. En el último inventario, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) reportaba una superficie de 4 millones de Ha, con cerca de 51 mil UR y 780 mil usuarios (CONAGUA, 2018a), muy superiores en estos tres aspectos a los DR. Si se considera confiable dicho inventario, la superficie regable de México sería de 7.2 millones de ha, lo que convertiría a México en el sexto lugar, con mayor superficie regable (tabla 1) que Indonesia, que tiene menos de 7 millones de ha.

En este documento se presenta una caracterización de las UR del país. Se documentan sus antecedentes históricos, su situación actual y la problemática de las Unidades de Riego del país. Para realizar este estudio se recopilaron diferentes publicaciones en fuentes nacionales e internacionales, así como de las estadísticas de los DR y las UR publicadas por la CONAGUA y de las estadísticas de producción agrícola del Sistema de Información Agrícola y Pecuaria (SIAP) de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). Se consultó el Sistema Nacional del Agua (SINA) de la CONAGUA para acceder a la base de datos geográfica de las Unidades y Distritos de Riego del país.

Definiciones de Unidades de Riego y Distritos de Riego

Hay confusión entre los significados de una Unidad de Riego y un Distrito de Riego. Lo anterior, se debe principalmente a que la definición de UR en fuentes oficiales no está bien delimitada. Para la Ley de Aguas Nacionales (LAN) de 1992 en el Artículo 3 fracción LI, una Unidad de Riego es un “área agrícola que cuenta con infraestructura y sistemas de riego, distinta de un distrito de riego y comúnmente de menor superficie que aquél; puede integrarse por asociaciones de usuarios u otras figuras de productores organizados que se asocian entre sí libremente para prestar el servicio de riego con sistemas de gestión autónoma y operar las obras de infraestructura hidráulica para la captación, derivación, conducción, regulación, distribución y desalajo de las aguas nacionales destinadas al riego agrícola”.

La LAN también indica que un Distrito de Riego (Artículo 3 fracción XXV), a diferencia de una UR, es establecido mediante Decreto Presidencial, el cual está conformado por una o varias superficies previamente delimitadas y dentro de cuyo

perímetro se ubica la zona de riego, el cual cuenta con las obras de infraestructura hidráulica, aguas superficiales y del subsuelo, así como con sus vasos de almacenamiento, su zona federal, de protección y demás bienes y obras conexas, pudiendo establecerse también con una o varias unidades de riego.

Los DR fueron concebidos como grandes sistemas de riego que fueron desarrollados como política pública del gobierno federal para promover el desarrollo agrícola del país. Desde su creación y hasta la década de los noventa, el gobierno federal estuvo a cargo de la administración, conservación y mantenimiento de la infraestructura hidroagrícola de los DR. En el desarrollo hidroagrícola del país, algunas Unidades de Riego se convirtieron en Distritos de Riego y viceversa, por lo que es necesario conocer cómo las políticas gubernamentales generaron la situación o estado actual de las unidades de riego.

En forma simplista, se ha considerado a las UR como la figura *asociativa proveniente de las pequeñas obras de riego que no están bajo la jurisdicción de los Distritos de Riego*. Otros estudios consideran a las UR menores a una superficie máxima. En esa vertiente, la FAO (2000) en su informe sobre temas hídricos en América Latina y el Caribe indican que las UR tienen una superficie menor a 1,000 ha, mientras que Guillén, Lomelí y González (2016) indican que las UR son áreas de riego menores a 8,000 ha. Por otra parte, Silva-Ochoa & Quijada-Urbe (2000) presentan una definición más aceptable, ya que consideran a las UR como el espacio físico que abarcan las obras de pequeña irrigación y son sistemas de riego esencialmente independientes manejados formal o informalmente por los usuarios desde su formación.

En general, las definiciones anteriores surgen porque no existe una definición precisa de las UR en la LAN de 1992. La actual LAN, vigente desde 1992, manifiesta que las personas físicas y morales podrán conformar una UR, sin indicar el tipo de tenencia de tierra, ni el número de miembros, y menos aún, de la superficie necesaria para constituirla. En la actualidad, las UR son muy heterogéneas con diferentes niveles de organización, aunque son autónomas del Estado en términos del manejo del servicio de riego. Sin embargo, varias UR reciben o han recibido apoyos, parcial o totalmente del gobierno federal, para su modernización, rehabilitación, tecnificación y/o equipamiento. En general, una UR se diferencia de un DR por los niveles organizativos y el nivel de intervención del Estado en el manejo y distribución del agua, y en el apoyo financiero que reciben anualmente. En general, todos los distritos de riego reciben anualmente apoyos económicos de los diferentes programas de la CONAGUA. En cambio, solo una fracción menor al 2% de las UR del país recibe dichos apoyos anualmente.

Por otra parte, el Artículo 59 de la Ley de Aguas Nacionales de 1992 establece que las personas físicas o morales podrán conformar una persona moral y constituir una unidad de riego que tenga por objeto:

1. *Construir y operar su propia infraestructura para prestar el servicio de riego a sus miembros.*
2. *Construir obras de infraestructura de riego en coinversión con recursos públicos federales, estatales y municipales y hacerse cargo de su operación, conservación y mantenimiento para prestar el servicio de riego a sus miembros, y*
3. *Operar, conservar, mantener y rehabilitar infraestructura pública federal para irrigación, cuyo uso o aprovechamiento hayan solicitado en concesión a “la Comisión” a través del Organismo de Cuenca que corresponda.”*

Algunas UR se establecieron con recursos y la supervisión del gobierno federal. Sin embargo, actualmente, los usuarios son responsables de construir, operar, conservar, mantener y rehabilitar la infraestructura hidroagrícola con recursos propios o públicos. Las UR no tienen obligación de reportar planes de riego, avance del plan de riego, informes de distribución de aguas e información de la producción agrícola a la Comisión Nacional del Agua; por tanto, no se tiene información confiable de la producción agrícola que se genera en las UR, del volumen de agua que se extrae de las fuentes de abastecimiento en las UR, ni mucho menos del volumen de agua que se les entrega a los usuarios a nivel toma o parcela.

Por más de 20 años, la CONAGUA usó el directorio oficial de Unidades de Riego generado en el año de 1994. Cabe señalar que la evaluación Específica de Desempeño 2011–2012 del Programa de Rehabilitación, Modernización, Tecnificación y Equipamiento de Unidades de Riego (PRMTEUR) realizada por el CONEVAL (2012) indicaba la necesidad de actualizar el inventario oficial de las UR, que inició en 2007 y fue concluido en el año de 2018, cuando se integró dicho inventario en un sistema de información geográfica. Aunque la CONAGUA cuenta con este inventario oficial actualizado al año 2018, así como con estadísticas de producción agrícola, e información histórica sobre los beneficiarios del principal componente del programa de apoyo a las Unidades de Riego (por lo general se concentran a nivel estatal), se requiere analizar la calidad de datos y cómo se ha implementado el inventario para canalizar mejor la inversión federal en las unidades de riego prioritarias, el cual fue el objetivo primordial del inventario. Además, es importante analizar los impactos generados por los programas y la cobertura de las UR beneficiadas.

Aspectos históricos de las UR

Cientos de bordos y pequeñas presas de mampostería fueron construidos para abastecer Unidades de Riego, a iniciativa de órdenes religiosas y hacendados en los siglos XVI y XVII como fue documentado por Cruz Galindo (1994). Existen UR que han operado por varios siglos que por su tamaño pudieron transformarse

en DR, sin embargo, no hubo interés del gobierno federal, ni de los Usuarios de Riego de la UR en transformarse en un DR. Un ejemplo de lo anterior, lo constituye la UR “Jalpa” en el Estado de Guanajuato, que es abastecida por la presa de Jalpa, construida en la Colonia y mejorada en 1852. Una segunda presa Santa Efigenia, construida a principio del siglo xx incrementó la superficie regable de la UR “Jalpa-Santa Efigenia” a 6,000 ha (Cruz Galindo, 1994). Actualmente, la Unidad de riego para el desarrollo rural Jalpa y Santa Efigenia A.C. localizada en el municipio de Purísima del Rincón, Guanajuato, cuenta con una superficie de 6,833.19 ha y con 763 usuarios.

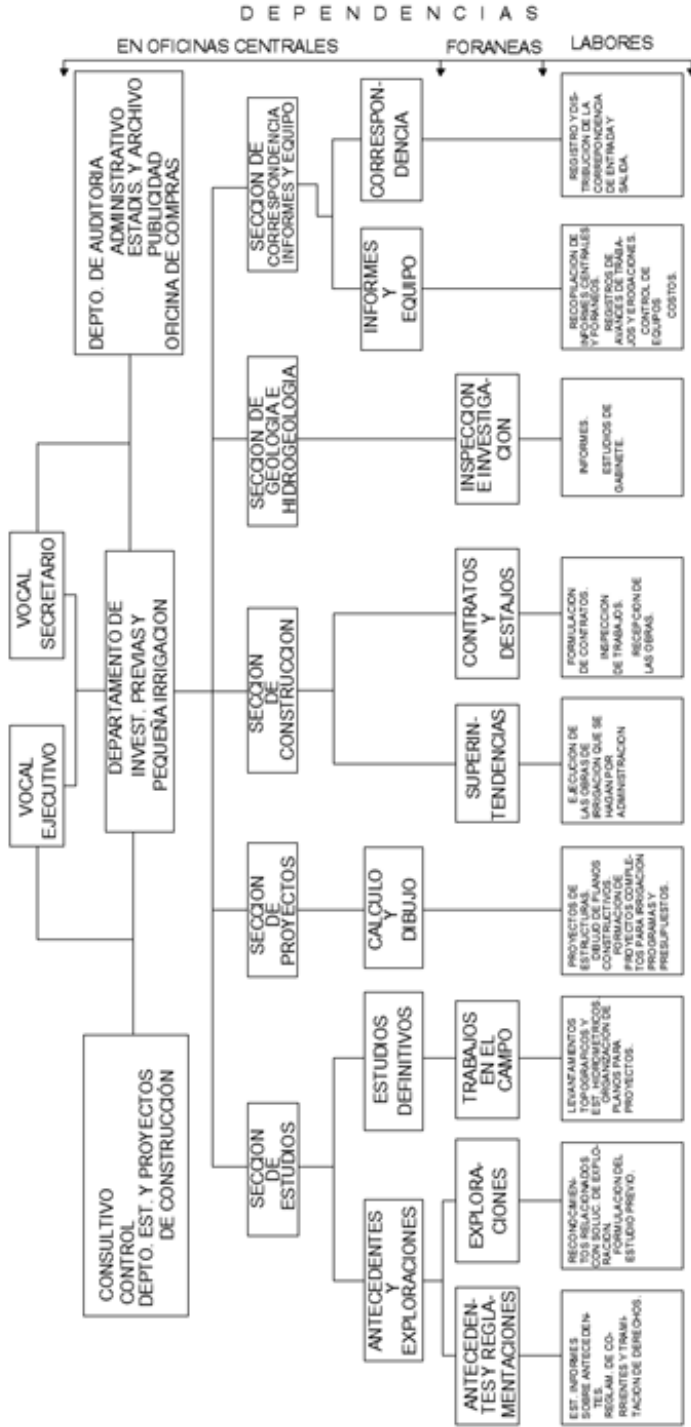
Históricamente, se considera al año de 1917 como el inicio del desarrollo institucional de la infraestructura hidroagrícola para la agricultura de riego en México, con la creación del departamento de Irrigación y la promulgación del artículo 27 constitucional, cuya finalidad fue financiar proyectos de riego y regular las concesiones para el aprovechamiento de las aguas nacionales por particulares.

Otro hito importante del desarrollo hidroagrícola del país fue la creación, en 1921, de la Dirección de Irrigación en la Secretaría de Agricultura y Fomento que inició el desarrollo de proyectos de pequeña irrigación. Posteriormente, el 9 de enero de 1926 se promulga la ley de Irrigación con aguas nacionales, que estableció las bases para el financiamiento de obra de irrigación, para lo cual se creó un fondo especial financiado con aportaciones del gobierno federal, así como de los ingresos derivados del uso de los sistemas de riego y la venta de las tierras bajo riego que pasaron a ser propiedad nacional. La misma ley creó la Comisión Nacional de Irrigación (CNI), como parte de la Secretaría de Agricultura y Fomento, que se hizo cargo de la administración del fondo de irrigación y el estudio, construcción y operación de los sistemas de riego (Herrera y Lasso, 1930). A finales de 1930, la CNI reportaba la operación de cinco grandes Sistemas Nacionales de Riego, que se convirtieron posteriormente en lo que conocemos como Distritos de Riego: 01 Presidente Calles, en Aguascalientes; 02 Río Mante, en Tamaulipas; 03 Río Tula, Hidalgo; 04, río Salado en Coahuila y Nuevo León, y 05 río Conchos, en Chihuahua.

La Comisión Nacional de Irrigación (CNI) operó por 20 años con la responsabilidad de la construcción de grandes obras de riego del país. Sin embargo, fue hasta el año de 1937, que inició una política de ejecución de obras de pequeña irrigación. Se estima que hasta 1946 se beneficiaron 42,000 ha con estas obras. En el periodo de 1937-1946, la CNI contaba con un departamento de investigaciones previas y pequeñas irrigación (figura 1), integrado por personal capacitado para realizar estudios previos, proyectos ejecutivos, y la construcción de obras de pequeña irrigación.

En 1946, se transforma la CNI en la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH), dando impulso a las UR a través del Plan Nacional de Pequeña Irrigación, incorporando más de 800,000 ha con obras de pequeña irrigación, en el periodo de 1960-1971, totalizando una superficie regable de 1.5 millones de ha en las UR.

Figura 1. Organigrama del departamento de investigaciones previas y pequeñas irrigación de la CNI en 1940



Fuente: adaptación de CNI-Comisión Nacional de Irrigación.

A diferencia de las UR, el subsidio y apoyo hacia los DR por parte del gobierno federal ha sido consistente a través de diversos programas operados por diversas instituciones gubernamentales, antecesoras de la CONAGUA, responsables de la agricultura de riego del país (tabla 2). Solamente por un periodo de 10 años, de 1934 a 1944, la administración y operación de los DR estuvieron bajo la responsabilidad del Banco de Crédito Rural. A partir de 1989 están bajo la responsabilidad de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

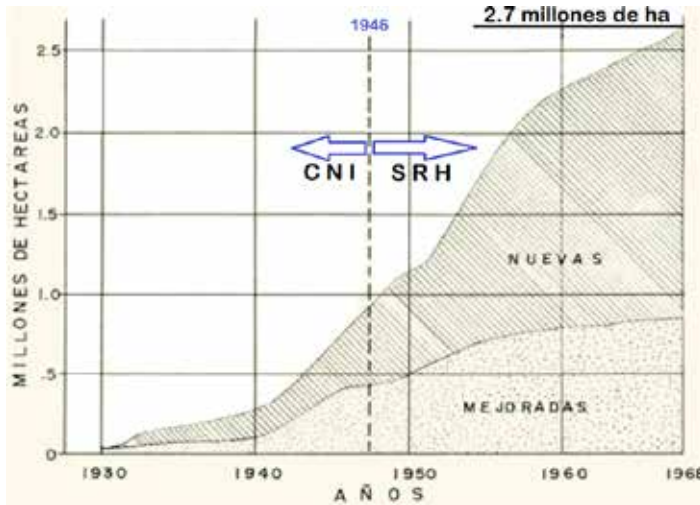
Tabla 2. Institución responsable de la administración de los Distritos de Riego

Institución	Periodo
Comisión Nacional de Irrigación (CNI)	1930-1934 y 1945-1946
Banco Nacional de Crédito Agrícola (BNCR)	1934-1944
Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG)	1947-1951
Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH)	1952-1976
Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH)	1977-1988
Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)	1989-Actual

Fuente: adaptado de Cruz Galindo, 2004; Hernández-Terán, 1969.

Hernández-Terán (1969) reportó que la superficie total construida o mejorada con apoyo del gobierno federal en el país era de 2,700,000 ha (figura 2), en poder de 510,000 usuarios de riego. Sin embargo, también reportaba una superficie 1,200,000 ha de UR autónomas operadas por particulares. La superficie regable a nivel país se reportaba en 3,900,000 ha.

Figura 2. Evolución histórica de la superficie agrícola bajo riego beneficiada por el gobierno federal en el periodo 1930-1968



Fuente: tomado de Hernández-Terán, 1969.

En 1969, la SRH realizó un estudio de la evolución del aprovechamiento de las pequeñas obras de irrigación del país, encontrando que cerca de la mitad de la superficie se regaba deficientemente. Para mejorar el riego en dicha superficie, se crea, en 1969, la Dirección de Operación de Pequeña Irrigación, que posteriormente se transformó en la Dirección General de Unidades de Riego para el Desarrollo Rural (DGUR). Lo anterior fue un gran impulso en el desarrollo de la pequeña irrigación en México con la creación de Jefaturas de Operación de Pequeña Irrigación en los estados. Para consolidar las Unidades de Riego se crea el término de URDERALES (Unidades de Riego para el Desarrollo Rural) que se relacionaba con la forma en que el estado promovía la integración de Asociaciones de Usuarios de Riego en la UR, para el manejo de sus fuentes de abastecimiento de manera autónoma al Estado. En los años setenta, el gobierno federal puso en marcha el Plan Nacional de Pequeña Irrigación (PNPI) con fondos internacionales del Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Con la promulgación de la Ley Federal de Aguas de 1972 se incorpora formalmente el término de Unidades de Riego para el Desarrollo Rural (URDERAL) a la política hidroagrícola nacional, esta ley estableció las bases legales para la organización de la URDERALES y el papel supervisor del Estado para procurar el uso, manejo y aplicación eficiente del agua con acciones para promover su tecnificación. En el periodo 1972-1976 hubo un gran desarrollo de las Unidades de Riego a través de la DGUR. Con el acompañamiento de un técnico por cada 1,500 ha,

se realizó un inventario de las Unidades de Riego que representaban el 30% de la superficie regable del país, se capacitó a los usuarios de las URDERALES para la elaboración de planes de riego y cultivos mediante el manejo de una hoja maestra de control gráfico, se promovió al igual que en los DR la tecnificación parcelaria, la medición del agua, el trazo del riego, y la transferencia tecnológica a través del Plan de Mejoramiento Parcelario (PLAMEPA). Varias Unidades de Riego también participaron en el programa PLAMEPA. Un aspecto importante a destacar de esta etapa fue la creación del directorio oficial de las Unidades de Riego organizadas del país que contenía actas de integración, características generales, padrón de usuarios, planos catastrales y reglamentos. También se inició la elaboración de la estadística de producción agrícola e hidrométrica, así como promoción del uso de fertilizantes, maquinaria, semillas mejoradas, y crédito agrícola. A la fecha, no se tiene un directorio nacional de Unidades de Riego y los volúmenes distribuidos en dichas unidades son inciertos y muchas veces especulativos.

Desafortunadamente el periodo dorado de las UR terminó en 1977 con la integración de la SAG y la SRH en la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). Las UR y los DR se integraron a la Dirección General de Distritos y Unidades de Riego. Gradualmente, el apoyo al desarrollo y consolidación de las UR fue reduciéndose.

En el sexenio 1982-1988 se creó la Dirección General de Normatividad Agrícola que tenía la responsabilidad no solo de los Distritos y Unidades de Riego, sino también a los distritos de temporal y las áreas de Conservación del Suelo y Agua. Debido a restricciones presupuestales, el apoyo a las UR fue marginal, ya que se concentró principalmente en los DR. En 1989 se creó la CONAGUA, como parte estructural de la SARH. La CONAGUA se abocó, a partir de 1990, en la constitución de Asociaciones Civiles de Usuarios de Riego, a quienes se les transfirió la administración del servicio de riego y se les concesionó la menor de las redes de distribución de los distritos de riego. Esta política de descentralización, apoyada por agencias financieras internacionales, se centró en la reducción de la estructura burocrática y de los subsidios del Estado a la agricultura de riego. En 1991 se crean los programas de Uso Pleno de la Infraestructura para Aprovechamientos Superficiales y de la Energía eléctrica para Aprovechamientos Subterráneos. En 1992, se promulga la nueva ley de aguas nacionales y se crea el Registro Público de los Derechos de Agua (REPGA) que consolida la integración y actualización del padrón de usuarios de los distritos de riego.

Las URDERALES se ubicaron como parte de los Distritos de Desarrollo Rural en la Dirección General de Política Agrícola de la SARH. Sin embargo, desde la creación de la CONAGUA no ha existido una política gubernamental unificada para el desarrollo y consolidación de las UR. La política oficial se ha concentrado en ofrecer anualmente subsidios de obra pública con aportaciones bipartitas: federación y usuarios de la UR, algunas también con aportaciones de los

estados, con fines de rehabilitación, modernización, tecnificación y conservación de la UR a través de empresas particulares.

Cabe destacar que tanto la SAGARPA como la CONAGUA han tenido injerencia en las UR, a través de diversos programas independientes para la instalación o modernización de sistemas de riego. Sin embargo, una debilidad de la gestión y eficiencia de los recursos entregados a las UR ha sido su limitada organización para realizar actividades de cooperación que demanda el servicio de riego de zonas bajo riego, con varias parcelas que comparten la misma fuente de abastecimiento. Para una mejor caracterización, la SAGRAPA agrupaba a las UR en dos grandes grupos: organizadas o incorporadas y las no organizadas. Para ser considerada como organizada, una UR debería contar con los siguientes siete documentos (COLPOS, 1998): i) acta constitutiva de la asociación de usuarios, ii) reglamento interno de operación, iii) padrón de usuarios, iv) clasificación de la propiedad, v) croquis de localización, vi) croquis parcelario, y vii) el plano catastral. A pesar de esfuerzos institucionales recientes de la CONAGUA, la formación y consolidación de UR organizadas ha sido limitado y disperso.

Aunque la CONAGUA tenía en su estructura la Gerencia de Distritos y Unidades de Riego (GDUR) como parte de la Subdirección General de Operación, dicha gerencia se dedicó principalmente al desarrollo de los distritos de riego y algunas UR en el área de influencia de los DR que administraba. En 1993, la CONAGUA crea la Coordinación de Uso Eficiente del Agua y la Energía Eléctrica que se concentra en apoyar principalmente las Unidades de Riego del país. Un trabajo importante de dicha Coordinación fue la integración de un inventario de las UR a través de un Sistema de Información Geográfica denominado SIUR (COLPOS, 1998). Posteriormente, en 2001 dicha coordinación se convirtió en la Gerencia de Unidades de Riego, como parte de la Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola y la GDUR, se convierte en Gerencia de Distritos de Riego.

Como se ha documentado, el desarrollo histórico de las unidades de riego ha sido más incierto y muchas veces marginado por las instituciones responsables del desarrollo de la infraestructura hidroagrícola en México, que se ha orientado hacia los grandes distritos de riego del país. Hasta el año de 1937 la construcción de infraestructura estaba concentrada en el desarrollo de grandes zonas de riego. Por varios sexenios, el gobierno apoyó en forma dispersa la perforación de pozos profundos particulares y pequeñas obras de irrigación.

Actualmente, la CONAGUA, a través de la Gerencia de Unidades de Riego (GUR), tiene el Subprograma de rehabilitación, tecnificación y equipamiento de unidades de riego (CONAGUA, 2020), cuyos apoyos económicos se concentran en dos vertientes:

1. Organización y fortalecimiento de unidades de riego.
2. Rehabilitación, tecnificación y equipamiento del riego.

Situación actual de las zonas de riego y drenaje del país

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) tiene la responsabilidad de supervisar y apoyar que la infraestructura hidroagrícola se encuentre en condiciones adecuadas para su operación a los usuarios de riego de tres grandes tipos de zonas de riego: Distritos de Riego (DR), Unidades de Riego (UR) y Distritos de Temporal Tecnificado (DTT) (figura 3). Los distritos de riego son generadores del 27% del valor de la producción nacional, las UR del 33%, mientras que los DTT del 6%. Cuando se consideran estas tres zonas agrícolas bajo la responsabilidad de la CONAGUA, el 66% del valor de la producción y el 37% de la superficie cosechada nacional se encuentra bajo su responsabilidad (tabla 3). La Tabla 3 fue elaborada a partir de las estadísticas agrícolas que publicó la CONAGUA (2013a, 2013b y 2013c) para el año agrícola 2011-2012.

Figura 3. Zonas de riego y drenaje administradas por la CONAGUA



Fuente: elaboración propia con datos geospaciales del *Sistema Nacional del Agua* de CONAGUA.

La información estadística de la tabla 3 resalta el papel de la CONAGUA en el desarrollo hidroagrícola nacional, sin embargo, para cubrir la demanda incremental de alimentos, se hace imperativo incrementar no solo la superficie cultivada, sino también la productividad del agua; esto es, maximizar los rendimientos por unidad de volumen de agua aplicada en lugar de por superficie de tierra cultivada. Aumentar la productividad del agua usada en la agricultura consiste en producir una mayor cantidad de alimentos usando cada vez menos agua, lo cual es una de las estrategias con mayor potencial para mejorar la seguridad alimentaria de un país.

Tabla 3. Productividad de la tierra y del agua para el año agrícola 2011-2012

Zona agrícola	Superficie cosechada		Valor de la producción		Volumen de agua utilizado (Millares m ³)	Índices de Productividad	
	(Miles de Ha)	%	(Millones de \$)	%		(\$/ha)	(\$/m ³)
Temporal	13,146	63.0	147,049	34.4	-	11,185	-
DTT	1,809	8.7	24,932	5.8	-	13,785	-
DR	2,764	13.2	112,803	26.4	25,676,323	40,814	4.4
UR	3,136	15.0	142,194	33.3	26,328,322	45,338	5.40
Subtotal (DR+UR+DTT)	7,709	37.0	279,929	65.6	52,004,645	33,312	5.0
Nacional	20,855	100.00	426,978	100.00	52,004,645	20,474	

Fuente: elaboración propia con datos de las estadísticas agrícolas CONAGUA, 2013a; 2013b y 2013c.

Considerando los resultados finales del inventario de las UR de 2018, México cuenta ahora con cerca de 7.32 millones de hectáreas con infraestructura de riego en México (tabla 4), cerca del 49%, 3.7 millones de ha, se riega de fuentes de abastecimientos superficiales (presas de almacenamiento, presas de derivación y bombeo de corrientes), mientras que 29%, 2.2 millones de ha, se riegan de pozos profundos, y el 22%, 1.72 millones de ha, son regadas por una mezcla de fuentes. Aproximadamente 3.3 millones de ha corresponden a 86 distritos de riego y el resto, 4.02 millones de ha, a cerca de más de 50 mil unidades de riego (CONAGUA, 2018b). El detalle de los porcentajes dicha distribución se muestra en la tabla 5.

Tabla 4. Superficie regable, número de usuarios y parcela media en Distritos y Unidades de Riego

Característica	Distritos de riego	Unidades de riego	UR y DR
Superficie regable (ha)	3,284,555	4,026,178	7,310,733
Usuarios (miles)	546,487	780,868	1,327,355
Parcela media por usuario (ha)	6.0	5.2	5.6

Fuente: adaptado de CONAGUA, 2015; CONAGUA 2018a.

Tabla 5. Distritos y Unidades de Riego por tipo de fuente de abastecimiento

Fuente	Distritos de Riego		Unidades de Riego	
	Numero (%)	Superficie (%)	Número (%)	Superficie (%)
Superficial	66	49	13	35
Subterráneo	6	4	87	65
Ambas	28	47	--	--
Total	100	100	100	100

Fuente: elaboración propia con datos de CONAGUA.

1. Distritos de riego

A partir de los años setentas, el gobierno federal decidió desincorporar o fusionar varios distritos de riego del país, pasando de un máximo de 156 que se tuvieron en los 40 a 86 DR que se tienen actualmente (tabla 6).

Tabla 6. Número, superficie regable y total de usuarios de los distritos de riego

Año	No. De Distritos	Superficie regable (miles de ha)	Usuarios
1946	30	689,611	143, 876
1970	156	2,487,863	371,542
1976	163	2,895,904	407,450
1982	77	3,179,393	490,002
1989	77	3,321,234	514,477
1994	79	3,529.885	529.516
2015	86	3,284.555	546,487

Fuente: generada con datos de Cruz Galindo, 2004; CONAGUA 205.

Figura 4. Ubicación de los DR de México



Fuente: elaboración propia con datos de CONAGUA.

De los 86 DR que existen actualmente en el país (figura 4), considerados de grande irrigación, se tienen 58 mayores de 10,000 ha. Entonces, existen 28 DR que se integran por pequeñas zonas de riego menores de 10,000 ha que totalizan 166,759 ha. Además, existen 7 DR con un área global de 242,984 ha que se integran de zonas de riego dispersas en un estado que no comparten las mismas fuentes de abastecimiento. Lo cual indica que 35 de los 86 DR, que representan el 11% de la superficie regable del país en DR, por su tamaño pudieran ser consideradas como de pequeña irrigación y pudieran tener características de UR.

2. Unidades de riego

En 1994 se tenían 39,492 UR de los cuales sólo 19,997 unidades, el 64 % de la superficie, se encontraban organizadas, reglamentadas y operando en su totalidad (FAO, 2000). En el último Directorio Oficial de la antigua SAGARPA estaban registradas 22,734 UR organizadas, con una superficie de 2,061,677 ha, y alrededor de 16,758 UR sin organizar, con 894,355 ha, lo que da un total de 39,492 UR con aproximadamente 2,956,032 ha (SEMARNAP, 1999). En la tabla 7 se presenta una variación de la superficie regable en las UR del país. El último inventario de las UR, realizado por la CONAGUA, finalizó en el año 2018 y reporta una superficie regable de 4.02 millones de ha, muy por arriba de la superficie regable reportada para los Distritos de Riego. Lo que indica la importancia de las UR como unidades productivas.

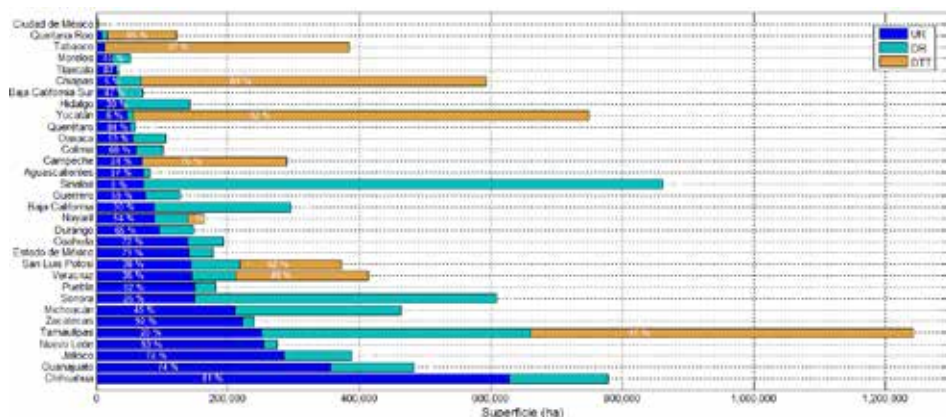
Tabla 7. Número, superficie regable y total de usuarios de las Unidades de Riego

Año	No. UR	Superficie regable (ha)	Usuarios
1971	n.d.	1,500,000	n.d.
1976	20,000	n.d.	n.d.
1982	14,200	1,600,000	431,000
1988	17,700	1755,000	480,000
1994	39,492	2,956,420	n.d.
1997	39,718	2,821,064	796,469
1998	39,492	2,956,420	901,963
2016	40,000	3,200,000	n. d.
2018	50,735	4,026,178	780,868

Fuente: generada con datos de Cruz Galindo, 2004; FAO, 2000; SEMARNAP 1999; COLPOS, 1998; CONAGUA, 2018a.

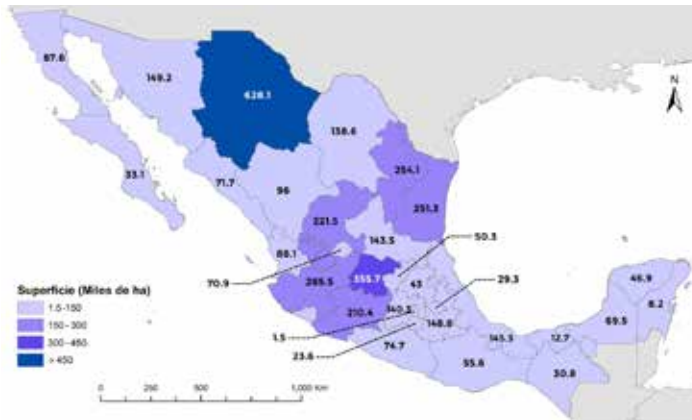
A diferencia de los DR y DTT, las UR se encuentran dispersas en todas las entidades federativas del país (figura 5). Siendo mayoritarias en la mayoría de las entidades, a excepción de los estados de Quintana Roo, Chiapas, Yucatán, Campeche, San Luis Potosí, Veracruz y Tamaulipas, en donde los DTT son mayoritarios; y en Sinaloa, Baja California, Sonora, y Michoacán en donde los DR son mayoritarios.

Figura 5. Superficie en ha y porcentaje de las zonas de riego y drenaje por entidad federativa



Fuente: elaboración propia con datos de CONAGUA.

Figura 6. Superficie regable de las UR por estado, en miles de ha



Fuente: elaboración propia con datos de CONAGUA 2018a.

Los siete principales estados donde se concentra el 38% de la superficie regable nacional de las UR son: Chihuahua, Guanajuato, Jalisco, Nuevo León, Tamaulipas, Zacatecas, y Michoacán (figura 6). Nayarit es el estado que tiene la mayor superficie promedio de las UR con 314.5 ha por UR. Después de la Ciudad de México (455 usuarios en promedio por UR), el Estado de México tiene el mayor número de usuarios promedio por UR por estado (168 usuarios en promedio por UR). Los estados con mayor número de UR registrados en porcentaje del total nacional son Guanajuato, Chihuahua y Jalisco, con el 12.2%, 11.3%, y 10.2%, respectivamente.

A pesar de la importancia en producción y superficie, en los últimos años fiscales, las UR solo han recibido cerca del 20% de los apoyos del Programa de Apoyo a la Infraestructura Hidroagrícola (S217) de la CONAGUA. Por su parte, los DR reciben el 66%. Esto a pesar de que la superficie cosechada, valor de las cosechas, y las productividades del agua y la tierra son mayores en las UR con los DR.

La superficie de riego beneficiada por el programa S217 en UR fue de 74,943 ha y 46,977 en los años 2017 y 2018, respectivamente (CONEVAL, 2017; CONEVAL 2018). Cabe resaltar que este programa incluye capacitación y asesoría técnica para el fortalecimiento de las Unidades de Riego o Planes Directores y no únicamente apoyos en beneficio a la infraestructura hidroagrícola, como se mencionó anteriormente. Lo anterior representa 1.2% y 1.9% de la superficie regable de las unidades de riego para los años 2017 y 2018, respectivamente. Lo que indica que para apoyar a toda la superficie regable de las UR, se requerirían 86 y 54 años, de acuerdo a la superficie apoyada en 2017 y 2018, respectivamente.

Situación actual de las UR del país

1. Caracterización

Analizando datos del inventario de UR generado por la CONAGUA (2018a), la superficie promedio de las UR es de 79.4 ha con una tenencia de tierra promedio de 5.2 ha por usuario, aunque para la tenencia ejidal es de 3.1 ha y para la pequeña propiedad de 12 ha. El análisis estadístico indica que 11,647 UR tienen una superficie mayor que la superficie promedio de las UR (79.4 ha) y 39,088 UR una superficie menor al promedio. La UR registrada más grande en superficie (Asociación de Usuarios de la Unidad de Riego de Desarrollo Rural Alfredo V. Bonfil) tiene 11,009 ha y está localizada en el municipio de Cuitláhuac, en el estado de Veracruz.

La superficie regable de las UR en el país es de 4,026,200 ha, con el 35% de la superficie abastecida por fuentes superficiales y 65% por fuentes subterráneas. Se tienen 50,735 UR en el país, el 13% de dichas UR son abastecidas por fuentes superficiales mientras que el 87% son abastecidas por fuentes subterráneas. La figura 7 muestra la distribución espacial de la UR por tipo de aprovechamiento. Lo anterior indica la importancia de la gestión eficiente de las UR para controlar la extracción de agua en acuíferos sobreexplotados.

Figura 7. Porcentaje de la superficie regable y número de usuarios de la UR abastecida según la fuente de abastecimiento

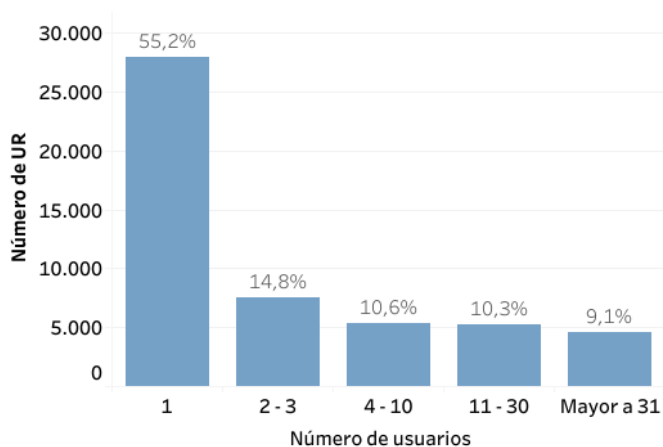


Fuente: elaboración propia con datos de CONAGUA 2018a.

Se estima que 780,870 usuarios de riego pertenecen a las UR. La UR con mayor número de usuarios tiene 13,933 (Unión Rural de La Presa Tepatitlán A. C, en el estado de México). La Figura 8 presenta la variación del número de UR clasificados por número de usuarios. Indicando que la mayoría (55.2 %) son de un usuario

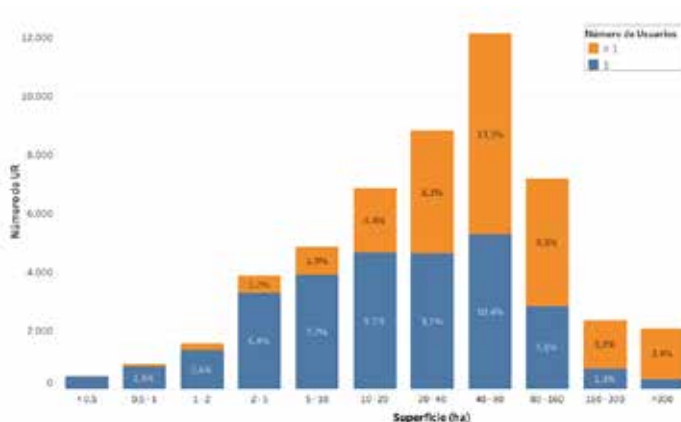
y representa casi el 30% de la superficie regable del país. Lo anterior es el resultado del desinterés del Estado por organizarlas y desarrollar Asociaciones Civiles de Usuarios de Riego en las UR. Menos del 10% de las UR del país tienen más de 31 usuarios, representando la tercera parte de la superficie regable de la UR del país.

Figura 8. Clasificación de las unidades de riego por número de usuarios, expresadas en número y porcentaje del total nacional



Fuente: elaboración propia con datos de CONAGUA 2018a.

Figura 9. Clasificación de las Unidades de Riego según su superficie y el número de usuarios



Fuente: elaboración propia con datos de CONAGUA 2018a.

En cuanto a la superficie total de las UR, se reporta que solamente el 4% de las UR tienen una superficie total mayor a 300 ha. La figura 9 indica que la mayoría de las UR son de pocos usuarios con superficie pequeña.

Se cuantificaron 2,446 UR que están formadas por un solo usuario con una superficie mayor a 100 ha (figura 10), el 92% de estas son abastecidas por fuentes subterráneas. Estas unidades de riego totalizan 533,046 ha, lo que significa que el 13% de la superficie de las UR son de un usuario. Lo anterior indica la dificultad para obtener información de estas UR, que están dispersas y son monousuario.

Figura 10. Relación de la 25 UR más grandes del país en términos de superficie



Fuente: elaboración propia con datos de CONAGUA 2018a.

Existen 25 UR con una superficie mayor a 4,000 ha los cuales son los más grandes del país (tabla 8) y acumulan una superficie de 149,300 ha y 32,200 usuarios. La red de distribución de los canales en las UR presenta en conjunto una longitud total de 99,716.44 km y la red de caminos una longitud de 100,374.19.

Tabla 8. Relación de la 25 UR más grandes del país en términos de superficie

Núm.	Nombre de la unidad	Estado	Municipios	Superficie (ha)	Usuarios
1	A. De U. UR. De desarrollo rural Alfredo V. Bonfil	Veracruz	Cuitláhuac	11,009	1,773
2	Unión rural de la presa Tepetitán A.C.	Estado de México	San Felipe del Progreso	10,876	13,933
3	Presa Santo Domingo Ingenio	Oaxaca	Santo Domingo Ingenio	9,426	1,599
4	Colonia el Comanche	Coahuila	Sierra Mojada	7,553	102
5	Presa Álvaro Obregón	San Luis Potosí	Mexquitic de Carmona	7,325	1,501
6	U. R. Para el D.R. Jalpa y Santa Efigenia	Guanajuato	Purísima del Rincón	6,833	763
7	Ejido Mexcaltitán	Nayarit	Santiago Ixcuintla	6,413	882
8	Unidad de Riego junta de aguas del Río Armería A.C.	Colima	Tecomán	6,144	655
9	El Chapotal	Nuevo León	Montemorelos	6,140	485
10	Unidad de Riego Bocaña del Tecolote	Guerrero	Copala	5,821	1,381
111	Asociación de usuarios del Río Tacámbaro A.C.	Michoacán	Tacámbaro	5,618	1,495
12	Agrícola La Soledad	Nuevo León	Aramberri	5,552	1
13	Unidad de Riego Rancho Laguna Banca	Campeche	Palizada	5,260	187
14	Asociación de usuarios de la U.R. El Carmen	Tamaulipas	Güemez	5,097	1,184
15	Unidad de Riego Manantial de Apúndaro	Michoacán	Tancítaro	5,056	1,282
16	Unidad de Riego San Vicente Camalu	Baja California	Ensenada	5,041	12
17	Usuarios de San José de Vaquerías A.C.	Nuevo León	General Terán	5,018	466
18	Unidad de Riego Puerto México	Chiapas	Acala	4,773	1,151

19	Unidad de Riego negocio agrícola San Enrique S.A. de C.V.	Baja California Sur	Mulegé	4,501	6
20	Unidad de Riego del Arroyo de las Cruces	Michoacán	Tancítaro	4,440	843
21	Unidad de Riego del Arroyo El Fresnito	Michoacán	Tancítaro	4,439	694
22	Ejido Ignacio Zaragoza	Durango	General Simón Bolívar	4,373	24
23	Chiquihuite	Veracruz	Paso del Macho	4,291	602
24	Asociación de usuarios de la U.R. Pedro José Méndez	Tamaulipas	Hidalgo	4,256	550
25	Unidad de Riego Corpus Christi	Tamaulipas	Padilla	4,041	626

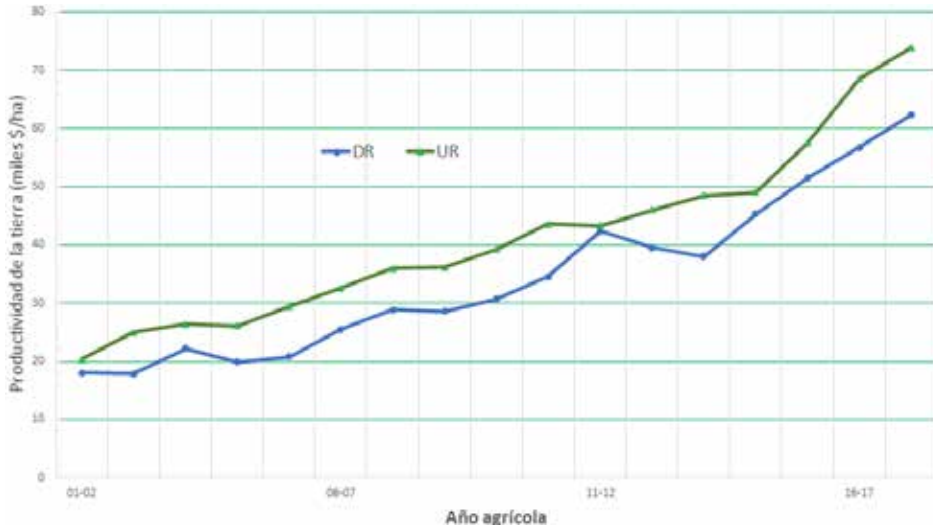
Fuente: elaboración propia con datos de CONAGUA 2018a.

2. Producción agrícola

Se ha señalado que las UR son más productivas que los DR, 37% más en términos de valor de la producción por unidad de tierra (Pt) y más del 78% mayor por unidad de agua aplicada (COLPOS, 1998). En la Figura 11 se estimó la Pt, expresada en miles de \$/ha, para 17 años agrícolas, del año 2001-2002 al 2017-2018. Se estimó que los valores de Pt son en promedio 22.5% mayores en las UR que los correspondientes para DR, con un valor máximo de 41.3%. Sin embargo, para el caso de la productividad del agua no existen suficientes datos y estudios que sustenten una mejor productividad de las UR sobre los DR. Lo anterior, debido a que no se tiene información confiable del agua extraída de las fuentes y entregada a los usuarios en las Unidades de Riego, las estimaciones de la productividad del agua en UR son muy especulativas, ya que usualmente se extrapolan los valores de láminas y eficiencias de riego que fueron compiladas y estimadas para los Distritos de Riego por fuente de aprovechamiento.

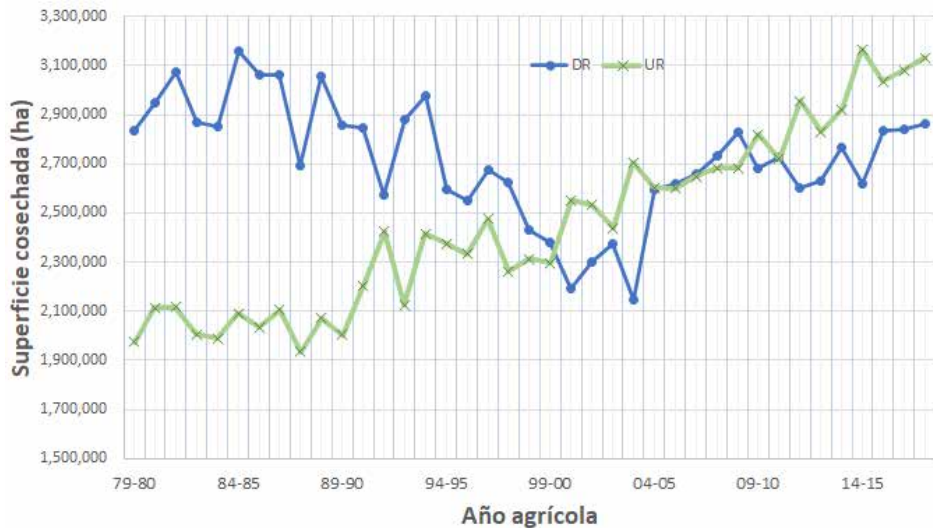
Otro dato estadístico interesante es la variación de las superficies sembradas (Ssem) y cosechadas (Scos) en las UR y DR. La Figura 12 presenta la variación histórica de las Scos en hectáreas, de las UR y DR para 39 años agrícolas, del año 1979-1980 al 2017-2018. Se observa una tendencia positiva de la Scos de las UR en los años analizados. Mientras tanto, la tendencia de la Scos de los DR responde a la variabilidad de las fuentes de abastecimiento, mayoritariamente de fuentes superficiales.

Figura 11. Variación de la productividad de la tierra a precios constantes (miles de %/ha)



Fuente: elaboración propia con datos de las estadísticas agrícolas de las unidades y distritos de riego de la CONAGUA.

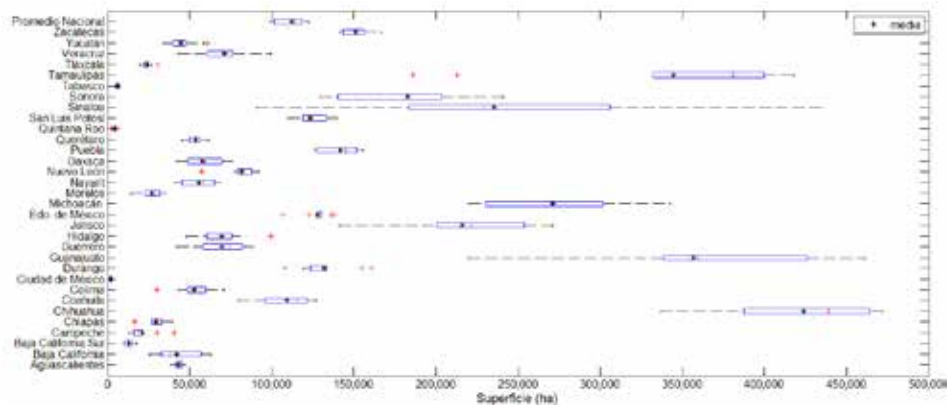
Figura 12. Superficie cosechada histórica en Distritos de Riego (DR) y Unidades de Riego (UR) en hectáreas (ha)



Fuente: elaboración propia con datos de las estadísticas agrícolas de las unidades y distritos de riego de la CONAGUA.

De la información histórica de las estadísticas agrícolas de las Unidades de Riego se observa que los estados que más superficie han sembrado en UR son Chihuahua, Guanajuato, Sinaloa, Tamaulipas y Michoacán (Figura 13), estos estados han sembrado más de 200,000 ha/año entre los ciclos primavera-verano y otoño-invierno en los últimos 10 años.

Figura 13. Variación estadística de la superficie sembrada en las UR de los años agrícolas 2007-2008 al 2016-2017



Fuente: elaboración propia con datos de las estadísticas agrícolas de las unidades y distritos de riego de la CONAGUA.

En cuanto a la superficie cosechada y el valor de la producción de los cultivos en las UR se muestran en los siguientes puntos valores extraídos de las estadísticas agrícolas de las unidades de riego para el año 2017-2018 (CONAGUA, 2019).

- El valor de producción para el ciclo agrícola a nivel nacional fue de \$269,752.02 millones, con una superficie cosechada de 3.33 millones de ha.
- La mayor superficie cosechada a nivel nacional corresponde al ciclo primavera-verano con 1.41 millones de ha (42.4%), seguido de perennes con 1.14 millones de ha (34.2%) y otoño-invierno con 0.78 millones de ha (23.4%).
- De las 32 entidades federativas, Chihuahua fue el estado que contó con la mayor superficie cosechada (452.9 mil ha, 13.6% del nacional); en segundo sitio se encuentra Guanajuato (314.4 mil ha, 9.4% del nacional) y en tercer lugar Jalisco (276.7 mil ha, 8.3% del nacional).
- La entidad federativa que reporta el mayor valor de producción fue Michoacán de Ocampo (48,400 millones de pesos, seguida de Chihuahua (35,857 millones de pesos) y Jalisco (19,380 millones de pesos).

- Los frutales fueron el grupo de cultivo con mayor valor de producción (111,422.76 millones de pesos, 41.31% del nacional), seguido por las Hortalizas (79,182.59 millones de pesos, 29.35% del nacional) y en tercer lugar los cereales (24,030.36 millones de pesos, 8.91% del nacional).
- El maíz grano blanco fue el cultivo dominante con 763.70 mil ha (22.91%) de superficie cosechada, en tanto otros cultivos (636.33 mil ha) y caña de azúcar (213.81 mil ha) ocupan el segundo y tercer sitio respectivamente.

Debido a que la CONAGUA no compila información estadística a nivel UR, las estadísticas de producción agrícola de las Unidades de Riego que genera la CONAGUA se estiman de dos fuentes contrastantes, las estadísticas de producción agrícola de los distritos de riego de la CONAGUA y la estadística municipal de la agricultura de riego que genera anualmente el Servicio de Información Agrícola y Pecuaria (SIAP) de la SADER. Una limitación adicional es que dichas estadísticas no consideran el inventario actual de Unidades de Riego. Esto resulta al comparar las superficies sembradas con las inventariadas por municipio y estado. Lo anterior complica realizar un análisis espacial de las Unidades de Riego que no están actualmente en producción o las que han cambiado a otro tipo de uso de suelo diferente a la agrícola, ni tampoco se conoce las Unidades de Riego que faltan por inventariar o las que están sobreestimadas en superficie regable y número de usuarios. Por tanto, existe incertidumbre en la estadística de producción agrícola que publica la CONAGUA y del propio inventario de UR.

3. Problemática y discusión

Uno de los retos actuales es generar capacidades organizativas en la UR que permitan mejorar la gestión del riego con un uso eficiente del agua desde la fuente hasta la parcela. Es tiempo de que se asignen recursos equitativos a las dos zonas de riego que administra la CONAGUA: Distritos y Unidades de Riego. Los DR han concentrado los recursos, incluso en estados donde las Unidades de Riego son mayoritarias y más productivas que los Distritos de Riego. Es necesario establecer mecanismos para focalizar los recursos en ciertas Unidades de Riego prioritarias, además, no pueden concentrarse los apoyos a las Unidades de Riego de un usuario sino privilegiarse las UR organizadas, sobre todo las localizadas en zonas de alta y muy alta marginación. En este sentido, la CONAGUA (2020), actualmente, limita los apoyos para rehabilitación, tecnificación y equipamiento de Unidades de Riego a personas físicas con un máximo de 5 ha, obligando de esta manera a las UR de un usuario con superficie mayor a 5 ha a conformarse en una persona moral, aunque posiblemente sigan siendo administradas la UR por uno o pocos usuarios.

Históricamente ha habido un gran escepticismo para la organización de las UR, sin embargo, hay resultados exitosos cuando fue promovido y supervisado por el Estado. Por ello, se debe realizar una política de desarrollo de capacidades técnicas, administrativas y organizativas en las unidades de riego para poder mejorar su gestión y que puedan otorgar un servicio de riego seguro, flexible, oportuno y equitativo.

En general los programas de la CONAGUA, en particular el subprograma de unidades de riego PRMTEUR, operan bajo un esquema de demanda, sin embargo, ante un escenario de escasez de recursos y para disminuir la brecha social entre UR, es importante establecer esquemas para priorizar los recursos en las Unidades de Riego desfavorecidas de los apoyos oficiales, tanto para los objetivos del programa como para favorecer equidad en la distribución de recursos públicos .

Conclusiones

En este trabajo se presenta el estado actual de las Unidades de Riego, las cuales son heterogéneas tanto en número de usuarios como en superficie, estas superficies de riego existen en todos los estados del país, y se encuentran desde las que están conformadas por un monousuario hasta de 13,933 usuarios, así como desde menos de una hectárea hasta la de mayor superficie de 11,010 ha.

Ha habido una polarización en el desarrollo de la UR. Por un lado, la mayoría (55%) de la UR son monousuario y representan aproximadamente el 30% de la superficie regable del país en las UR. Lo anterior es el resultado del desinterés del Estado por organizar a los usuarios que la integran para desarrollar Asociaciones Civiles de Usuarios de Riego en las UR.

La conservación, modernización y operación de las UR les corresponde a los usuarios, por lo que no se tienen cifras confiables de la cantidad de infraestructura de riego que existe, de eficiencias, así como de la cantidad de agua que se extraen en las UR y la que se les entrega a los usuarios a nivel toma o parcela. La necesidad de obtener datos precisos de la infraestructura hidroagrícola y del catastro parcelario de las Unidades de Riego derivó en la realización de inventario de las UR, que tomó más de 10 años su ejecución, de 2007 a 2018. A pesar del enorme esfuerzo realizado dicha información es estática y no se actualiza, además, no se le ha realizado un análisis de calidad de la información. La CONAGUA debe sumar esfuerzos en conjunto con el SIAP para aprovechar el inventario y utilizarlo para generar información confiable.

En general, la gestión de las unidades de riego tiene grandes deficiencias, mismas que pueden ser aminoradas con la implementación de políticas públicas que permitan desarrollarlas, consolidarlas y potenciar su productividad. Sin embargo, esto requiere de un nuevo planteamiento del papel de las Unidades de Riego, en el cual se establezca una reglamentación más específica y detallada que regule su creación, funcionamiento, así como implantar apoyos diferenciados que potencie el desarrollo de la UR en zonas

marginada que requieren de un apoyo integral muy personalizado. Sin duda, la nueva ley de agua nacionales y la política hidroagrícola del país tiene que considerar a las Unidades de Riego como prioritarias para el desarrollo hidroagrícola del país y no puede continuar marginadas, como ha ocurrido históricamente y como se ha documentado en este trabajo.

Referencias Bibliográficas

- COLPOS (Colegio de Postgraduados). (1998). Diagnóstico preliminar sobre superficies regables y volúmenes requeridos en las Unidades de Riego organizadas y sin organizar. Informe final para la Comisión Nacional del Agua (CNA), Subdirección General de Operación. Coordinación de Uso Eficiente del Agua. Montecillo, Estado de México.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). (2013a). Estadísticas agrícolas de los distritos de riego: Año agrícola 2011-2012. Recuperado de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/147019/ea2011-2012.pdf>.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). (2013b). Estadísticas agrícolas de las unidades de riego: Año agrícola 2011-2012. México, México. Recuperado de <https://datos.gob.mx/busca/dataset/unidades-de-riego-de-conagua>
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). (2013c). Estadísticas agrícolas de los distritos de temporal tecnificado: Año agrícola 2011-2012. México, México.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). (2015). Estadísticas del Agua en México, edición 2015. Recuperado de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/CONAGUA2015.pdf>
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). (2018a). Unidades de Riego del país. Base de datos geoespacial. Sistema Nacional del Agua (SINA). México, México.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). (2018b). Estadísticas Agrícolas de las Unidades de Riego: Año agrícola 2016-2017. Recuperado de <https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/SGIH-3-18.pdf>
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). (2019). Estadísticas Agrícolas de las Unidades de Riego: Año agrícola 2017-2018. Recuperado de https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/EAUR_2017-2018.pdf
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). (2020). Manual de Operación de la Componente para la Rehabilitación, Tecnificación y Equipamiento de Unidades de Riego. Recuperado de www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/546515/8-Manual_Comp_Rehab_Tecnif_y_Equipamiento_UR-vc_2020.pdf
- CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social). (2012). Evaluación de Consistencia y Resultados 2011-2012: Programa

- de Modernización y Tecnificación de Unidades de Riego. Recuperado de <https://www.transparenciapresupuestaria.gob.mx/work/models/PTP/programas/sed/evaluaciones/2011/16s217pccr11.pdf>
- CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social). (2017). Ficha de Monitoreo 2016-2017: Programa de Apoyo a la Infraestructura Hidroagrícola. Recuperado de https://www.coneval.org.mx/Evaluacion/Documents/EVALUACIONES/FMyE_2016_2017/FMyE_16_S217.pdf
- CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social). (2018). Ficha de Monitoreo 2017-2018: Programa de Apoyo a la Infraestructura Hidroagrícola. Recuperado de https://www.coneval.org.mx/Evaluacion/Documents/EVALUACIONES/FMyE_2017_2018/FMyE_16_S217.pdf
- Cruz Galindo, M. (1994). Semblanza histórica de las unidades de riego para el desarrollo rural. SARH, Subsecretaría de Agricultura, Dirección General de Política Agrícola. Ciudad de México. 45 pp.
- FAO. (2000). Perfiles de los países: México. En *El riego en América Latina y el Caribe en cifras* (pp.77-345). Recuperado de <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/08/El-riego-en-america-latina-y-el-caribe-en-cifras.pdf>
- Guillén, J. Á., Lomelí, R. J., & González, A. (2016). Organización de usuarios en las unidades de riego en México. Jiutepec, Morelos, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Hernández-Terán, J. (1969). Beneficios de la Revolución Mexicana. *Ingeniería Hidráulica en México*, 23(2), 140-171.
- Herrera y Lasso, J. (1930). La política federal de irrigación. algunos de sus aspectos sociales. *Irrigación en México*, 2(1), 11-25.
- International Commission on Irrigation and Drainage (ICID). (2018). *World Irrigated Area-2018*. Recuperado de <https://www.icid.org/world-irrigated-area.pdf>
- SEMARNAP (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca). (1999). *Directorio de UR*. México, D.F.
- Silva-Ochoa, P., & Quijada-Urbe, M. (2000). Introducción a las unidades de riego. En P. Silva-Ochoa (Ed.), *Unidades de riego: La otra mitad del sector agrícola bajo riego en México* (p.20). Recuperado de <https://publications.iwmi.org/pdf/H026501.pdf>

*Procesos hidroagrícolas y sustentabilidad:
producción agrícola y turismo en México*

Se terminó de imprimir en abril de 2021,
en los talleres de Master Copy, S.A. de C.V.
Plásticos No. 84, local 2, Ala Sur
Fracc. Industrial Alce Blanco
Naucalpan de Juárez, C.P. 53370

Procesos hidroagrícolas y sustentabilidad: producción agrícola y turismo en México, está conformado por cuatro capítulos, en cada uno de ellos se analiza la relevancia del agua desde diferentes perspectivas metodológicas y teóricas aplicadas a la producción agrícola y a la prestación de servicios turísticos en Acapulco, Guerrero, México.

En el primer capítulo, Montesillo-Cedillo José Luis, nos presenta un análisis del rendimiento de maíz grano en México tanto en riego como en temporal al nivel nacional y para cada uno de los estados que conforman al país, con la finalidad de comprobar la superioridad del rendimiento en los sistemas de cultivo con infraestructura de riego; en el capítulo dos, José Isabel Juan Pérez, hace un análisis descriptivo, cualitativo, cuantitativo y cartográfico de los componentes que favorecen la estructura y funcionamiento del sistema agrohidráulico en el Ejido de Santa Ana Xochuca, Municipio de Villa Guerrero, Estado de México; en el capítulo tres, Cruz Vicente Miguel Angel, presenta la importancia de la economía circular en el incremento inducido de la oferta de agua en Acapulco, Guerrero, México. El paradigma de la economía circular se presenta como alternativa al sistema económico actual basado en un modelo de economía lineal (extraer, producir, utilizar, desechar) y, en el cuarto capítulo, Ojeda-Bustamante y coautores, presentan una caracterización de las Unidades de Riego del país. Documentan sus antecedentes históricos, su situación actual y su problemática; destacan la importancia productiva de dichas Unidades de Riego y la contrastan con la de los Distritos de Riego del país.