

Hacer florecer al desierto: Análisis sobre la intensidad de uso de los recursos hídricos subterráneos y superficiales en Chihuahua, México*

José Luis Manzanares Rivera**

doi:10.11144/Javeriana.cdri3-77.hfda

Recibido: 2015-09-10 Aprobado: 2016-03-16 Disponible en línea: 2016-06-15

Cómo citar este artículo: Manzanares Rivera, J. L. (2016). Hacer florecer al desierto: análisis sobre la intensidad de uso de los recursos hídricos subterráneos y superficiales en Chihuahua, México. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 13(77), 35-61. <http://dx.doi.org/10.11144/Javeriana.cdri3-77.hfda>

* Trabajo realizado en el marco del proyecto *Externalidades de la actividad económica sobre el medio ambiente en la frontera norte de México*.

** Profesor investigador adscrito al Departamento de Estudios Urbanos y Medio Ambiente. El Colegio de la Frontera Norte. México. Correo electrónico: jlmanzanares@colef.mx
<http://orcid.org/0000-0003-3394-4967>



Resumen

En México, los efectos de las prácticas agrícolas especializadas sobre los recursos hídricos son objeto de atención creciente. El estado de Chihuahua representa un caso de interés, por la presencia de desarrollos agrícolas altamente especializados que dependen de la extracción de agua subterránea. Adicionalmente, en el estado se localiza el río Conchos, principal tributario mexicano del río Bravo en la frontera con Estados Unidos. El trabajo estima la intensidad de uso de los recursos hídricos por acuífero con base en información georreferenciada y aplica el enfoque metodológico de caudal ecológico para el río Conchos, a partir de registros hidrométricos en el periodo 1947-2011.

Palabras clave:

agua subterránea; Chihuahua; agricultura intensiva

Making the Desert Bloom: an Analysis on the Intensity of the Underground and Surface Water Resource Use in Chihuahua, Mexico

Abstract

In Mexico, the effect of specialized agricultural practices on water resources is subject to growing attention. The Chihuahua state represents a case of particular interest due to the presence of highly specialized agricultural developments which depend on the extraction of underground water. Additionally, the Conchos River is located in this state, being the main Mexican tributary to the Bravo River, in the border with the United States. This work estimates the intensity of the use of water resources by aquifer, based on georeferenced information, applying the ecological flow methodological approach for the Conchos River based on hydrometric records for the 1947 – 2011 period.

Keywords:

underground water; Chihuahua; intensive agriculture

1. Introducción

La interacción de la actividad agrícola, en el contexto del manejo de los recursos hídricos, representa un foco de atención que se aborda con creciente interés en México, dadas las condiciones áridas de los estados del norte, así como debido al establecimiento de desarrollos agrícolas emergentes altamente especializados que operan mediante extracción de agua subterránea en la planicies desérticas del estado de Chihuahua.

En Chihuahua, un estado en la frontera con Estados Unidos en donde las condiciones climáticas se caracterizan por regímenes de precipitación limitados en una parte importante de su territorio, la asignación con fines agrícolas alcanza el 97% del agua disponible. Ante este escenario, la extracción de agua de los acuíferos se ha convertido en una estrategia que posibilita la operación de los desarrollos agrícolas de alto rendimiento, altamente especializados¹ en el estado. Estos desarrollos, de reciente creación, ocupan una superficie de 221 000 hectáreas y se especializan en cultivos de alta densidad económica, como el algodón, cultivo en el que durante el ciclo agrícola 2014 se sembraron 72 000 hectáreas con una asignación de agua subterránea, especialmente en la región norte del estado.

En este trabajo se analiza la configuración territorial en el uso de los recursos hídricos a nivel local para el estado de Chihuahua. El énfasis, dadas las características áridas del estado, se pone sobre la distribución de las concesiones para el aprovechamiento de agua subterránea entre los diferentes actores sociales. Para ello, se propone la estimación de indicadores que caracterizan la presión de uso sobre los acuíferos de la entidad. De forma complementaria, se aplica la noción del caudal ecológico como una herramienta de medición que permite la valoración de los impactos de la relación actividad económica-medio ambiente en la vertiente de agua superficial.

Desde el plano teórico, abordar los retos que supone el manejo de los recursos hídricos en el contexto de la producción agrícola, requiere la adopción de un marco analítico que considere las implicaciones sociales de la distribución de este recurso. La coexistencia de modelos productivos contrastantes en esta región de México añade un elemento de complejidad al análisis, ya que en esta región coexisten al menos tres modelos organizacionales productivos bien diferenciados: el ejidal, el privado tradicional y los desarrollos emergentes altamente especializados. Por un lado, el modelo de propiedad ejidal, que ocupa el 41% de la superficie de la entidad (Secretaría

1 En el presente trabajo se entiende por desarrollo agrícola de alto rendimiento aquellas áreas de cultivo especializadas que se rigen por esquemas de comercialización orientados al mercado, local o de exportación. Así mismo, se hace la distinción entre áreas de cultivo ya consolidadas y aquellas de reciente creación, denominadas emergentes.

de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, 2012), se caracteriza por un esquema de propiedad comunal que data del periodo revolucionario de inicios del siglo XX. En este modelo los derechos de propiedad de la tierra y el control, hasta 1992, habían sido comunales. Una consecuencia de la lógica económica de este modelo es que no se ha generado una utilización intensiva de los recursos, y por lo general las prácticas agrícolas se orientan al autoconsumo.

El modelo organizacional de los desarrollos emergentes altamente especializados, por su parte, combina una estructura de participación común, mediante la afiliación a cooperativas, con una dinámica de mercado orientada a suplir la demanda tanto doméstica como de exportación. Estos núcleos productivos implementan prácticas agrícolas de precisión intensivas, mediante la adopción de tecnologías que permiten optimizar el uso de los recursos, y si bien su asentamiento en el estado de Chihuahua se remonta a la segunda década del siglo XX, ha sido en los últimos veinte años que este modelo ha registrado una notable consolidación, posicionándose como modelo dominante por su eficiencia en la actividad agrícola del estado. El tercer grupo, que lo integran productores tradicionales privados, es el más numeroso y constituye el 46% del total.

La conformación asimétrica en los incentivos de los agentes económicos que participan en la distribución de los recursos hídricos de la entidad, se traduce a su vez en una asimetría en las capacidades de gestión por este insumo que, ante la escasez, plantea retos sociales consistentes con lo que algunos autores han denominado el paradigma de los territorios hidrosociales. En este planteamiento teórico se identifican cuatro elementos distintivos, todos ellos asociados a un proceso de transformación: cambios productivos, cambios físicos, cambios políticos y cambios institucionales.

En el primer grupo se identifican tanto la evolución de las técnicas agrícolas como la selección de los cultivos. Para el caso de estudio, la migración hacia cultivos de mayor densidad económica ha sido evidente. Así, el reciente auge en el cultivo del algodón en las planicies áridas del estado constituye un claro ejemplo de esta transformación que implica la capacidad para conducir un balance entre los requerimientos hídricos y el potencial económico.

En el segundo grupo se percibe como importante la perspectiva de sustentabilidad y el equilibrio con el entorno, por lo que entender estos cambios requiere contar con parámetros sobre el grado de presión que se ejerce sobre los recursos hídricos.

Este hecho resulta evidente en el presente caso de estudio, al vincular la información geográficamente referenciada de las concesiones para extracción de agua subterránea en el área de influencia del principal desarrollo agrícola de alto

rendimiento, localizado en los linderos de la tercera concentración urbana de la entidad por su importancia económica: Ciudad Cuauhtémoc.

En este trabajo, los elementos de cambio político y cambio institucional del marco teórico sobre territorios hidrosociales resultan a su vez relevantes, debido a que representan fuerzas que permiten regular la interacción entre los productores en el proceso de gestión por las concesiones. Así, el mecanismo institucional definido por el Estado para regular el aprovechamiento de los recursos hídricos es la Comisión Nacional del Agua (Conagua), cuya estructura operativa se halla fuertemente centralizada, al ubicarse físicamente en la ciudad de México, a más de 1800 kilómetros de distancia. En consecuencia, su presencia territorial es ínfima en un estado como Chihuahua, localizado en la frontera con los Estados Unidos y el más extenso de la república mexicana. Así, a nivel local, la propia entidad es la que tiene una posición conveniente para la vigilancia e implementación de los esquemas regulatorios, como zonas de veda y actividades de alumbramiento de pozos. Este marco institucional genera un conjunto de fricciones que dan cuenta de debilidades institucionales como la corrupción, un aspecto que rebasa los objetivos de esta investigación.

Dados los elementos expuestos anteriormente, en este trabajo se propone la adopción del marco teórico denominado territorios hidrosociales. Si bien enfoques alternativos como el denominado *seguridad hídrica* contienen elementos que se retoman en este trabajo, este se fundamenta en una visión de desarrollo que reconoce la necesidad de implementar medidas de adaptación (Ballesteros, Arroyo y Mejía, 2015) y provee una base de análisis para generar respuestas a los retos que plantea el manejo de los recursos hídricos compartidos (Saddorf *et al.*, 2015).

En el ámbito empírico, en el estado mexicano de Chihuahua, al norte del país, el establecimiento de desarrollos agrícolas altamente especializados se ha reflejado en una notable transformación en el desarrollo económico de las áreas rurales en las que se han asentado. Más aún, su influencia ha definido el liderazgo productivo que el estado de Chihuahua ha alcanzado en el contexto nacional, y mientras el éxito económico generado por estos desarrollos agrícolas ha permitido la reducción de los costos unitarios de producción, su creciente especialización pone en evidencia una evolución hacia prácticas intensivas que han sido cuestionadas por algunos segmentos de la sociedad con el argumento de la sustentabilidad. En México son escasas las aplicaciones empíricas que abordan esta relación. Esfuerzos como el de Caravantes *et al.* (2013) muestran la importancia de este vínculo al explorar el comportamiento de los acuíferos en México.

En el contexto latinoamericano, la implementación de la perspectiva hidrosocial constituye una línea de investigación que ha cobrado auge recientemente. El

trabajo de Saldi y Petz (2015) destaca este aspecto para la provincia de Mendoza, en Argentina. Los autores documentan que hay un proceso de enajenación del agua, de la tierra y de la producción que, sin embargo, el Estado² presenta como el triunfo del hombre sobre el avance del desierto y la escasez hídrica (Saldi y Petz, 2015, p. 124). Desde la perspectiva de territorios hidrosociales, el caso del Valle de Ica, analizado por Damonte Valencia (2015) en el Perú, representa un caso emblemático en América Latina que pone de manifiesto la redefinición de relaciones de poder entre productores agrícolas y la posibilidad de escenarios de escasez hídrica.

Notablemente, el trabajo de Vallejos *et al.* (2014), en países como Bolivia, Paraguay y Argentina, muestra un denominador común con el caso mexicano de Chihuahua, al indagar en una nueva fase de expansión agrícola que se incrementa de manera exponencial y tiene efectos adversos sobre el entorno. Estudios recientes estiman que para el 2030 la necesidad de superficie cultivable será de entre 81 y 147 millones de hectáreas (Lambin, *et al.*, 2013) y sostienen que, a nivel global, la conversión de tierra para cultivo es inevitable, ubicando a países en Latinoamérica como áreas de futuro desarrollo para la agricultura, por lo que integrar en su dimensión social y ecológica los efectos de esta trayectoria de desarrollo, que tiene lugar en el ámbito rural, es un área fértil de investigación.

De forma paralela, en el contexto europeo la transición hacia prácticas agrícolas de menor impacto ambiental es prioritaria y se fomenta mediante el diseño de mecanismos regulatorios que definen lineamientos para el uso de los recursos hídricos cada vez más focalizados, orientados al control de la extracción subterránea y a evitar prácticas de extracción en ocasiones referidas como anárquicas, tal como lo documentan los trabajos de Vail (1994), López Sanz, (1997), Belmonte (1999) y Peña-Haro (2010). No obstante que en los países latinoamericanos se han diseñado esquemas regulatorios en respuesta a estos cambios, su implementación todavía representa un reto.

Si se considera el uso de agua superficial, en México recientemente se han implementado iniciativas regulatorias que permiten ponderar los aspectos ambientales ante los impactos antropogénicos asociados a las actividades económicas. A nivel nacional, se identifica la existencia de una problemática relativa a la disminución del agua en los cauces, derivada de la competencia entre usos y una regulación hasta años recientes débilmente enfocada al cumplimiento del paradigma de sustentabilidad.

En la práctica, la demanda de agua en lugares aguas arriba de las cuencas hidrológicas no considera la conservación de un escurrimiento hacia las partes bajas

2 En el contexto de este trabajo, la noción de Estado se emplea en un sentido amplio, entendido como el conjunto de instituciones que permiten regular la vida comunitaria nacional.

(NMX-AA-159-SCFI-2012), elemento necesario lograr un uso equilibrado en el largo plazo y la conservación de los servicios ambientales que integran el hábitat.

Iniciativas expresadas en el diseño de instrumentos regulatorios, como la Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012, en la que se establecen los procedimientos relativos a la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas, dan cuenta de este creciente interés.

El objetivo del presente trabajo es estimar la intensidad de uso de los recursos hídricos por acuífero en el estado de Chihuahua, con base en información georreferenciada, asociada a desarrollos agrícolas de alto rendimiento asentados en la región centro-norte del estado y analizar el uso de agua superficial al aplicar el enfoque metodológico de caudal ecológico para el río Conchos, principal tributario mexicano del río Bravo en la frontera con Estados Unidos, a partir de los registros hidrométricos en el periodo 1947-2011.

2. Metodología

Desde el punto de vista de gestión de los recursos hídricos, el estado de Chihuahua se encuentra integrado por cuatro regiones hidrológicas; estas son: Mapimí, Cuencas Cerradas del Norte, Bravo-Conchos y una fracción de las regiones de Sinaloa y Sonora Sur. Dichas regiones comprenden veintidós cuencas, en las cuales se localizan sesenta acuíferos. En este contexto, se plantean dos vertientes de análisis que abordan el uso de agua subterránea y el uso de agua superficial.

En la primera vertiente se estiman dos indicadores de intensidad, con el fin de clasificar los acuíferos según su disponibilidad de agua subterránea. Uno es el propuesto por la Ley Federal de Derechos (LDF) en su artículo 231, que establece los lineamientos a partir de los cuales se define el Índice de Disponibilidad de Agua Subterránea (IDAS) en acuíferos. Este se calcula como el cociente entre el volumen disponible medio anual y el resultado de la diferencia entre la recarga total media anual respecto de la recarga natural comprometida. Aplicando esta definición se obtiene una clasificación de los acuíferos en cuatro zonas de disponibilidad.

El segundo indicador estimado tiene el propósito de capturar el grado de presión de forma complementaria. Se denomina Índice de Volumen Concesionado de Agua Subterránea (Ivcas) y contrasta el volumen concesionado respecto a la capacidad de recarga del acuífero. Se define de la siguiente manera:

$$Ivcas = VCAS / (RT - DNCOM)$$

Donde:

VCAS = volumen concesionado de agua subterránea inscrito en el Registro Público de Derechos de Agua (Repda) expresado en metros cúbicos.

RT = recarga total media anual, expresada en metros cúbicos.

DNCM: descarga natural comprometida, expresada en metros cúbicos.

Para lograr lo anterior se utiliza información georreferenciada proveniente de tres fuentes primarias: la gerencia de agua subterránea de la Comisión Nacional de Agua —órgano rector en materia de agua en México—, las declaratorias históricas de zonas de veda registradas en el Diario Oficial de la federación y los registros de producción agrícola del Servicios de información Agropecuaria y Pesquera (SIAP) para el ciclo agrícola 2014.

En esta primera vertiente se construye la cobertura geográfica de los principales desarrollos agrícolas emergentes identificados en el norte del estado de Chihuahua, con el apoyo de trabajo de campo y sistemas de información geográfica en los desarrollos agrícolas El Oasis y El Valle, principales zonas productoras de algodón en México, y se vincula su ubicación con la distribución espacial de las concesiones para extracción de agua subterránea, a través de dos indicadores del grado de presión antropogénica: el volumen de extracción por acuífero y la profundidad de los pozos.

En la vertiente de análisis de agua superficial se estudia el caudal ecológico. De acuerdo con la declaración de Bisbane 2007, el caudal ecológico se define como el volumen necesario, en términos de cantidad, tiempo y calidad para mantener el equilibrio de los elementos naturales que intervienen en el ciclo hidrológico.³

En esta concepción se ha desarrollado, a nivel global, un conjunto de instrumentos metodológicos para lograr este propósito. Una revisión de estas aproximaciones metodológicas revela la existencia de más de doscientos procedimientos metodológicos, registrados en 44 países a lo largo de seis regiones del mundo. Estos enfoques se pueden clasificar en las siguientes categorías: hidrológico, hidráulico, simulaciones de hábitat y enfoque holístico (Tharme, 2003). Otros estudios hoy en desarrollo enfatizan el componente de calidad, y no solo el volumen o la cantidad de agua necesaria. Los avances en este sentido los documentan Liu *et al.* (2016), entre otros.⁴

³ En particular, en el presente trabajo se aborda el aspecto referido al volumen o cantidad de agua de esta definición.

⁴ Un reto analítico es la elección del método más adecuado, si bien se reconoce que los principios científicos rectores para la determinación del caudal ecológico son el paradigma del régimen hidrológico natural y el del gradiente de la condición biológica.

En el presente trabajo se aplica la metodología denominada de gran visión, propuesta por la Comisión Nacional del Agua. Esta se ubica en la categoría hidrológica y se concentra en el componente cuantitativo. Este enfoque metodológico seleccionado provee una base para evaluar el grado de alteración de la corriente superficial de interés. La selección de esta metodología se debe a que establece como punto de partida la determinación de un estado de conservación objetivo, bajo consideraciones ambientales. Un enfoque que concede al entorno ecológico una posición prioritaria. Su aplicación es factible gracias a la disponibilidad de información histórica proveniente de estaciones hidrométricas de la red nacional que mantiene Conagua.

El grado de conservación deseado se define como la meta que permite la recuperación de los componentes del régimen hidrológico. Esta noción de grado de conservación integra a su vez dos elementos conceptuales: la importancia ecológica de la zona en donde se sitúa el caudal estudiado, así como el grado de presión de uso al que se encuentra sometido el caudal por las concesiones otorgadas.

En conjunto, estos dos elementos permiten fijar el porcentaje del volumen anual de agua que se deberá reservar sobre el régimen actual para uso ambiental o para la conservación ecológica, a partir de las siguientes cuatro categorías: A: un objetivo ambiental cuyo estado o nivel de conservación deseado es muy bueno, B: bueno, C: moderado, D: deficiente.

La matriz de decisión que se presenta en la tabla 1 muestra los criterios de selección, así como los valores de referencia para el volumen de escurrimiento medio anual requerido como caudal ecológico.

TABLA 1. Matriz de decisión y valores de referencia para el escurrimiento medio anual

	Muy alta	A	A	B	C	Objetivo ambiental	Estado de conservación	EMA %
Importancia ecológica	Alta	A	B	C	D	A	Muy bueno	> 40
	Media	B	C	C	D	B	Bueno	25-39
	Baja	B	C	D	D	C	Moderado	15-24
		Baja	Media	Alta	Muy alta	D	Deficiente	14- may
	Presión de uso							

NOTA: EMA: escurrimiento medio anual. A = un objetivo ambiental cuyo estado o nivel de conservación deseado es muy bueno, B = bueno, C = moderado, D = deficiente.

FUENTE: Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012

La determinación del objetivo ambiental correspondiente para las cuencas hidrológicas de México obedece a criterios ecológicos que incluyen la presencia de áreas naturales protegidas, humedales de importancia internacional (Convención de Ramsar), lugares prioritarios para la conservación de los ecosistemas acuáticos epicontinentales — definidos por entidades regulatorias como la Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (Conabio)—, y la presión de uso para aguas superficiales, conforme a las disponibilidades publicadas en el Diario Oficial de la Federación. Estos objetivos se encuentran delineados en la norma oficial mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012 y representan un insumo para la presente estimación de caudal ecológico.

La información analizada en esta vertiente se obtuvo del registro de las estaciones hidrométricas que mantiene el banco nacional de datos de aguas superficiales. Este registro contiene información histórica de los volúmenes de escurrimiento, con periodicidad diaria expresada en metros cúbicos por segundo. Para el estado de Chihuahua se tiene registro de 56 estaciones hidrométricas, con un promedio de 32 años de información por estación.

La estación hidrométrica analizada cuenta con 65 años de información y se ubica sobre en el río Conchos, en coordenadas longitud 105°22'46'', latitud 27°34'66'', en las inmediaciones del lago Colina, una importante zona agrícola en el centro del estado que abastece al corredor agrícola Jiménez-Camargo-Delicias.

Por su caudal, el río Conchos es el principal río del estado de Chihuahua; es además el principal afluente del río Bravo en la frontera con Estados Unidos. Esta corriente atraviesa el estado desde su nacimiento en el municipio de Bocoyna en la Sierra Madre Occidental, en un trayecto de 530 kilómetros hacia su desembocadura en el río Bravo, alrededor de la ciudad de Ojinaga, en la frontera con Texas.

Respecto a su importancia ecológica, el río Conchos sostiene ecosistemas caracterizados por la riqueza de su biodiversidad y por el alto índice de endemismo de sus especies, con diez especies de peces documentadas como endémicas, de las 48 identificadas a lo largo de su cauce, como la trucha Aparique, una especie de trucha mexicana única que centra su hábitat en esta corriente, o el *Cyprinodon* Julimes, otra especie íctica que habita en el alto Conchos (World Wildlife Fund, 2009). Alberga humedales considerados de importancia internacional por la convención Ramsar y su cuenca se reconoce como una región hidrológica prioritaria por la Conabio (Arriaga, Aguilar y Alcocer, 2002).

En particular para la sección sobre agua superficial, se analiza el tramo denominado cuenca río Conchos 1, que se extiende desde el nacimiento del río hasta la presa de La Boquilla (Diario Oficial de la Federación [DOF], 29 de agosto del 2013).

La aplicación de la metodología de caudal ecológico en el análisis de esta región del estado de Chihuahua resulta pertinente, debido a que en ella la actividad agrícola es intensa y el suministro de agua se abastece primordialmente del flujo que provee el río Conchos con el apoyo de la obra hidráulica de mayor magnitud en el estado, por su capacidad de almacenamiento de 2894 hectómetros cúbicos, que es la presa La Boquilla (Sistema Nacional de Información del Agua, 2012). Por su importancia, esta corriente de agua superficial ha sido objeto de estudios en el contexto del establecimiento de reservas de agua potenciales en México, una aproximación que considera las funciones sociales y los grados de presión, en conjunto con las metas ambientales de conservación (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], Conagua, 2011).

El registro de la estación hidrométrica río Conchos 1 inicia en 1945, lo que permite el contraste histórico entre el régimen natural, definido como el comportamiento observado durante los primeros veinte años de información, y el régimen actual del caudal, es decir, los veinte años más recientes de información.

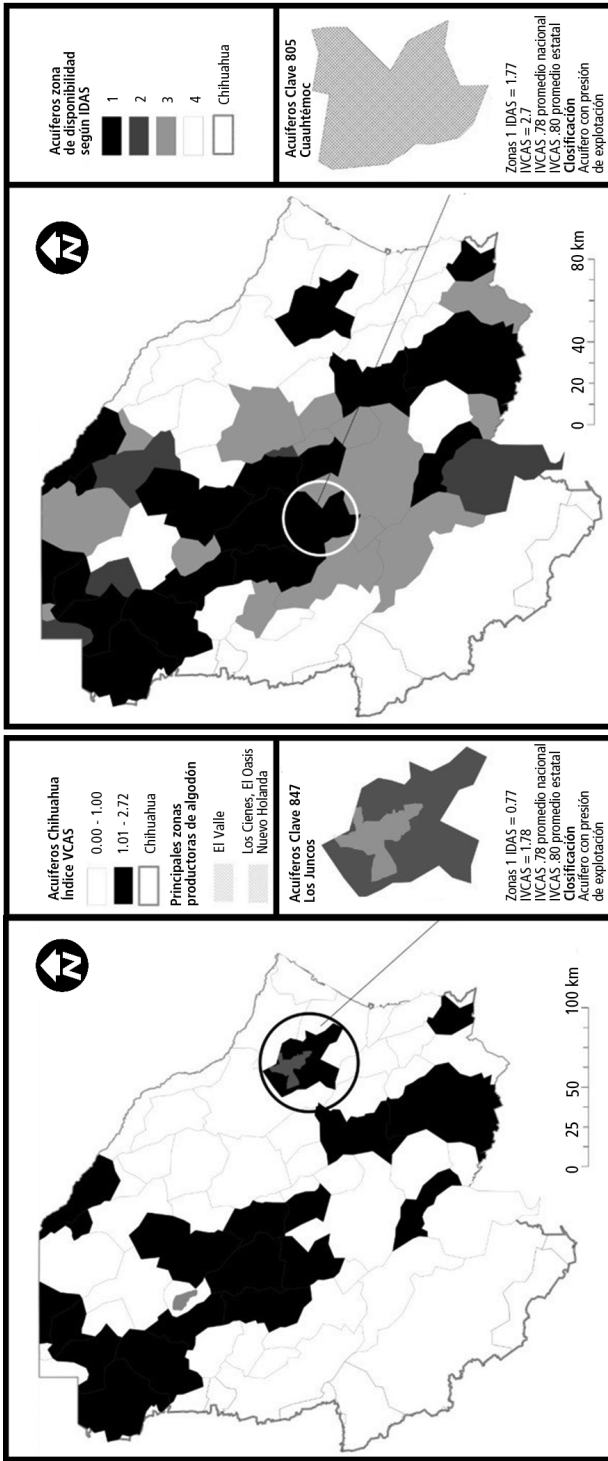
De acuerdo con estudios de disponibilidad para la cuenca, esta corriente tiene una importancia ecológica alta, así como una presión de uso catalogada como muy alta (NMX-AA-159-SCFI-2012). La combinación de estos criterios en la matriz de decisión permite inferir que el objetivo ambiental deseado se clasifica como D. El flujo del caudal ecológico requerido que es necesario estimar, dada esta clasificación, será de 14% del escurrimiento medio anual observado.

3. Resultados

3.1. *Caracterización de la disponibilidad y presión de uso sobre agua subterránea en el estado de Chihuahua*

Bajo el enfoque del IDAS, que establece cuatro zonas de disponibilidad, siendo la zona 1 la de menor disponibilidad y la zona 4 la de mayor disponibilidad, se identifica que el 50% de los acuíferos en el estado de Chihuahua a 2015 se encuentran en situación zona 1, que representa el mayor grado de presión, sumando un total de 18 acuíferos. El 8% se encuentra en zona 2, el 28% en zona 3 y un 34% en zona 4.

El mapa 1 representa los sesenta acuíferos de la entidad, de acuerdo con la zona de disponibilidad. En el mapa de la derecha se muestra el Ivcas, para distinguir los acuíferos con presión de explotación.



MAPA 1. Acuíferos del estado de Chihuahua según zona de disponibilidad de agua

FUENTE: Conagua, Disponibilidad de agua subterránea

Los resultados de la estimación del Ivcas permiten identificar diecinueve acuíferos que se hallan en situación de sobreexplotación, siendo los de mayor presión el acuífero 848 Laguna de Palomas, ubicado justo en el vértice que se forma en la frontera de los estados de Coahuila y Durango, con Ivcas de 2,72. En segundo lugar, el acuífero 805, Cuauhtémoc, con Ivcas de 2,7, que abastece al primer desarrollo agrícola menonita iniciado en México hace noventa años. En tercer lugar, se identifica el acuífero 804, Buenaventura, con un Ivcas de 2. En los tres casos, el volumen concesionado duplica su capacidad de recarga.

El acuífero Cuauhtémoc resulta un caso representativo en cuanto a la extracción de agua subterránea, asociado a la actividad agrícola intensa. Considerando los registros históricos de extracciones en la década de 2000-2010, se generó un incremento en el volumen extraído de 322%, al pasar de 134,7 millones de metros cúbicos por año a 596 millones a inicios de la presente década. Entretanto, la extracción destinada al uso público, urbano y doméstico registró un incremento de 6% en el mismo periodo.

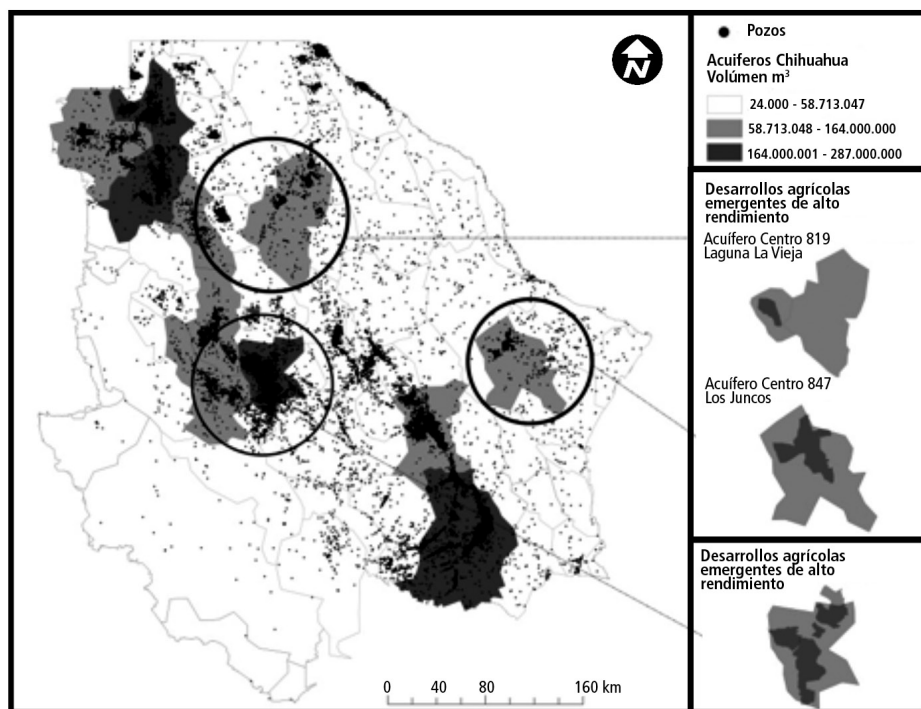
Se identifica la creación de desarrollos agrícolas de alto rendimiento (DAAR), operados comercialmente a través de la extracción de agua subterránea a lo largo del estado, orientados a la producción de algodón. De estos, el principal se localiza en el acuífero 847, Los Juncos. Su operación se inició en 1996 con una superficie de 3505 hectáreas, en los límites de los municipios de Ojinaga, Camargo, Alama y Julimes.

Ya en el 2014, este DAAR cultiva una superficie de cuarenta mil hectáreas, con un estimado de 2500 pozos en la zona. Las cifras del 2015 indican que el acuífero 847 Los Juncos presenta un Ivcas de 1,78, por lo que se encuentra ya sobreexplotado.

El segundo caso emergente, en cuanto a la dependencia de la extracción de agua subterránea con fines de producción agrícola, es el DAAR ubicado en el acuífero 819, Laguna La Vieja, en el municipio de Buenaventura. Este desarrollo inició operaciones en el 2002. Trece años más tarde, en el ciclo agrícola 2014, se cultivan 8658 hectáreas de algodón a partir de la extracción subterránea de agua. Sin embargo, las cifras de Conagua a 2015 permiten estimar un Ivcas de .60, lo que indica que el acuífero aún no se haya en situación de sobreexplotación y posee disponibilidad.

Al considerar los desarrollos agrícolas emergentes de alto rendimiento situados en los acuíferos Los Juncos y Laguna La Vieja, y ante la experiencia de otras regiones del estado donde el uso intensivo de agua subterránea ha generado desequilibrios, como el caso emblemático del acuífero 805 Cuauhtémoc, la pregunta sobre las sustentabilidad en el uso de los recursos hídricos subterráneos adquiere relevancia.

El reconocimiento de esta evolución intensa en el uso del agua subterránea del estado ha llevado a plantear proyectos multidisciplinarios, conducidos por las instituciones



MAPA 2. Desarrollos agrícolas emergentes de alto rendimiento, volumen de extracción de agua subterránea por acuífero

FUENTE: Conagua, Gerencia de Aguas Subterráneas [GAS] (2009)

encargadas de diseñar la política hídrica nacional, como la Conagua, en conjunto con el Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (Conacyt), en donde se reconoce, respecto a los acuíferos Los Juncos y Laguna la Vieja, entre otros hechos, que

Hoy en día se encuentran en una condición en que de manera permanente y prolongada han estado sujetos a un ritmo de explotación en que el volumen de extracción anual de las aguas del subsuelo ha rebasado al valor de la recarga media anual. Ésta situación no es sostenible ni sustentable, ya que se corre el riesgo de que las actividades productivas que dependen del agua subterránea, principalmente el sector agrícola, se vean afectadas notablemente ante un escenario de escasez de agua y riesgo de su agotamiento. (Convocatoria Conagua-Conacyt 2008, I Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo Sobre el Agua, p. 10)

Del anterior análisis se deduce que la presión de uso sobre el agua subterránea en el estado de Chihuahua está asociada a importantes zonas de producción agrícola específicas, definidas en este trabajo como desarrollos agrícolas emergentes de alto rendimiento, y en menor medida con los asentamientos urbanos de la entidad. El

nivel de sobreexplotación observado en los acuíferos de las principales áreas urbanas es inferior al observado en las regiones ya referidas, con un Ivcas de 1,68 para el acuífero clave 833 Valle de Juárez, donde se asienta la principal ciudad del estado: Juárez, y un Ivcas de 1,77 para el acuífero clave 830, Chihuahua-Sacramento, donde se localiza la capital de la entidad y segunda en tamaño, con una población de 1 332 131 habitantes y 837 000, respectivamente (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi], 2010).

Adicionalmente, el contraste de la información de aprovechamientos de agua subterránea, según el uso concesionado, permite corroborar que el 84% del agua subterránea concesionada está destinado al uso agrícola, nivel superior al promedio nacional que llega al 70%, y destaca el hecho de que la actividad industrial solo representa el 2,6%. Al considerar el indicador de volumen concesionado, se observa que el 80% de los acuíferos con mayor nivel de extracción se hallan en zonas con desarrollos agrícolas de alto rendimiento (Cuauhtémoc, Ascensión, Casas Grandes y Janos). Asimismo, un indicador de interés al considerar la calidad del agua es el de profundidad promedio del pozo; esta variable tiene una relación inversa con la calidad del agua. Así, se observa que tres de los cinco acuíferos con pozos a mayor profundidad se localizan nuevamente en desarrollos agrícolas de alto rendimiento, con Santa Clara y Cuauhtémoc como desarrollos consolidados y Laguna La Vieja como desarrollo agrícola emergente especializado en la producción de algodón (tabla 2).

Con el fin de revertir la sobreexplotación de los acuíferos y cuencas de México, se han declarado zonas de veda que restringen la extracción de agua subterránea en diversas zonas del país. A diciembre de 2011 se tenían registradas 160 zonas de veda en todo el territorio nacional, decretadas durante el periodo de 1948 a 2007 (Sistema Nacional de

TABLA 2. Distribución de aprovechamientos por tipo de uso y principales acuíferos según números de pozos, volumen concesionado y profundidad de pozos

Uso	VOL. HM ³	%	ACUÍFERO	CLAVE	PROFUNDIDAD	
Agrícola	2206,63	84,02%	1 Buenaventura	804	175 (m)	
Público urbano	321,81	12,25%	2 Valle de Juárez	833	166	
Industrial	69,8	2,66%	3 Santa Clara	822	166	
Múltiples	15,41	0,59%	4 Cuauhtémoc	805	162	
Pecuario	6,58	0,25%	5 Laguna La Vieja	819	161	
Servicios	4,01	0,15%	PRINCIPALES POR VOLUMEN		VOL. HM ³	
Doméstico	1,95	0,07%	1 J-Camargo	832	286	2072
Acuicultura	0,16	0,01%	2 Cuauhtémoc	805	268	2555
Abrevadero	0,02	0,00%	3 Ascensión	801	240	1204
			4 Casas grandes	806	191	1138
Total	2626,38	100%	5 Janos	808	163	997

FUENTE: Conagua, Gerencia de Aguas Subterráneas [GAS], 2009

Información del Agua, 2012). De acuerdo con Conagua, las vedas pueden ser de tres tipos, que se definen en seguida: tipo I: zonas de veda en las que no es posible aumentar las extracciones sin peligro de abatir peligrosamente o agotar los mantos acuíferos; tipo II: zonas de veda en las que la capacidad de los mantos acuíferos solo permite extracciones para usos domésticos; tipo III: zonas de veda en las que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros (Sistema Nacional de Información del Agua, 2012).

En Chihuahua, esta estrategia para establecer zonas de veda adquiere relevancia, dadas las condiciones climáticas desérticas y los escasos niveles de precipitación en la parte norte del estado.

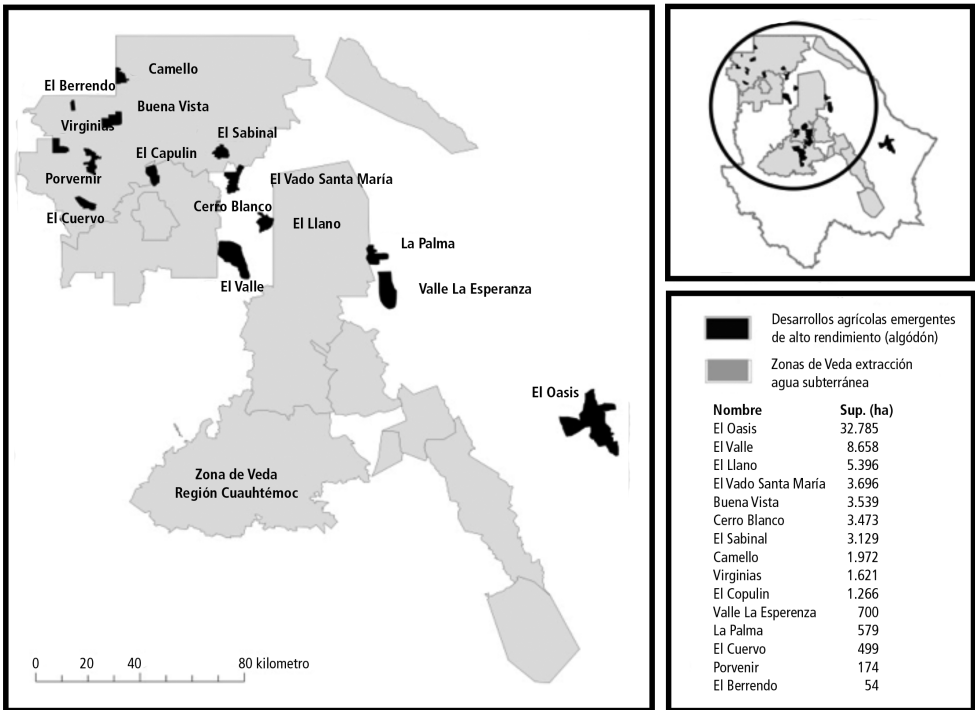
Dentro del estado se tienen declaradas trece zonas de veda para la extracción de agua subterránea. Destacan en la parte norte del estado tres zonas en las que se asientan desarrollos agrícolas emergentes de alto rendimiento, estas son: veda Asunción-Janos, emitida en DOF (1979-04-25). Esta se clasifica como tipo II; la zona de veda en los municipios de Galeana, Casas Grandes y Nuevo Casas Grandes, decretada en DOF (1981-03-27), con clasificación tipo II; la zona de veda que comprende el distrito de riego de Casas Grandes, clasificada como tipo III, emitida en el DOF (1954-07-06); y las zonas restantes, localizadas hacia el centro-sur del estado, se clasifican como tipo III, por lo que permiten la extracción limitada.

Durante el ciclo agrícola 2014, los principales DAAR sembraron una superficie de 74 000 hectáreas, por lo que la dependencia de estos del agua subterránea plantea un reto para la implementación de la estrategia de zonas de veda propuestas. En el centro del estado, el caso de la zona de veda denominada región Cuauhtémoc, declarada en el DOF (1967-10-21), es de interés, ya que en esa región se tiene el mayor número de pozos concesionados en todo el estado, con 2555, y el segundo volumen más elevado de extracción (Conagua, 2009). Esta zona de veda está clasificada como tipo III, lo que implica que los mantos acuíferos permiten extracciones limitadas, por lo que la evidencia sugiere que el ritmo de extracción en este caso no es consistente con la definición de la zona.

Por otra parte, es ampliamente aceptado que las aguas subterráneas pueden sufrir de contaminación tanto por condiciones naturales como por condiciones antropogénicas (Leal-Ascencio y Gelover, 2008). Así, los efectos del uso intensivo de los recursos hídricos provenientes del subsuelo se manifiestan con una serie de externalidades negativas claramente identificadas en la literatura por la pérdida de calidad del líquido, asociada a la presencia de elementos naturales que incluyen metales pesados, arsénico y otros elementos cuyos efectos adversos a la salud humana son probables.

El mapa 3 muestra la localización de los desarrollos agrícolas emergentes de alto rendimiento, en relación con las zonas de veda del estado.

Adicionalmente, desarrollos agrícolas emergentes como El Berrendo, Cuervo y Porvenir operan en áreas declaradas reservas de la biosfera, en el área natural protegida de Janos, una región considerada de importancia por su biodiversidad y que es regulada mediante programas de ordenamiento ecológico, con fundamento en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (Decretos, Programas de Manejo Conanp, 2015). Según reconoce el propio Sistema de Información, Monitoreo y Evaluación para la Conservación (Simec), de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp), en este sitio la problemática que se tiene es el uso indiscriminado de los pozos y la apertura de nuevos campos agrícolas (Simec, ficha técnica, 2015).



MAPA 3. Áreas de veda de aguas subterráneas y principales desarrollos agrícolas emergentes de alto rendimiento. Producción de algodón ciclo agrícola 2014

FUENTE: Conagua (2009), Producción algodón 2014, Sagarpa, Servicios de Información Agropecuaria y Pesquera [SIAP] (2014)⁵

5 De acuerdo con el Servicios de Información Agropecuaria y Pesquera (SIAP), en el estado de Chihuahua se sembraron en el ciclo agrícola 2014 un total de 123 228,53 ha de algodón. De este modo, el 60% de la producción estatal se atribuye a los quince desarrollos agrícolas emergentes de alto rendimiento mostrados en el mapa 3.

Si bien los estudios que abordan las externalidades negativas vinculadas a la extracción de agua subterránea para la región norte del estado son aún escasos, y aquellos disponibles se concentran en las inmediaciones de los principales centros urbanos, estudios recientes realizados por Conagua (1996) y analizados por Camacho *et al.* (2011), en las proximidades de áreas urbanas en el sur del estado como Delicias-Meoqui y Jiménez-Camargo, encuentran niveles de arsénico en concentraciones que duplican el límite establecido en México, que es de 25 ugL^{-1} . A este respecto, estudios similares conducidos por Ruiz-Gonzales y Mählknecht (2006) documentan niveles de 450 ugL^{-1} en las proximidades de la ciudad de Delicias, mientras el estudio de Espino-Valdes *et al.* (2009) reporta concentraciones superiores a los límites establecidos en 72% de los pozos analizados en el acuífero Meoqui-Delicias. Este escenario sugiere que estudios en zonas con actividad emergente, como los desarrollos agrícolas del norte del estado, podrían aportar información de interés en esta materia.

3.2. Aguas superficiales: caudal ecológico y grado de alteración

La estimación del caudal ecológico busca determinar el volumen anual de agua que es necesario reservar con finalidad ambiental, considerando los siguientes elementos: el régimen diario de caudales, la naturaleza perene de la corriente, el grado de presión considerado muy alto que presenta y el objetivo ambiental.

El caudal mensual medio (cmm) observado en la serie histórica 1946-2010 es de $28,1 \text{ m}^3/\text{s}$, con un nivel máximo alcanzado en el mes de septiembre con $Q_{\text{ecolsep}} = 6 \text{ m}^3/\text{s}$. Si el caudal ecológico se fija en 14%, de acuerdo con la discusión en la metodología, el caudal ecológico requerido es: $Q_{\text{E.E.}} = 3,9 \text{ m}^3/\text{s}$ (tabla 3).

En la figura 1 se representa el caudal en distintos escenarios de conservación.

El restablecimiento del equilibrio ecológico para el río Conchos significaría la recuperación de condiciones ambientales, al mitigar impactos antropogénicos como la contaminación por agroquímicos, desechos sólidos y aguas residuales urbanas e industriales. Este escenario permitiría restaurar funciones como la regulación o la estabilidad del clima regional y otros servicios que, en última instancia, implican la realización de la actividad humana en coexistencia con las condiciones naturales del entorno en el largo plazo.

Ante los escenarios de caudal ecológico estimados, un componente básico de la estrategia para lograr el volumen necesario con fines ambientales, es la reducción de la ineficiencia en el uso actual. No obstante, una estrategia complementaria que se ha adoptado en distintos países consiste en la implementación de esquemas de redistribución de derechos de agua intersectoriales. Este es un mecanismo cada vez

TABLA 3. Estimación de caudal ecológico. Estación hidrométrica Colina, Río Conchos 1

ESCURRIMIENTO MEDIO ANUAL = EMA = 28,1										
Mes	cmm	DEFICIENTE		MODERADO		BUENO		MUY BUENO		Q.E.=14%
		5%	14%	15%	24%	25%	39%	40%	80%	
Ene.	15,7	0,8	2,2	2,4	3,8	3,9	6,1	6,3	12,6	2,2
Feb.	24,2	1,2	3,4	3,6	5,8	6	9,4	9,7	19,4	3,4
Mar.	33	1,7	4,6	5	7,9	8,3	12,9	13,2	26,4	4,6
Abr.	40,6	2	5,7	6,1	9,8	10,2	15,8	16,3	32,5	5,7
May.	41	2,1	5,7	6,2	9,8	10,3	16	16,4	32,8	5,7
Jun.	39	1,9	5,5	5,8	9,4	9,7	15,2	15,6	31,2	5,5
Jul.	35,4	1,8	5	5,3	8,5	8,9	13,8	14,2	28,3	5
Ago.	32,9	1,6	4,6	4,9	7,9	8,2	12,8	13,2	26,3	4,6
Sep.	43	2,2	6	6,5	10,3	10,8	16,8	17,2	34,4	6
Oct.	18,1	0,9	2,5	2,7	4,3	4,5	7	7,2	14,4	2,5
Nov.	8,2	0,4	1,2	1,2	2	2,1	3,2	3,3	6,6	1,2
Dic.	5,5	0,3	0,8	0,8	1,3	1,4	2,2	2,2	4,4	0,8
Promedio	28,1	1,4	3,9	4,2	6,7	7	10,9	11,2	22,4	3,9

NOTA: las iniciales corresponden a los meses del año.

FUENTE: elaboración propia con datos de Conagua, Banco nacional de datos de aguas superficiales

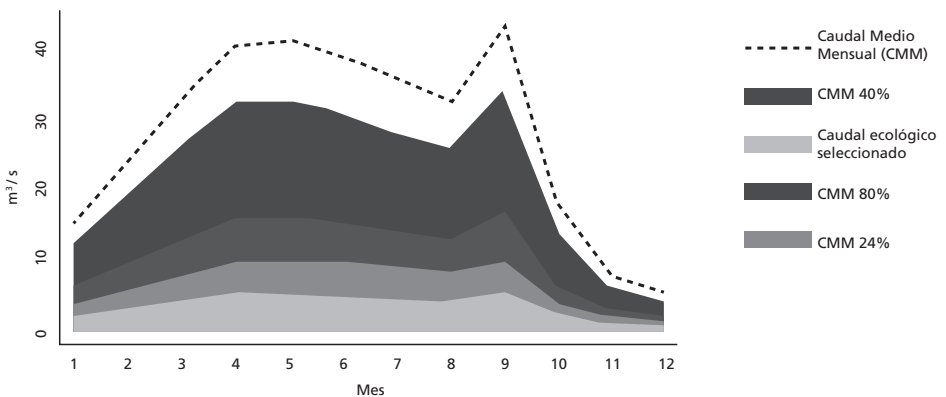


FIGURA 1. Caudal ecológico y escenarios de conservación según caudal medio mensual (CMM). Estación hidrométrica Colina, Río Conchos 1, Chihuahua

FUENTE: elaboración propia, con datos de Conagua. Banco nacional de datos de aguas superficiales

más dinámico, que se fundamenta en el paradigma teórico de seguridad hídrica y opera a partir de herramientas para la gestión de recursos hídricos como los bancos de agua, lo que implica la adopción de un mercado de transmisión de derechos de agua y la redefinición de incentivos económicos entre los agentes.

La siguiente pregunta que se busca responder a partir de la información histórica de la estación hidrométrica es si el caudal presenta alteraciones eco-hidrológicas que se definan, según la norma NMX-AA-159-SCFI-2012, como modificaciones inducidas de la calidad, cantidad y temporalidad de los regímenes hidrológicos, causadas por infraestructura hidráulica, carretera y urbana, principalmente, lo cual altera la provisión de servicios ambientales. De este modo, se busca determinar si existe o no afectación significativa al régimen hidrológico natural debido a la presencia de actividad antropogénica.

Para responder a esta pregunta, se estima el grado de alteración que presenta el caudal actualmente, respecto a su régimen hidrológico natural. Este análisis requiere el contraste entre el comportamiento del régimen natural (RHN), que se define en este trabajo a partir de la información de los primeros veinte años de la serie histórica 1946-1965, confrontada con la situación actual (RHA), con el comportamiento de los veintiún años finales de la serie 1990-2010. El criterio establecido por la metodología considera significativamente alterado el caudal si menos del 50% de los meses y/o de los años representados por el RHA se encuentran contenidos entre los percentiles p10 y p90 del RHN (NMX-AA-159-SCFI-2012).

TABLA 4. Análisis de alteración de caudal río Conchos 1. Estacion hidrométrica 24077 Colina. Contraste del régimen hidrológico natural vs. el régimen hidrológico actual

MES	RHN			RHA			
	p10	p50	p90	M ³ /SEG.	MESES CUMPLE	TOTAL MESES	%
Ene.	4,4	14,5	23,6	1,8	2	21	10%
Feb.	4,2	15,1	31,3	3,5	4	21	19%
Mar.	5,6	26,9	35,3	30,9	10	20	50%
Abr.	21,2	37,7	41,2	35,7	8	21	38%
May.	21,8	38,2	43,5	42,4	7	20	35%
Jun.	18,9	37,1	45,2	42,8	10	21	48%
Jul.	19,3	38,2	41,6	34,4	9	21	43%
Ago.	24,5	34,2	39,6	21,9	3	21	14%
Sep.	15	23,9	32,3	27,7	9	21	43%
Oct.	3,7	12	25,3	3,3	5	20	25%
Nov.	3,6	7,3	25,8	1,3	4	20	20%
Dic.	3,5	11,6	18,4	1,4	5	20	25%
Aportación media (suma)	145,6	296,8	403	247,1	76	247	30,80%
Caudal medio anual (promedio)	12,1	24,7	33,6	20,6	Años cumple: 9	Años total: 21	42,90%

FUENTE: elaboración propia, con datos de Conagua. Banco nacional de datos de aguas superficiales. Ver anexo para las series RHA y RHN.

Como resultado de la estimación anterior, se encuentra que solo el 30,8% de los 247 meses considerados en el régimen hidrológico actual cumplen con el criterio de no alteración. En segunda instancia, el porcentaje de años que cumple con el caudal en el rango de los percentiles p10 y p90 es inferior al 50%, alcanzando solo el 42%, por lo que se concluye, con base en la información de la estación hidrométrica 24077, ubicada en las inmediaciones de lago La Colina, en el municipio de San Francisco de Conchos, que el caudal del río Conchos 1 presenta alteraciones eco-hidrológicas significativas.

Los resultados anteriores tienen implicaciones respecto a los niveles de uso de agua en los diferentes sectores económicos de la región. En este sentido, se ha observado un incremento de la demanda en los sectores industrial y agrícola y en la operación de zonas poblacionales en crecimiento, en particular ante el auge agrícola en el corredor Camargo-Delicias cuyas obras de infraestructura hidráulica hacen factible la operación de los distritos de riego y configuran, en última instancia, territorios hidrosociales, una concepción que implica la interacción de relaciones de poder en la zona.

4. Conclusiones

La evidencia analizada a partir del estudio de caso del estado de Chihuahua en el norte de México sugiere que la elevada especialización que caracteriza a la actividad agrícola en las planicies áridas del norte de dicho estado, se asocia a incentivos de mercado que favorecen prácticas agrícolas de alta eficiencia. Estas han permitido optimizar los recursos hídricos escasos de esta región fronteriza y maximizar los rendimientos por hectárea, al asignar los volúmenes concesionados de agua subterránea a cultivos seleccionados a partir de un balance entre densidad económica y requerimientos hídricos.

Se identificó que el liderazgo de la entidad en cultivos de alta densidad económica como el algodón es un resultado que se atribuye, primordialmente, a productores en el modelo que en esta investigación se ha denominado *desarrollos agrícolas emergentes* y de forma marginal a productores en el esquema tradicional, ya sea privado o ejidal.

Desde esta perspectiva, el modelo de propiedad social tradicional definido por la estructura ejidal, que en el 2016 caracteriza al 41% de la superficie en el estado de Chihuahua, se ha visto superado por el modelo organizacional de los desarrollos agrícolas emergentes en esta entidad. Esta asimetría en la eficiencia de ambos

modelos productivos se hace evidente con el crecimiento que han logrado los desarrollos emergentes, en cuanto al número de concesiones para el aprovechamiento de aguas subterráneas, lo que ha permitido su expansión en términos geográficos a lo largo del estado en los últimos veinte años.

Tal como el planteamiento teórico sobre territorios hidrosociales lo sugiere, la distribución de las concesiones hídricas en este caso se halla en el centro del surgimiento de tensiones sociales, ante la disputa por el acceso a este insumo básico para la actividad agrícola. No obstante, más allá de esa percepción, las tensiones entre productores han permitido evidenciar la existencia de nuevas relaciones de poder entre los agentes económicos, que se expresan en la integración de territorios hidrosociales promovidos ante la creciente escasez del recurso hídrico y revelan asimetrías entre los modelos organizacionales que coexisten en el territorio rural de Chihuahua: el ejidal, el privado tradicional y los desarrollos emergentes de alta especialización.

De forma complementaria, al aplicar el enfoque metodológico del caudal ecológico para el río Conchos, fue posible documentar desequilibrios que tienen un impacto socioambiental adverso sobre esta arteria hídrica, que hace factible la producción de una importante zona agrícola basada en el modelo tradicional en la región central de la entidad. Considerando este escenario, una estrategia que se considera factible, con fundamento en el paradigma teórico de seguridad hídrica, consiste en la implementación de esquemas de redistribución de derechos de agua intersectoriales; este es un mecanismo que opera a partir de herramientas para la gestión de los recursos hídricos como los bancos de agua, lo que implica la adopción de un mercado de transmisión de derechos de agua y la redefinición de incentivos económicos entre los agentes.

En segunda instancia, los resultados de esta investigación sugieren que una consecuencia de la dinámica productiva que caracteriza a los desarrollos agrícolas emergentes, es una tendencia a la monopolización en torno a los recursos hídricos subterráneos en la entidad por parte de los productores bajo este modelo organizacional. Un modelo que ha dado como resultado en el plano social la construcción de comunidades prosperas distribuidas en el espacio rural chihuahuense, cuyo desarrollo contrasta por su armonía con aquel de las comunidades rurales tradicionales.

Si bien un elemento importante del círculo virtuoso generado por los desarrollos agrícolas emergentes es el acceso y uso eficiente de los recursos hídricos, este no se ve limitado por la frontera hídrica; más bien se sustenta en un modelo organizacional que combina la integración comunal y la formación de cooperativas con la lógica de

mercado, elementos que hasta el momento no se han replicado de manera generalizada con éxito por parte de los productores tradicionales.

En términos del paradigma de sustentabilidad asociado al reto que plantea la intensidad en el uso de los recursos hídricos provenientes de los acuíferos, se identifica que la incorporación de tecnologías para el uso eficiente del agua es una condicionante para llevar a cabo actividades agrícolas en esta región en los próximos años. Más aún, el modelo ejidal se percibe como un modelo productivo que podría experimentar un proceso de transformación en los próximos años, debido a los costos de la adopción de tecnología para el acceso a recursos hídricos subterráneos y la necesidad de implementación de prácticas de riego de alta eficiencia en el marco de esquemas de agricultura de precisión.

Finalmente, dado que el modelo productivo de los desarrollos agrícolas emergentes asentado en el norte de Chihuahua se ha replicado con éxito en otras comunidades de México, ante la búsqueda de nuevas superficies de cultivo con disponibilidad de recursos hídricos, y considerando que agricultores provenientes de Chihuahua se han establecido recientemente en países de América Latina como Bolivia, Argentina y Brasil, la experiencia en México de este modelo podría ser de utilidad para aportar elementos que contribuyan a la integración armónica y el desarrollo rural de esas nuevas comunidades, más allá de las fronteras de Chihuahua, México.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo recibido a través del Sistema Nacional de Investigadores.

Referencias

- Alianza World Wildlife Fund (wwf - México), Fundación Gonzalo Río Arronte (FGRA) y Gobierno del Estado de Chihuahua (2009). *Los peces del Río Conchos*. Recuperado de www.wwf.org.mx
- Arriaga, L., Aguilar, V. y Alcocer, J. (2002). *Aguas continentales y diversidad biológica de México*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Ballesteros, M., Arroyo, V. y Mejía, A. (2015). *Inseguridad económica del agua en Latinoamérica: de la abundancia a la inseguridad*. Banco de Desarrollo de América Latina y Corporación Andina de Fomento (CAF).

- Belmonte, A., Calera, J., Medrano González, A., Vela Mayorga, S. y Castaño Fernández, S. (1999). GIS tools applied to the sustainable management of water resources: Application to the aquifer system 08-29. *Agricultural Water Management*, 40(3), 207-220.
- Brisbane Declaration (2007). *The Brisbane Declaration: Environmental flows are essential for freshwater ecosystem health and human well-being*. Brisbane, Australia, 3-6 de septiembre. Recuperado de <http://www.eflownet.org/viewinfo.cfm?linkcategoryid=4&linkid=13&siteid=1&FuseAction=display>
- Camacho, L., Gutiérrez, M. y Alarcón-Herrera, M. (2011). Occurrence and treatment of arsenic in groundwater and soil in northern Mexico and southwestern USA. *Chemosphere*, 83(3), 211-225.
- Caravantes, R., Bravo Peña, L. C., Alatorre Cejudo, L. C. y Sánchez Flores, E. (2013). Presión antropogénica sobre el agua subterránea en México: una aproximación geográfica. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 82, 93-103.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2015). *Sistema de Información, monitoreo y evaluación para la conservación*. Recuperado de https://simec.conanp.gob.mx/consulta_fichas.php?menu=2
- Comisión Nacional del Agua (s. f.) *Banco Nacional de datos de aguas superficiales (Bandas)*. Recuperado de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/Portada%20BANDAS.htm>
- Comisión Nacional del Agua (1996). *Estudio hidrológico, hidrogeoquímico y de la incidencia de arsénico, flúor y hierro en las zonas acuíferas de Delicias-Meoqui y Jiménez-Camargo, Chib.* México: Gerencia de Aguas Subterráneas, CNA.
- Comisión Nacional del Agua, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (2008). *Demandas del sector*. México: Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo Sobre el Agua.
- Comisión Nacional del Agua (2009). *Aprovechamientos subterráneos por estado*. Recuperado de <http://siga.conagua.gob.mx/REPDA/Menu/FrameKMZ.htm>
- Comisión Nacional del Agua (2013). *Acuífero de Cuauhtémoc. Simposium Internacional sobre el manzano y frutales de clima templado*. Cuauhtémoc, México: Unión Agrícola Regional de Fruticultores del Estado de Chihuahua.
- Comisión Nacional del Agua (2011). *Identificación de reservas potenciales de agua para el medio ambiente en México*.
- Consejo Nacional de Población (s. f.). *Datos de proyecciones*. Recuperado de http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones_Datos

- Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (2008). *Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo Sobre el Agua*. Recuperado de file:///C:/Users/Owner/Downloads/CNA_Convocatoria-Bases_2008-01.pdf
- Damonte-Valencia, G. H. (2015). Redefiniendo territorios hidrosociales: control hídrico en el valle de Ica, Perú (1993-2013). *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 12(76), 109-133. DOI: <http://dx.doi.org/10.11144/Javeriana.cdr12-76.rthc>
- Espino-Valdes, M., Barrera-Prieto, Y. y Herrera-Peraza, E. (2009). Arsenic presence in North section of Meoqui-Delicias. *Tecnociencia Chihuahua*, 3(1), 8-18.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010). *México - Censo de Población y Vivienda 2010*. Recuperado de <http://www3.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/71>
- Junguo, L., Qingying, L. y Hong, Y. (2016). Assessing water scarcity by simultaneously considering environmental flow requirements, water quantity, and water quality. *Ecological Indicators*, 60, 434-441.
- Lambin, E., Gibbs, H., Ferreira, L., Grau, R., Mayaux, P., Meyfroidt, P. y Munger, J. (2013). Estimating the world's potentially available cropland using a bottom-up approach. *Global Environmental Change*, 23(5), 892-901.
- Leal-Ascencio, M. y Gelover-Santiago, S. (2006). Evaluación de acuíferos de la Mesa del Norte. En *Memorias. V Congreso Internacional y XI Congreso Nacional de Ciencias Ambientales*. Oaxtepec, Mor. México.
- López Sanz, G. (1997). *Irrigation and agriculture at the Guadiana river High Basin (Castilla - La Mancha, Spain): Environmental and socio-economic impacts. The use of water in sustainable agriculture*.
- Mejía, A. (2010). *Water scarcity in Latin America and the Caribbean: Myths and reality*. Documento para el Foro Internacional Rosenberg sobre Políticas de Aguas. Buenos Aires, Argentina.
- NMX-AA-159-SCFI-2012. Recuperado de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-159-SCFI-2012.pdf>
- Peña-Haro, S., Llopis-Albert, C., Pulido-Velazquez, M. y Pulido-Velazquez, D. (2010). Fertilizer standards for controlling groundwater nitrate pollution from agriculture: El Salobral-Los Llanos case study, Spain. *Journal of Hydrology*, 392(3), 174-187.
- Ruiz-Gonzales, Y. y Mahlnecht, J. (2006). Identification of areas with major arsenic concentration in the Meoqui-Delicias Aquifer, Chihuahua. *Natural Arsenic in Groundwater of Latin America International Congress Mexico-City*.
- Sadoff, C. y Muller, M. (2010). *Gestión del agua, la seguridad hídrica y la adaptación al cambio climático: efectos anticipados y respuestas esenciales*. Global Water Partnership.

- Sadoff, C. W., Hall, J. W., Grey, D., Aerts, J. C. J. H., Ait-Kadi, M., Brown, C., Cox, A., Dadson, S., Garrick, D., Kelman, J., McCornick, P., Ringler, C., Rosegrant, M., Whittington, D. y Wiberg, D. (2015). *Securing water, sustaining growth: Report of the GWP/OECD Task Force on Water Security and Sustainable Growth*. University of Oxford, UK.
- Saldi, L. y Petz, I. (2015). Aguas ajenas, tierras extrañas. Desigualdad hídrica al sur de la cordillera de los Andes en Mendoza (Argentina) a principios del siglo XXI. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 12(75), 123-144. <http://dx.doi.org/10.111144/Javeriana.cdr12-75.aate>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Janos (2015). *Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas*. Recuperado el 24 de abril del 2015, de http://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/.
- Scott, C., Dall'erba, S. y Caravantes, R. (2010). Groundwater rights in Mexican agriculture: Spatial distribution and demographic determinants. *The Professional Geographer*, 62(1), 1-15.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa) (2014). *Cierre de la producción agrícola por estado*. Servicios de información Agropecuaria y pesquera. Recuperado de <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>
- Secretaría de Gobernación. Diario Oficial de la Federación (DOF) (29/08/2013). Recuperado de http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5312175&fecha=29/08/2013
- Secretaría de Gobernación. Diario Oficial de la Federación (DOF) (17/04/2002). Recuperado de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NOM-011-CNA-2000.pdf>
- Secretaría de Gobernación. Diario Oficial de la Federación (DOF) (1979-04-25). Recuperado de http://www.dof.gob.mx/nota_to_imagen_fs.php?cod_diario=206829&pagina=4&seccion=1
- Secretaría de Gobernación. Diario Oficial de la Federación (DOF) (1981-03-27). Recuperado de http://www.dof.gob.mx/nota_to_imagen_fs.php?codnota=4634411&fecha=27/03/1981&cod_diario=199338
- Secretaría de Gobernación. Diario Oficial de la Federación (DOF) (1954-07-06). Recuperado de http://www.dof.gob.mx/nota_to_imagen_fs.php?codnota=4481544&fecha=06/07/1954&cod_diario=190125

Secretaría de Gobernación. Diario Oficial de la Federación (DOF) (1967-10-21).

Recuperado de http://www.dof.gob.mx/nota_to_imagen_fs.php?codnota=4773448&fecha=21/10/1967&cod_diario=205579

Sistema Nacional de Información del Agua (2012). Recuperado de <http://www.conagua.gob.mx/atlas/usuariosdelagua33.html>

Vallejos, M., Volante, J., Mosciaro, M., Vale, L., Bustamante, M. y Paruelo, J. (2014). Transformation dynamics of the natural cover in the Dry Chaco ecoregion: a plot level geo-database from 1976 to 2012. *Journal of Arid Environments*.

Vail, D., Hasund, K. P. y Drake, L. (1994). *The greening of agricultural policy in industrial societies. Swedish reforms in comparative perspective*. Ithaca, USA: Cornell University Press.