

# Aguas Subterráneas Transfronterizas a lo largo de la Frontera Texas-México

Documento preparado por el Comité de Protección de Aguas Subterráneas  
de Texas (TGPC), Subcomité de Asuntos de Aguas Subterráneas (GWI)

Fecha: 10 de julio de 2019

## **Resumen ejecutivo**

En la región fronteriza entre México y Texas se han identificado 15 acuíferos transfronterizos (Sánchez *et al.* 2016). Sin embargo, sólo se tiene conocimiento de la existencia de mecanismos de conexión hidrogeológica a través de la frontera en cinco de ellos (Sánchez *et al.* 2016). Los recursos de aguas subterráneas compartidos por los dos países no han sido caracterizados en gran medida debido a la escasez de información, a las diferencias en los criterios metodológicos en la delimitación de acuíferos, y a la limitada cooperación y coordinación entre las agencias federales, estatales y locales, para abordar los temas de aguas subterráneas desde una perspectiva binacional.

Desde una perspectiva general, la región de los bolsones (acuíferos situados al sureste del Acuífero Conejos-Médanos/Bolsón de Mesilla, el Acuífero Valle de Juárez/Bolsón Hueco-Tularosa en el norte de Chihuahua en el sur de Nuevo México y en el oeste de Texas, y entre los Acuíferos Serranía del Burro y Allende-Piedras Negras en el sur de Texas y en el norte de Coahuila), donde se concentran los depósitos aluviales del Cuaternario, parecen ser las áreas más importantes para el desarrollo de agua subterránea en la región fronteriza.

En general, las unidades hidrogeológicas a lo largo de la frontera entre Texas y México abarcan alrededor de 182,000 km<sup>2</sup> (aproximadamente 110,000 km<sup>2</sup> en el lado de Texas y 72,000 km<sup>2</sup> en el lado de México) (Sánchez *et al.* 2018). El área total considerada con buen potencial de acuífero (definido como las propiedades litológicas favorables que permiten tasas de bombeo constantes y considerables), así como buena calidad del agua, oscila entre el 50% y el 60% (el 60% del área total se encuentra en Texas). Se considera que entre el 20% y el 25% de las unidades hidrogeológicas que cruzan la zona fronteriza tienen un potencial acuífero y una calidad de agua deficientes, y la proporción de área es aproximadamente igual en ambos lados de la frontera.

Es importante hacer mención que existen limitaciones en estas apreciaciones debido a la limitada información disponible. En cuanto a los datos sobre calidad del agua, algunos informes son más bien generales y no especifican la ubicación de las aguas que se han analizado. Si algunas formaciones cubren un área considerablemente amplia, sus parámetros de calidad del agua podrían estar sobreestimados o subestimados. De igual forma, algunos informes se contradicen entre sí. En esos casos, la unidad hidrogeológica ha sido identificada con dos categorías diferentes de calidad de agua al mismo tiempo, lo que también añade incertidumbre a la categorización de la unidad.

### **Lista de siglas**

AWRA – Asociación Americana de Recursos Hídricos

CILA – Comisión Internacional de Límites y Aguas (Sección Mexico)

CONAGUA – Comisión Nacional del Agua

d – día

Fm. – Formación

GCD – Distrito de Conservación de Aguas Subterráneas

GWI – Asuntos de aguas subterráneas

IBWC – Comisión Internacional de Límites y Aguas (Sección EUA)

K – Conductividad hidráulica

km – kilómetro

m – metro

mg/L – miligramos por litro

MOU – Memorando de Entendimiento

MX – México

n – porosidad

NRD – Distrito de Recursos Naturales

ppm – partes por millón

Qt – Cuaternario

SGA – Agencia de Aguas Subterráneas Sostenibles

SGMA – Ley de Gestión Sostenible de las Aguas Subterráneas

T – Transmisibilidad

TAAP – Programa de Evaluación de Acuíferos Transfronterizos

TCEQ – Comisión de Calidad Ambiental de Texas

TDS – Sólidos disueltos totales

TGPC – Comité de Protección de Aguas Subterráneas de Texas

TWDB – Junta de Desarrollo del Agua de Texas

TX – Texas

EE. UU. – Estados Unidos

E.U.A. – Estados Unidos de América

## **Introducción**

Aunque ha habido algunos esfuerzos por definir el concepto de “agua subterránea transfronteriza” (Hayton *et al.* 2010), una definición de trabajo actual de “acuíferos transfronterizos” ha sido desarrollada a partir de las conversaciones en la Conferencia Especial de la Asociación Americana de Recursos Hídricos (AWRA) 2018, celebrada en Fort Worth, Texas, en junio de 2018, llamada *Sistemas de aguas subterráneas que atraviesan múltiples fronteras políticas, reglamentarias, administrativas y operativas*. Si bien ésta es una definición difusa —y en algunos aspectos podría justificarse decir que “toda agua subterránea es transfronteriza”—, sí identifica el hecho de que la cooperación entre una multiplicidad de individuos, entidades gubernamentales y no gubernamentales es necesaria para el manejo sostenible y la protección de los recursos de aguas subterráneas. Sin la cooperación, o por lo menos comunicación, entre las entidades de uso del agua, el enfoque adoptado por los usuarios individuales del agua consistiría en maximizar su beneficio individual sin tener en cuenta la sostenibilidad a largo plazo del recurso. Esta situación se conoce mejor como *El dilema del prisionero* ([https://en.wikipedia.org/wiki/Prisoner%27s\\_dilemma](https://en.wikipedia.org/wiki/Prisoner%27s_dilemma)), donde un intento de los individuos por maximizar su propio beneficio resulta en un resultado sub-óptimo para la comunidad. Por lo tanto, como mínimo, debe haber comunicación entre todos los usuarios de un recurso de agua subterránea para ayudar a aumentar la sostenibilidad y el valor general de las aguas subterráneas que atraviesan los límites de gobernanzas. En circunstancias en las que los recursos de aguas subterráneas se utilizan asiduamente, resulta necesario elaborar acuerdos entre las entidades de gestión y gobernanza de las aguas subterráneas, para garantizar el uso sostenible de los recursos. Varios estados han desarrollado o están desarrollando mecanismos para facilitar la redacción de estos acuerdos. Esto incluye la creación de agencias de sostenibilidad de aguas subterráneas (GSA) en California, las cuales son obligatorias de acuerdo con la Ley de Gestión Sostenible de las Aguas Subterráneas (SGMA) de 2018 —que regula el Departamento de Recursos Hídricos de California—, el establecimiento de Distritos de Conservación de Aguas

Subterráneas (GCD) en Texas (TCEQ 2019) y la creación de Distritos de Recursos Naturales (NRD) en Nebraska (Fischer *et al.* 1970).

A nivel mundial, están registrado 276 ríos y lagos que atraviesan fronteras internacionales y desde mediados del siglo XIX se han suscrito más de 400 tratados para este tipo de cuerpos de agua (por ejemplo, el tratado de 1944 entre México y Estados Unidos para los ríos Grande y Colorado). En contraste, existen más de 600 acuíferos que se encuentran en ambos lados de fronteras internacionales, pero apenas se han firmado cinco tratados y unos pocos memorandos de entendimiento (MOU) recientes. El primer acuerdo fue entre Francia y Suiza en 1977 para el Acuífero Genovés (Eckstein 2017), que fue renegociado en 2007. Entre 1992 y 2000 se desarrollaron tres acuerdos entre Chad, Egipto, Libia y Sudán para abordar el uso del agua subterránea de Sistema Acuífero de Areniscas de Nubia (Nubian Sandstone Aquifer), que se considera un acuífero de aguas fósiles y por lo tanto no renovable de acuerdo los estudios científicos dirigidos por el Instituto Internacional de Gestión del Agua (Eckstein 2017). En 2010 se firmaron acuerdos entre Brasil, Paraguay, Argentina y Uruguay sobre el Acuífero Guaraní (Eckstein 2017), sobre la base de un estudio científico liderado por el Banco Mundial (2006). Un acuerdo formal fue desarrollado entre Jordania y Arabia Saudita en 2015 para el uso del agua subterránea del Acuífero Al-Sag/Al Disi (Eckstein 2017). Entre 2002 y 2008 se redactaron declaraciones de cooperación o memorandos de entendimiento adicionales para el Sistema Acuífero del Noroeste entre Argelia, Libia y Túnez, y para el Sistema Acuífero de Iullemeden en 2009 entre Malí, Níger y Nigeria, que se actualizó en 2014 para abordar tanto el Sistema Acuífero de Iullemeden como el Sistema Acuífero de Taoudeni/Tenezrougt, con la inclusión de Argelia, Benín, Burkina Faso y Mauritania en el acuerdo consultivo (Eckstein 2017).

El primer intento de desarrollar un enfoque para comprender exhaustivamente todos los recursos de aguas subterráneas a lo largo de la frontera contigua entre México y Estados Unidos se inició en el marco del Programa de Evaluación de Acuíferos Transfronterizos (TAAP, Ley Pública 109-448, 2006), cuyo propósito es *“desarrollar e implementar un enfoque científico integrado para identificar y evaluar acuíferos transfronterizos prioritarios a lo largo de la frontera Estados Unidos-México”*. Estas actividades incluyeron estudios de los acuíferos de San Pedro y Santa Cruz entre los estados de Arizona y Sonora, y los acuíferos de Hueco Bolsón y Mesilla entre los estados de Texas, Nuevo México y Chihuahua. Cabe recordar el caso especial del Acuífero de Yuma, que fue el primer acuerdo que promueve la regulación las extracciones de aguas subterráneas (Acta 242 de la Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA) firmada en 1973) entre los estados de Arizona, California y Sonora. Estos acuíferos fueron considerados los recursos de agua subterránea de mayor prioridad a lo largo de la frontera entre Estados Unidos-México en

razón a la cantidad de población que se encuentran sobre estas cuencas y al valor de la producción agrícola irrigada que depende del agua subterránea proporcionada por estos acuíferos. Sin embargo, el continuo desarrollo de la agricultura de riego y el crecimiento de la población dentro de la cuenca del Río Grande/Río Bravo están llevando a un aumento de la presión sobre los recursos de agua subterránea que se extienden a lo largo de las tierras fronterizas. Aparte de los acuíferos mencionados anteriormente, el resto de los acuíferos a lo largo de la frontera Estados Unidos-México han permanecido relativamente inexplorados en cuanto a su naturaleza transfronteriza. Nótese que el río que forma la frontera entre Texas y México se denomina Río Grande en los Estados Unidos y el Río Bravo del Norte (o simplemente Río Bravo) en México.

Los desafíos que enfrentan el uso y la gestión de los acuíferos transfronterizos relativamente inexplorados entre México y Texas están basados en un gran número de incógnitas, incluidas las condiciones de los acuíferos y los enlaces transfronterizos de las aguas subterráneas. La rápida urbanización, el crecimiento de la población y las predicciones de cambio climático vislumbran una región fronteriza más propensa a las sequías, la cual demandará aún más recursos provenientes de las aguas subterráneas, dado que las aguas superficiales ya han alcanzado su límite de suministro. Según el Instituto de Recursos Mundiales, la cuenca del Río Grande/Río Bravo —una de las más afectadas por el estrés hídrico en el mundo (Maddocks and Reig, 2014)— abastece de agua a aproximadamente el 90% de las tierras de Texas irrigadas por aguas superficiales. El agua de superficie es una importante fuente de suministro de agua para uso doméstico en ciudades altamente pobladas como El Paso, Laredo y McAllen en Texas, y Piedras Negras, Nuevo Laredo, Acuña, Matamoros y Reynosa en México, aunque las ciudades de El Paso y Piedras Negras también dependen de las aguas subterráneas para uso doméstico. Además de Ciudad de Juárez en México como un fuerte centro población, también existen pequeñas comunidades a lo largo de la frontera entre Chihuahua y Texas y al este del Bolsón del Hueco, que dependen del agua subterránea para uso doméstico.

En consecuencia, es necesario ampliar los estudios previos (Sánchez *et al.* 2016, TWDB 2017) para comprender y clasificar las unidades geológicas a lo largo de la frontera entre Texas y México, utilizando los parámetros hidrogeológicos y de calidad de agua disponibles, a fin de identificar aquellas unidades transfronterizas que tienen el potencial para un desarrollo considerable según lo propuesto por Sánchez *et al.* 2018.

## **Información detallada y discusión de la problemática**

El **potencial del acuífero** se define como la probabilidad de que una formación geológica, un grupo de formaciones o parte de una formación contengan suficiente material permeable saturado para producir cantidades considerables de agua para pozos y manantiales (CONAGUA 2006, U. S. Geological Survey, 2016). Los criterios utilizados para definir el potencial del acuífero incluyen las características litológicas, la permeabilidad, la porosidad, la conductividad hidráulica, la transmisibilidad y el gasto del agua, si están disponibles. Considerando la complejidad y heterogeneidad de las unidades geológicas, así como las diferencias en los métodos utilizados para caracterizar las unidades en ambos lados de la frontera, se utilizó una combinación de criterios para clasificar el potencial del acuífero como “bueno”, “moderado” o “pobre” utilizando los siguientes criterios: descripciones geológicas y litológicas de las unidades; porosidad y conductividad hidráulica, cuando estén disponibles, o valores estandarizados de acuerdo con la litología predominante (Hiscock, 2005); informes de permeabilidad, evaluaciones y datos de gasto de agua de CONAGUA (2006), así como informes técnicos de la Junta de Desarrollo del Agua de Texas (TWDB). Se recopilaron datos de agencias federales, estatales y locales, además de informes técnicos y científicos, informes privados (de la industria) y evaluaciones de campo. El criterio común para determinar la calidad del agua es el de sólidos totales disueltos (TDS), cuyas cifras estaban disponibles para la mayor parte de la región fronteriza.

Según TWDB (TWDB, 2017)), los criterios de TDS para clasificar la calidad del agua subterránea son:

- Agua dulce, TDS inferior a 1,000 mg/L;
- Agua ligeramente salina (llamada “agua salobre” en muchos estudios) con TDS en el rango de 1,000–3,000 mg/L;
- Agua moderadamente salina, con TDS en el rango de 3,000–10,000 mg/L;
- Agua muy salina con TDS en el rango de 10,000–35,000 mg/L; y
- Salmuera, con TDS superior a 35,000 mg/L.

Algunos informes se refieren a partes por millón (ppm), donde 1 ppm es equivalente a 1 mg/L y es la nomenclatura utilizada en este informe. La Tabla 1 muestra cómo se clasifican las formaciones y subunidades geológicas basándose en el potencial del acuífero y la correspondiente calidad del agua. Nótese que un acuitardo es una unidad geológica de baja permeabilidad.

Tabla 1. Clasificación de las formaciones de acuerdo al potencial de acuífero y calidad del agua

Clasificación de la formación			Calidad del agua (TDS)			
			Buena (dulce) < 1,000 ppm	Moderada (ligeramente salina o salobre) 1,000–3,000 ppm	Pobre (moderadamente salina a salobre) > 3,000 ppm	Sin información
			1	2	3	4
<b>Potencial del acuífero</b>	Buena	A	A1	A2	A3	A4
	Moderada	B	B1	B2	B3	B4
	Pobre	C	C1	C2	C3	C4
	Acuitardo	D	D1	D2	D3	D4
	Sin información	E	E1	E2	E3	E4

Para identificar y caracterizar geográficamente las áreas de aguas subterráneas transfronterizas entre Texas y México, las formaciones y subunidades geológicas fueron agrupadas por características similares y se representaron en la Tabla 2. Se crearon cinco grupos para identificar las zonas geográficas que contienen aguas subterráneas transfronterizas con potenciales buenos y moderados, y para diferenciarlas de las zonas con un potencial pobre en función de las propiedades de los acuíferos y la calidad del agua. Estas definiciones de grupo (identificación o ID) también se utilizan en la Tabla 3.

- El Grupo 1 (color verde oscuro), compuesto por las formaciones y subunidades geológicas más importantes en términos de potencial de aguas subterráneas y calidad del agua, corresponde a las características A1, A2, B1 y B2.
- El Grupo 2 (verde claro) incluye aquellas formaciones y subunidades geológicas que tienen un potencial acuífero de bueno a moderado, pero una calidad de agua deficiente o información limitada sobre la calidad del agua (A3, A4, B3 y B4). Este grupo constituye un segundo nivel de prioridad, dadas las buenas condiciones del acuífero y el potencial de esas unidades para futuros proyectos de desalinización.
- El Grupo 3 (naranja) se compone de aquellas formaciones y subunidades geológicas con acuitardos o potencial de acuífero pobre, pero donde la calidad del agua es buena a moderada. Este grupo puede considerarse tercero en prioridad, dadas las condiciones limitadas del acuífero, pero que aún es explotable a nivel local para suministrar agua doméstica a pequeñas comunidades (C1, C2, D1 y D2).
- El Grupo 4 (granate claro) es el grupo de menor prioridad: tiene formaciones geológicas y subunidades con acuitardos o potencial acuífero pobre, agua de baja calidad o información limitada sobre ella (C3, C4, D3 y D4).

- El Grupo 5 (gris) abarca aquellas formaciones y subunidades geológicas con cuya información sobre el potencial del acuífero es limitada, más allá de la calidad del agua. Debido a la falta de datos, su prioridad no está definida (E1, E2, E3 y E4).

Tabla 2. Formaciones clasificadas en cinco grupos de colores según el potencial del acuífero y la calidad del agua

Clasificación de la formación			Calidad del agua			
			Buena	Moderada	Pobre	Sin información
			1	2	3	4
<b>Potencial del acuífero</b>	Buena	A	A1	A2	A3	A4
	Moderada	B	B1	B2	B3	B4
	Pobre	C	C1	C2	C3	C4
	Acuitardo	D	D1	D2	D3	D4
	Sin información	E	E1	E2	E3	E4

Las clasificaciones de la Tabla 3 muestran las condiciones predominantes, de acuerdo con los datos disponibles, en términos de potencial acuífero y parámetros de calidad del agua para todas las formaciones y subunidades geológicas a lo largo de la frontera Texas-México. Como vemos en la Tabla 3, del total de las 53 formaciones fronterizas y transfronterizas, se considera que 15 formaciones y subunidades geológicas tienen un potencial acuífero de bueno a moderado y una calidad de agua de buena a moderada. Cuatro formaciones tienen un potencial acuífero entre bueno y moderado, pero con información limitada sobre la calidad del agua (Fm. Alto West Nueces, Fm. Santa Elena/Caliza de Santa Elena, Fm. Austin/Creta de Austin, y Fm. Ojinaga). Puede afirmarse que aproximadamente el 35% del área ocupada por las formaciones geológicas y subunidades identificadas tiene un buen potencial acuífero, con al menos un 28% de agua con calidad de agua de buena a moderada. Las formaciones geológicas predominantes bajo esta clasificación son la Fm. Edwards, Fm. Alto Salmon Peak y Aurora/Fm. Glen Rose, y todas las partes del Acuífero Edwards a las que se refieren Sánchez *et al.* 2018. Asimismo, el buen potencial acuífero también es destacable en los depósitos cuaternarios aluviales de los Acuíferos Santa Fe del Pino, Serranía del Burro y Presa La Amistad, y en los depósitos de conglomerados cuaternarios de los bolsones del Valle de Juárez, Mesilla, Red Light Draw, Green River Valley, Presidio y Redford. La Fm. de Carrizo/Arena de Carrizo, que es parte del Acuífero Carrizo-Wilcox, también se encuentra en esta categoría. Se encontraron condiciones moderadas de calidad del agua, pero con menos de 1,000 ppm de TDS, en la Fm. Oakville-Lagarto/Fm. Fleming, en la Fm. Reynosa/Fm. Goliad y en Fm. Wilcox/Fm. Indio. Se estima que 17 formaciones y subunidades geológicas (32%) tienen un potencial acuífero pobre o acuíferos con una calidad de agua de pobre a moderada. Las formaciones y subunidades geológicas



predominantes en esta categoría son la Fm. Yegua (parte del Acuífero Yegua-Jackson); la Fm. Santa Elena/Caliza de Santa Elena (parte del Acuífero Cretácico Terlingua); la Fm. Upson/Arcilla de Upson; la Fm. Aguja; la Fm. Escondido la Fm. Midway/Fm. Kincaid la Fm. Bigford; la Fm. Palma Real-Guayabal/Fm. Laredo; la Fm. Frío y Fm. Alto Catahoula (ambas son parte del Sistema de Confinamiento de Catahoula); y la Fm. Beaumont (parte del Acuífero de la Costa del Golfo). El resto de las formaciones y subunidades geológicas (5) se consideran acuitardos con datos limitados sobre la calidad del agua, o acuitardos con calidad de agua de buena a moderada (3). También existen formaciones y subunidades geológicas fronterizas y transfronterizas de las que no se tienen datos sobre el potencial del acuífero ni sobre la calidad del agua: Fm. San Carlos/Arenisca de San Carlos, Fm. Chisos (EE. UU.), Arenisca de Cox (EE. UU.), Fm. La Peña/Fm. Yucca, Fm. Picacho y Fm. Benevides. Debe tenerse cuidado al estimar los porcentajes, considerando que estos se basan en el tipo de formación geológica o subunidad y no en la extensión geográfica.

Tabla 3. Clasificación de las formaciones y subunidades geológicas en la frontera entre Texas y México según el potencial del acuífero y la calidad del agua (T = transmisibilidad en m<sup>2</sup>/d, K = conductividad hidráulica en m/d, n = porosidad, Fm. = Formación, TX = Texas, MX = México, Qt = Cuaternario, EE. UU. = Estados Unidos).

FORMACIONES FRONTERIZAS	FORMACIONES Y/O SUBUNIDADES TRANSFRONTERIZAS	NOMBRE DEL ACUÍFERO	POTENCIAL ACUÍFERO	CARACTERÍSTICAS HIDROGEO-LÓGICAS	CALIDAD DEL AGUA	TDS (ppm)	ID
Fm. Loma de Plata/Caliza de Espy	Fm. Loma de Plata/Caliza de Espy		Acuitardo		Desconocido		D4
Fm. Aurora/Fm. Glen Rose	Fm. Aurora/Fm. Glen Rose	Edwards	Buen acuífero		Ligeramente salina	1000 a > 3000	A3
Fm. Edwards	Fm. Edwards		Buen acuífero	T = 0,15-25.100; K = 0,0009-221	Dulce	< 1000	A1
Fm. West Nueces	Fm. Alto West Nueces Fm. Bajo West Nueces		Buen acuífero		Desconocido		A4
Fm. McKnight	Fm. McKnight		Acuitardo		Desconocido		D4
Fm. Salmon Peak/Caliza de Salmon Peak	Bajo Salmon Peak Alto Salmon Peak		Acuitardo		Desconocido		D4
Fm. Salmon Peak/Caliza de Salmon Peak	Bajo Salmon Peak		Acuífero pobre		Desconocido		C4
Caliza de Devils River (EE. UU.)			Buen acuífero		Dulce a ligeramente salina		A1-A3
Caliza de Devils River (EE. UU.)			Buen acuífero	n = 0,033% a 0,15%.	Dulce a ligeramente salina		A1-A3
Fm. Santa Elena/Caliza de Santa Elena	Fm. Santa Elena/Caliza de Santa Elena Fm. Santa Elena/Caliza de Santa Elena		Acuífero moderado		Desconocido		B4
Fm. Santa Elena/Caliza de Santa Elena	Fm. Santa Elena/Caliza de Santa Elena		Acuífero moderado		Desconocido		B4
Fm. Pen	Fm. Pen	Cretáceo-Terlingua	Acuífero pobre		Ligeramente salina	1130-1303	C2
Fm. Pen	Fm. Pen		Acuífero moderado		Ligeramente salina	2173	B2
Fm. Javelina (EE. UU.)			Acuífero pobre		Moderadamente salina		C3
Fm. Aguja	Fm. Aguja		Acuífero pobre		Moderadamente salina y dura	5287	C3

FORMACIONES FRONTERIZAS	FORMACIONES Y/O SUBUNIDADES TRANSFRONTERIZAS	NOMBRE DEL ACUÍFERO	POTENCIAL ACUÍFERO	CARACTERÍSTICAS HIDROGEO-LÓGICAS	CALIDAD DEL AGUA	TDS (ppm)	ID
Fm. Kiamichi			Acuífero pobre		Ligera a moderadamente salina		C2
Arenisca de Cox (EE. UU.)			Desconocido		Desconocido		E4
Fm. La Peña/ Fm. Yucca			Desconocido		Desconocido		E4
Fm. Benevides			Desconocido		Desconocido		E4
Fm. Boquillas	Fm. Boquillas		Acuífero pobre		Dulce a ligeramente salina		C1-C2
Fm. Eagle Ford/ Grupo Eagle Ford	Fm. Eagle Ford/Grupo Eagle Ford		Acuitardo		Desconocido		D4
Fm. Upson/Arcilla de Upson	Fm. Upson/Arcilla de Upson		Acuitardo		Ligeramente salina	1000-2500	D2
Fm. Austin/ Creta de Austin	Fm. Austin/ Creta de Austin		Buen acuífero		Desconocido		A4-D4
Fm. Buda-Del Río/ Caliza de Buda-Arcilla de Del Río	Fm. Buda-Del Río/ Caliza de Buda-Arcilla de Del Río		Acuífero pobre		Dulce a ligeramente salina		C1-C3
Fm. Ojinaga	Fm. Ojinaga		Buen acuífero		Desconocido		A4
Fm. Picacho			Desconocido		Desconocido		E4
Fm. San Carlos/ Arenisca de San Carlos			Desconocido		Desconocido		E4
Fm. San Miguel	Fm. San Miguel		Acuífero pobre		Desconocido		C4
Fm. Olmos	Fm. Olmos		Acuitardo		Desconocido		D4
Fm. Escondido	Fm. Escondido		Acuífero pobre		Ligeramente salina	1000-2500	C2
Fm. Chisos (EE. UU.)			Desconocido		Desconocido		E4
Fm. Midway/Fm. Kincaid	Fm. Midway/ Fm. Kincaid		Acuitardo		Desconocido		D3
Fm. Wilcox/Fm. Indio	Fm. Wilcox/ Fm. Indio	Carrizo-Wilcox	Acuífero moderado		Dulce a ligeramente salina	1000-3000 (TX)	B1-B2
Fm. Carrizo/Arena de Carrizo	Fm. Carrizo/ Arena de Carrizo		Buen acuífero		Dulce a ligeramente salina (TX)/moderadamente salina (MX)	1000-3000 (TX), 482-9334 (MX)	A1-A3
Fm. Bigford	Fm. Bigford		Acuífero pobre		Ligeramente salina		C3
Fm. Arcilla de El Pico	Fm. Arcilla de El Pico		Acuífero-acuitardo pobre		Desconocido		C3-D3
Fm. Palma Real-Guayabal/ Fm. Laredo	Fm. Palma Real-Guayabal/ Fm. Laredo	Fm. Palma Real-Guayabal/ Fm. Laredo	Acuífero pobre		Moderadamente salina		C3
Fm. Yegua	Fm. Yegua	Yegua-Jackson	Acuífero pobre		Desconocido		D3
Fm. Jackson/ Grupo de Jackson	Fm. Jackson/ Grupo de Jackson		Acuífero moderado	T = 7.8 K = 0.4	Moderadamente salina	> 3000	C3
Fm. Vicksburg	Fm. Vicksburg	Sistema de confinamiento de Catahoula	Acuífero pobre	n = 5%	Desconocido		C4
Fm. Frío	Fm. Frío		Acuitardo		Moderadamente salina	> 3000	D3
Fm. Catahoula/ Fm. Catahoula y	Fm. Alta Catahoula		Acuitardo	T = 4.5 K = 0.2	Ligera a moderadamente salina	> 3000	D2

FORMACIONES FRONTERIZAS	FORMACIONES Y/O SUBUNIDADES TRANSFRONTERIZAS	NOMBRE DEL ACUÍFERO	POTENCIAL ACUÍFERO	CARACTERÍSTICAS HIDROGEO-LÓGICAS	CALIDAD DEL AGUA	TDS (ppm)	ID
Fm. Catahoula-Vicksburg indivisa	Fm. Alto Catahoula	Costa del Golfo/Bajo Río Bravo	Acuífero moderado		Ligeramente salina	> 1000	B2
Fm. Oakville-Lagarto/Fm. Flemming	Fm. Oakville-Lagarto/Fm. Flemming		Acuífero moderado	T = 9.3 K = 1	Ligeramente salina	> 1000	B1-B2
Fm. Reynosa/Fm. Goliad	Fm. Reynosa/Fm. Goliad		Acuífero moderado	T = 22 K = 1.5	Ligeramente salina	> 1000	B1-B2
Fm. Lissie (EE. UU.)			Buen acuífero	T = 46.3 K = 8.5	Fresco a moderadamente salina	800–5000	A2
Fm. Beaumont	Fm. Beaumont		Acuífero pobre		Ligeramente salina	> 2000	C2
Yacimientos Qt	Lacustre Qt	Santa Fe del Pino	Acuitardo		Moderadamente salina		D3
	Aluvión Qt		Acuífero moderado		Ligeramente salina		B2
	Aluvión Qt		Acuífero regular	T = 0.77 × 10 <sup>-3</sup> a 0.01 × 10 <sup>-3</sup>	Ligeramente salina		B2
	Conglomerados Qt	Serranía del Burro	Buen acuífero		Dulce a ligeramente salina	400–1500	A1-A2
	Aluvión Qt		Buen acuífero		Dulce a ligeramente salina		A1-A2
	Coluvión Qt		Desconocido				
Arcilla y barro Qt a terciario (EE. UU.)		Acuífero pobre		Ligeramente salina	> 1000	C2-C3	
Yacimientos Qt	Aluvión Qt	Presas La Amistad	Buen acuífero		Dulce a ligeramente salina		A1-A2
Grava de Uvalde (EE. UU.)		Allende-Piedras Negras	Buen acuífero		Dulce a ligeramente salina	< 1000-3000	A1-A2
Grava de Uvalde (EE. UU.)			Buen acuífero	T = 0.0005 a 0.005	Dulce a ligeramente salina	< 1000-3000	A1-A2
Yacimientos Qt			Buen acuífero		Dulce a ligeramente salina	400-1500	A1-A2
Conglomerados Qt	Conglomerados Qt		Buen acuífero		Dulce a ligeramente salina	400-1500	A1-A2
Yacimientos Qt	Yacimientos Qt	Bolsones: Valle de Juárez, Hueco-Tularosa, Acuífero	Buen acuífero	T = 2 × 10 <sup>-3</sup> T = 8.69 × 10 <sup>-6</sup> n = 9%	Dulce a ligeramente salina	400-1500	A1-A2
Conglomerados Qt	Conglomerados Qt	Mesilla, Conejos-Médanos, Red Light Draw, Green River Valley, Presidio, Redford	Buen acuífero		Dulce a ligeramente salina	400-1500	A1-A2
Arcilla y barro Qt a terciario (EE. UU.)			Acuífero pobre		Ligeramente salina	> 1000	C2-C3
Conglomerado neógeno (MX)			Acuífero moderado		Dulce	710	B1
Rocas ígneas terciarias		Rocas ígneas terciarias	Acuitardo/acuífero pobre		Dulce a ligeramente salina	870–3013	C1-D1
Basaltos terciarios		Basaltos terciarios	Acuífero pobre		Dulce	354	C1

Las Figuras 1, 2 y 3 muestran las unidades hidrogeológicas, coloreadas por grupo (ID). La Figura 1 muestra la región oeste de Texas, que limita con el estado de Chihuahua. Las unidades hidrogeológicas más importantes de la región son los bolsones, que se clasifican como buena calidad de acuíferos transfronterizos. Sin embargo, a excepción de las ciudades de El Paso-Juárez y Presidio-Ojinaga —los centros urbanos más importantes de la región— y de pequeños pueblos que usan agua subterránea para riego y ganadería en la zona fronteriza (Guadalupe y Sierra Blanca en Chihuahua, y Valentine, Fort Davis y Van Horn en Texas), no se cuenta con información o investigación disponible sobre desarrollo de aguas subterráneas para esta región. Dada la baja disponibilidad de agua superficial en esta zona fronteriza, existe una alta dependencia de las aguas subterráneas, lo que ha tenido su impacto en el sensible ecosistema del desierto de Chihuahua (Sánchez et al., 2016). Es de alta prioridad para ambos países llevar a cabo más investigaciones y recopilar datos sobre las propiedades de los acuíferos y la calidad del agua a ambos lados de la frontera en esta región.

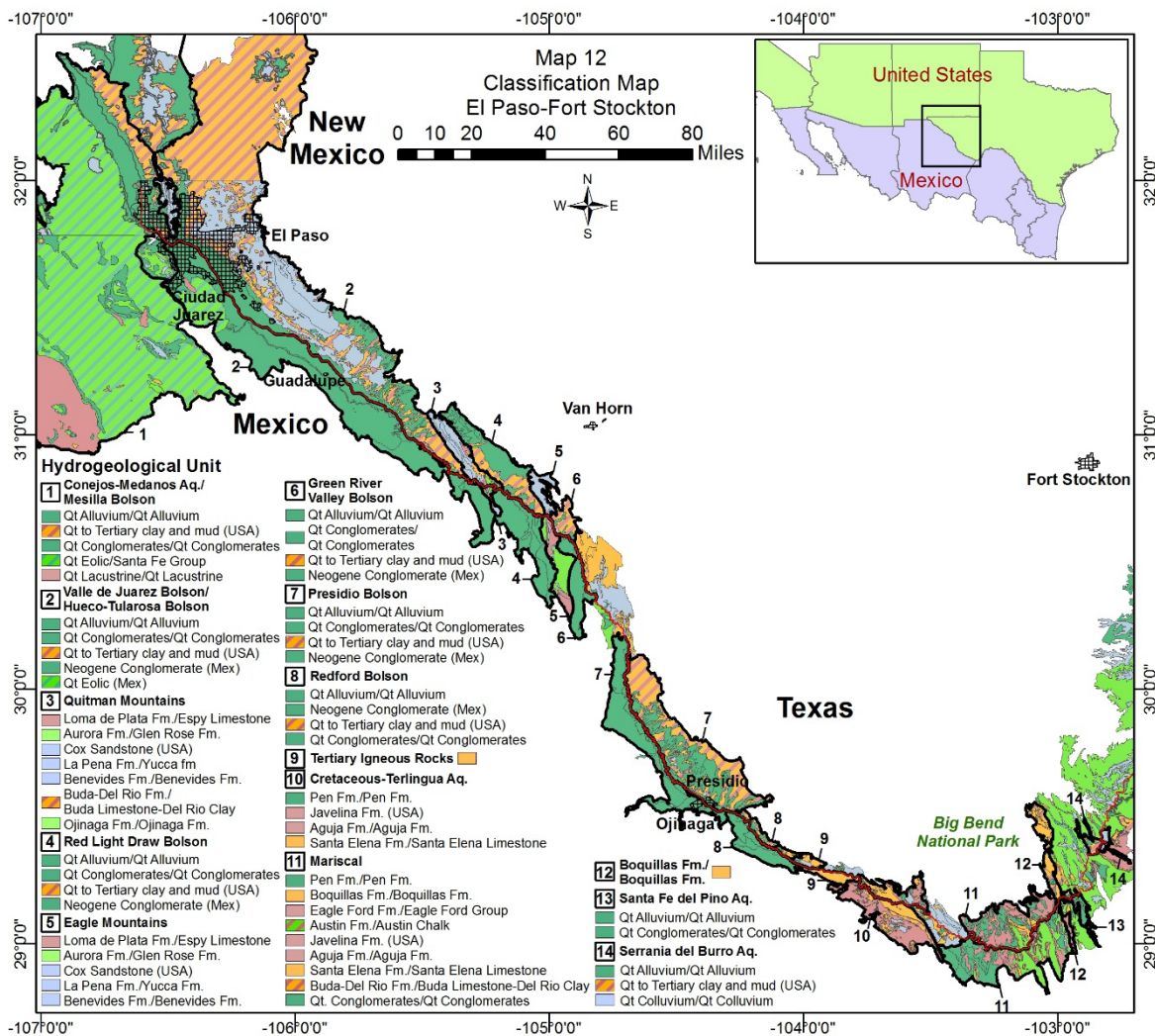


Figura 1. Mapa de acuíferos transfronterizos entre México y Texas que se extienden desde el área de El Paso hasta la región de Big Bend. Fuente: Sánchez *et al.* 2018. Acuíferos transfronterizos entre México y Texas: Identificación y categorización. Journal of Hydrology, Regional Studies. Edición especial sobre acuíferos transfronterizos. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2018.04.004>

La región de Big Bend no representa una fuente importante de desarrollo de aguas subterráneas, dada la complejidad de las formaciones que rodean el área transfronteriza y la mezcla de formaciones, algunas clasificadas como buenos acuíferos y otras como acuitardos. El hecho de que esta región sea un parque nacional (Big Bend) en el lado de Estados Unidos y un área natural protegida (Maderas del Carmen) en el lado de México, hace poco probable un desarrollo significativo de aguas subterráneas en esta región. Sin embargo, se han detectado dos pequeños acuíferos transfronterizos formados por depósitos aluviales cuaternarios en el lado oriental de la región de Big Bend (Santa Fe del Pino y Serranía del Burro), los cuales deben tenerse en cuenta para futuras investigaciones y necesidades de agua en la zona. En general, se estima que entre el 60 y el 65% de los terrenos de esta área tiene un buen potencial acuífero y una buena calidad de agua.

La Figura 2 muestra el área cubierta por el Acuífero Edwards y las unidades hidrogeológicas adyacentes. De acuerdo con la clasificación de la Tabla 3, exceptuando una porción de la región fronteriza entre Texas y Coahuila (por encima de la Creta de Austin y una pequeña porción al oeste), el resto de la unidad hidrogeológica tiene un potencial de 80-85% de acuífero bueno a moderado, con áreas de buena y mala calidad de agua. Dada el área ocupada por el Acuífero Edwards (aproximadamente 35,000 km<sup>2</sup> a cada lado de la frontera) y sus condiciones de calidad del agua potencialmente buenas, esta región se considera de alta prioridad para futuras investigaciones. El lado mexicano es considerado una prioridad ecológica para el estado de Coahuila porque alberga las aguas de cabecera (en la Serranía del Burro) de todos los ríos perennes del estado, los cuales están interconectados con la Región de los Cinco Manantiales y abastecen de agua a las ciudades de Ocampo, Muzquiz y Cuatrociénegas (esta última se encuentra fuera de los límites del Acuífero Edwards). Existe una alta dependencia del Acuífero Presa La Amistad en las ciudades de Del Río/Acuña (bordeando el Acuífero Edwards) y del Acuífero Allende Piedras Negras en las ciudades aledañas de Piedras Negras/Eagle Pass (Sánchez et al., 2016). San Felipe Springs es la única fuente de agua para Del Río, Texas. Se ha informado una alta transmisibilidad a lo largo del área fronteriza, así como un confinamiento de aguas subterráneas, lo que aumenta el agua aflorada en el área del Acuífero Amistad cerca de Acuña (George et al., 2011). Otras comunidades en los Condados de Uvalde, Kinney, Edwards y Val Verde de Texas también dependen del agua subterránea del Acuífero Edwards (Boghici, 2002).

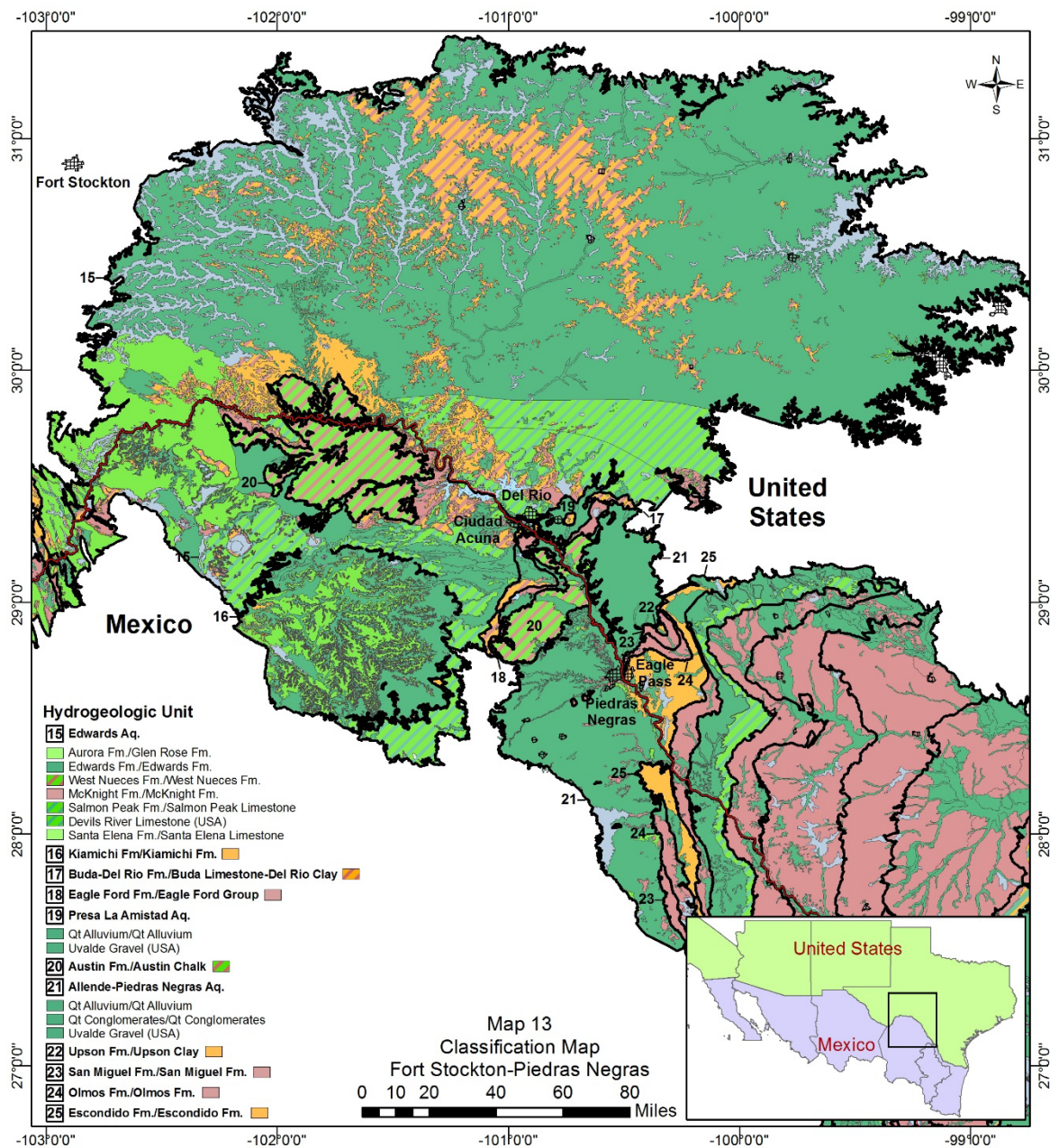


Figura 2. Mapa de acuíferos transfronterizos entre México y Texas que se extienden desde la región de Big Bend hasta Piedras Negras. Fuente: Sánchez, R., Rodríguez, L., Tortajada, C. (2018). Acuíferos transfronterizos entre México y Texas: Identificación y categorización. *Journal of Hydrology, Regional Studies*. Edición especial sobre acuíferos transfronterizos. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2018.04.004>

La Figura 3 muestra la clasificación de las unidades hidrogeológicas desde el Acuífero de Allende Piedras Negras hasta la Costa del Golfo. En esta figura se puede observar que, aparte del Acuífero Carrizo-Wilcox y las secciones adyacentes del Acuífero de la Costa del Golfo que se consideran de buen potencial acuífero y buena calidad de agua en ambos lados de la frontera, el resto de la región cae en la categoría de potencial acuífero y calidad de agua pobres. Esta región es conocida por su alta salinidad (TDS= 1,000-3,000 mg/L) y sus referencias como “zona de agua mala” (Sánchez et al., 2016); en esta región, la dependencia de las aguas subterráneas es limitada. En el Acuífero Carrizo-Wilcox se ha reportado un bombeo excesivo de agua subterránea alrededor de las ciudades de Crystal City y Cotulla en Texas. En el Acuífero de la Costa del Golfo, las buenas condiciones transfronterizas que se extienden hasta el estado de Tamaulipas son considerables, y se informa que el suministro de agua subterránea es significativo en las ciudades fronterizas de McAllen/Reynosa, Brownsville/Matamoros y sus alrededores. Los extensos distritos de riego a ambos lados de la frontera dependen del agua subterránea para el desarrollo económico.



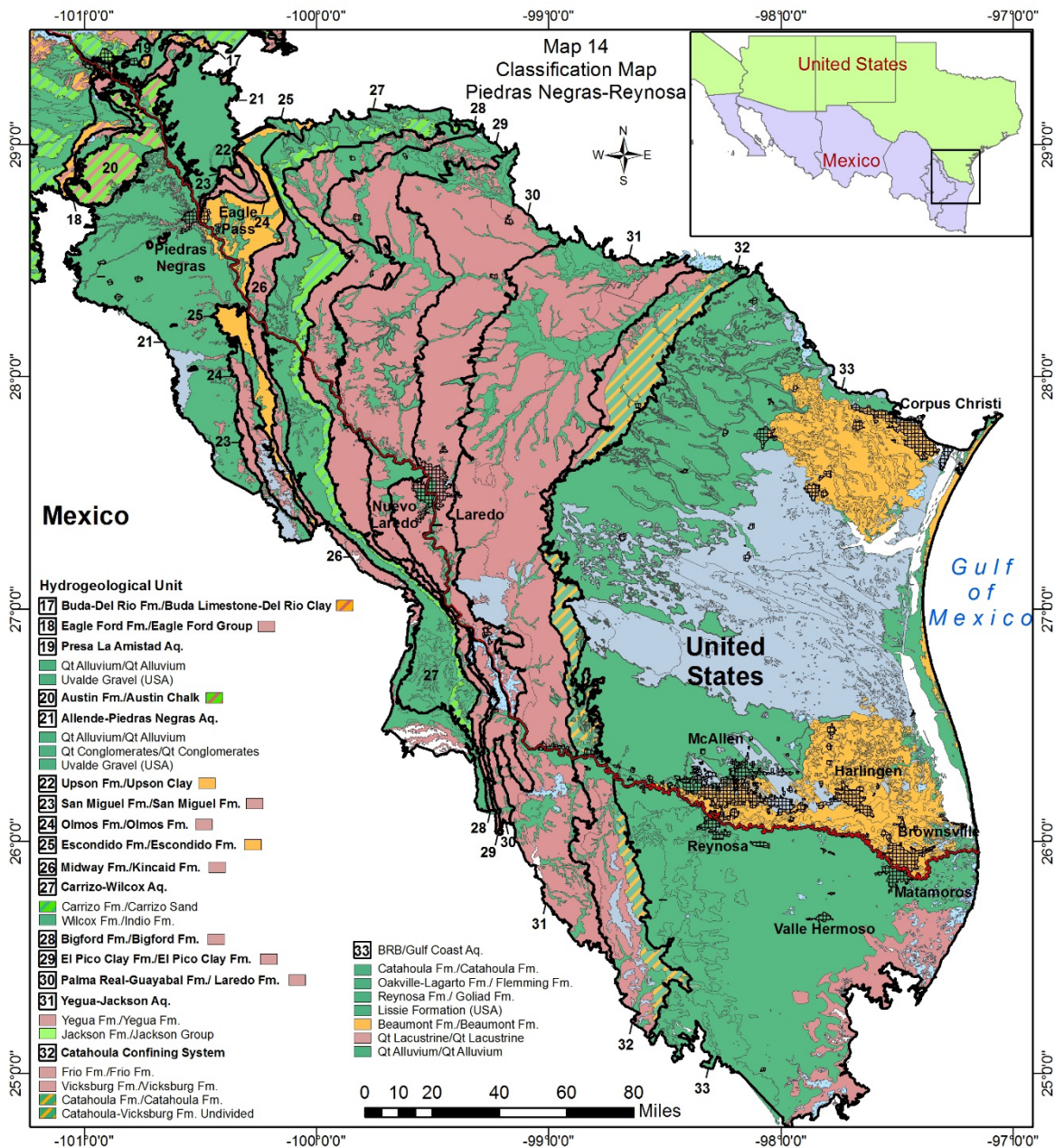


Figura 3. Mapa de acuíferos transfronterizos entre México y Texas que se extienden desde Piedras Negras hasta Reynosa. Fuente: Sánchez, R., Rodríguez, L., Tortajada, C. (2018). Acuíferos transfronterizos entre México y Texas: Identificación y categorización. *Journal of Hydrology, Regional Studies*. Edición especial sobre acuíferos transfronterizos. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2018.04.004>

Del mismo modo, debido a la ubicación de las represas internacionales La Amistad y Falcón en esta región, así como a las interacciones entre las aguas subterráneas y superficiales que contribuyen al flujo del Río Grande/Río Bravo y sus afluentes, se considera que una porción del agua subterránea del lado mexicano está comprometida a cumplir con las obligaciones de agua de México establecidas en el Tratado de 1944, lo que aumenta la presión sobre los recursos de agua subterránea de esta región (CONAGUA, 2015). De acuerdo con esta clasificación, se estima que alrededor del 30-35% de los terrenos adyacentes de esta región tienen un buen potencial de acuífero.

Este documento blanco fue preparado para el Subcomité de Asuntos de Aguas Subterráneas del TGPC, entre cuyos miembros se cuentan los siguientes:

- Comisión de Calidad Ambiental de Texas (TCEQ);
- Junta de Desarrollo del Agua de Texas (TWDB);
- Comisión de Ferrocarriles de Texas (RRC);
- Departamento de Servicios de Salud del Estado de Texas (DSHS);
- Departamento de Agricultura de Texas (TDA);
- Junta de Conservación del Agua y el Suelo del Estado de Texas (TSSWCB);
- Alianza de Distritos de Aguas Subterráneas de Texas (TAGD);
- Texas A&M AgriLife Research (AgriLife Research);
- Oficina de Geología Económica de la Universidad de Texas en Austin (UTBEG);
- Departamento de Licencias y Regulación de Texas (TDLR);
- Departamento de Parques y Vida Silvestre de Texas (TPWD);
- Universidad Técnica de Texas (TTU);
- Texas A&M AgriLife Extension Service (AgriLife Extension); y
- Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).

Los principales objetivos del Subcomité de Asuntos de Aguas Subterráneas del TGPC son los siguientes:

- Facilitar la comunicación entre agencias para los programas de evaluación que abordan la contaminación de las aguas subterráneas;
- Coordinar y asistir a las agencias miembros con programas de monitoreo para:
  - Condiciones ambientales de las aguas subterráneas;
  - Plaguicidas; y
  - Contaminantes o constituyentes emergentes de interés;
- Revisar los informes de datos publicados y evaluar los datos, independientemente de los informes, para ayudar a determinar la efectividad de los programas regulatorios existentes;

- Revisar los informes de datos publicados y evaluar los datos, independientemente de los informes, respecto de los contaminantes potenciales no tratados por los programas regulatorios existentes; y
- Elaborar recomendaciones para su consideración por el TGPC a fin de abordar la posible contaminación de las aguas subterráneas identificada mediante la vigilancia y el examen de los datos.

## **Conclusiones**

Del total de 53 formaciones fronterizas y transfronterizas identificadas entre México y Texas, 15 formaciones y subunidades geológicas se consideran con potencial acuífero bueno a moderado y con buena a moderada calidad del agua. Aproximadamente el 35% del área ocupada por las formaciones y subunidades geológicas identificadas tienen buen potencial acuífero, con al menos un 28% de agua de buena a moderada calidad. Las formaciones y subunidades geológicas predominantes según esta clasificación son la Fm. Edwards, Fm. Alto Salmon Peak y Aurora/Fm. Glen Rose (parte del Acuífero Edwards), los depósitos cuaternarios aluviales de los acuíferos Santa Fe del Pino, Serranía del Burro y Presa La Amistad, y los depósitos de conglomerados cuaternarios de los bolsones del Valle de Juárez, Mesilla, Red Light Draw, Green River Valley, Presidio y Redford. La sección de la Fm. Carrizo/Arena de Carrizo del Acuífero Carrizo-Wilcox también se encuentra en esta categoría. Por otra parte, se estima que 17 formaciones y subunidades geológicas (32%) han sido identificadas como acuitardos o acuíferos pobres, con una calidad de agua de pobre a moderada. Las formaciones y subunidades geológicas predominantes en esta categoría son la Fm. Yegua (parte del Acuífero Yegua-Jackson); Fm. Santa Elena/Caliza de Santa Elena; Fm. Upson/Arcilla de Upson; Fm. Aguja; Fm. Escondido; Fm. Midway/Fm. Kincaid; Fm. Bigford; Fm. Palma Real-Guayabal/Fm. Laredo; Fm. Frío y Fm. Alto Catahoula (ambas son parte del Sistema de Confinamiento de Catahoula); y la Fm. Beaumont (parte del Acuífero de la Costa del Golfo).

En general, el área cubierta por las unidades hidrogeológicas identificadas en la región fronteriza entre Texas y México es de alrededor de 182,000 km<sup>2</sup> (aproximadamente 110,000 km<sup>2</sup> en el lado de Texas y 72,000 km<sup>2</sup> en el lado de México). El área total que se considera con buen potencial acuífero y buena calidad de agua oscila entre el 50% y el 60% (60% del área se encuentra en Texas). Aproximadamente del 20% al 25% de la zona fronteriza se considera con un potencial acuífero pobre y una calidad de agua deficiente. Desde una perspectiva general, la región de los bolsones (acuíferos ubicados al sureste del Acuífero Valle de Juárez/Bolsón Hueco-Tularosa en el norte de Chihuahua, sur de Nuevo México y oeste de Texas, y entre los acuíferos Serranía del Burro y Allende-Piedras Negras

en el sur de Texas y norte de Coahuila), donde se concentran los depósitos aluviales del cuaternario, parecen ser las áreas más importantes para el desarrollo de acuíferos transfronterizos.

Dado que en esta región existen pocas evaluaciones de este tipo (Sánchez 2016 y TWDB 2017 son las únicas publicaciones identificadas), es necesario realizar más estudios para comprender los aspectos físicos de estos acuíferos, así como los enfoques utilizados para gestionar el bombeo de aguas subterráneas en estas áreas transfronterizas, que podrán centrar la atención en la prevención de la degradación de los acuíferos y garantizar el uso sostenible de los recursos de aguas subterráneas dentro de la región fronteriza entre México y los Estados Unidos.

### **Recomendaciones y necesidades de investigación continua**

La tendencia creciente en la cuenca del Río Grande/Río Bravo es depender más de las aguas subterráneas que de las aguas de superficie, además de las condiciones de los retos actuales (por ejemplo, la seguridad del agua, las condiciones actuales de los recursos compartidos de aguas subterráneas y la limitada disponibilidad de información y datos). Estas recomendaciones se basan en preocupaciones por la seguridad hídrica, así como en la necesidad de informar a los usuarios de las condiciones actuales de los recursos de aguas subterráneas compartidos y de explorar las vulnerabilidades potenciales que podrían surgir en caso de mantenerse la condición actual de insuficiencia de investigación, conocimiento y disponibilidad de datos para la región fronteriza entre Texas y el noreste de México.

- Proporcionar financiamiento para la investigación en áreas que han sido clasificadas como de potencial acuífero bueno a moderado. Esto incluye la región fronteriza del Acuífero Edwards, el Bolsón del Valle del Río Green, el Bolsón de Presidio, el Bolsón de Redford, la Presa La Amistad, el Acuífero Santa Fe del Pino, el Acuífero Serranía del Burro, el Acuífero Allende-Piedras Negras y la región fronteriza del acuífero transfronterizo de la Costa del Golfo y del Bajo Río Bravo.
  - Realizar estudios enfocados en el nivel de conectividad de las aguas subterráneas (evaluaciones geológicas y geoquímicas) en aquellos acuíferos prioritarios que presentan una alta vulnerabilidad a la contaminación y una alta dependencia de las aguas subterráneas, con el propósito de evaluar la cantidad y la condición del flujo de las aguas subterráneas entre las unidades hidrogeológicas de Texas y México.
  - Llevar a cabo un monitoreo de la calidad del agua en áreas transfronterizas prioritarias que han sido investigadas de manera limitada y que se consideran con buen potencial acuífero y buena calidad del agua.

- Evaluar la posibilidad de crear grupos de trabajo transfronterizos bajo el marco legal de los Distritos de Conservación de Aguas Subterráneas (GCD) para los condados fronterizos de Texas, con objeto de identificar amenazas y vulnerabilidades comunes a ambos lados de la frontera, relacionadas con el uso de aguas subterráneas desde una perspectiva regional. Esto aumentará la base de conocimientos y la concientización de una reserva común de recursos de aguas subterráneas a ambos lados de la frontera.
- Determinar la extensión geográfica de la vulnerabilidad a cada lado de la frontera donde la calidad del agua podría verse afectada (por ejemplo, por bombeo o contaminación) para cada uno de los acuíferos transfronterizos de Texas-México. Por ejemplo, la actividad humana a 100 km de la frontera sobre un gran acuífero transfronterizo de arenisca probablemente no tenga un impacto significativo en el país vecino sino hasta dentro de muchos años (si lo hubiera). Sin embargo, la actividad humana a 100 km de la frontera sobre un gran acuífero cárstico transfronterizo podría tener un impacto considerable en el país vecino, dentro de un plazo más inminente en el futuro.

Las recomendaciones anteriores representan la opinión del Subcomité de Asuntos de Aguas Subterráneas del TGPC y no reflejan necesariamente las opiniones y políticas de cada una de las organizaciones participantes. El USGS puede haber contribuido, pero solamente con información técnica.

Para obtener más información sobre este documento, póngase en contacto con el TGPC (<https://tgpc.texas.gov/contact-us/>).

### **Expertos en la materia**

- Rosario Sánchez, Científica Investigadora, Instituto de Recursos Hídricos de Texas, Texas A&M AgriLife Research, 979-862-6996, [rosario@tamu.edu](mailto:rosario@tamu.edu)
- Radu Boghici, Hidrogeólogo, Junta de Desarrollo del Agua de Texas, 512-463-5808, [radu.boghici@twdb.texas.gov](mailto:radu.boghici@twdb.texas.gov)
- Zhuping Sheng, Director, Centro de Investigación de El Paso, Texas A&M AgriLife Research, 915-859-9111, [zsheng@ag.tamu.edu](mailto:zsheng@ag.tamu.edu)
- Gabriel Eckstein, Profesor de Derecho, Universidad de Texas A&M, 817-212-3912, [gabrieleckstein@law.tamu.edu](mailto:gabrieleckstein@law.tamu.edu)
- Delbert Humberson, Centro de Ciencias del Agua de Texas – El Paso, Servicio Geológico de los Estados Unidos, 915-534-6308, [dhumberson@usgs.gov](mailto:dhumberson@usgs.gov)

## Referencias

- Boghici, R., 2002. Transboundary Aquifers of the Del Rio/Ciudad Acuña – Laredo/Nuevo Laredo Region, Texas Water Development Board.
- California Department of Water Resources. 2018. Actions for Local Agencies to Follow When Deciding to Become or Form a Groundwater Sustainability Agency (GSA). 6 pgs. <https://water.ca.gov/-/media/DWR-Website/Web-Pages/Programs/Groundwater-Management/Sustainable-Groundwater-Management/Groundwater-Sustainability-Agencies/Files/GSA-Formation-Notification-Guidelines-for-Local-Agencies.pdf>
- CONAGUA, 2006. Estudio de Actualización de Mediciones Piezométricas para la Disponibilidad del Agua Subterránea en el Acuífero Bajo Río Bravo, Tamaulipas.
- CONAGUA, 2015. Actualización de la Disponibilidad Media Anual de Agua en el Acuífero Presa la Amistad (0522), Estado de Coahuila., Subdirección General Técnica, CONAGUA, Mexico, DF.
- Eckstein, G. 2017. The International Law of Transboundary Groundwater Resources, Earthscan Water Text Series, 174 pps.
- Fischer, R. J., D. D. Axthelm, and R. Kennedy. 1970. EC70-786 Nebraska's New Natural Resource Districts. Historical Materials from University of Nebraska-Lincoln Extension. 4448.
- George, P., Mace, R., Petrossian, R., 2011. Aquifers of Texas, Texas Water Development Board.
- Hayton, R. D., Utton, A. E., 2010. Transboundary Groundwaters: the Bellagio Draft Treaty, [https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/water/meetings/legal\\_board/2010/annexes\\_groundwater\\_paper/Annex\\_III\\_Draft\\_Agreement\\_Concerning\\_Use\\_Transboundary\\_Groundwaters\\_ILA.pdf](https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/water/meetings/legal_board/2010/annexes_groundwater_paper/Annex_III_Draft_Agreement_Concerning_Use_Transboundary_Groundwaters_ILA.pdf)
- Hiscock, K.M., 2005. Hydrogeology (principles and practice). UK, Blackwell Science Ltd.
- International Water Management Institute, 2014. Transboundary Aquifer Mapping and Management in Africa, CGIAR Research Program on Water, Land and Ecosystems, [http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/Other/PDF/transboundary\\_aquifer\\_mapping\\_and\\_management\\_in\\_africa.pdf](http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/Other/PDF/transboundary_aquifer_mapping_and_management_in_africa.pdf)
- Maddocks, A., Reig, P., 2014. World's 18 most water-stressed rivers. World Resources Institute Blog, <https://www.wri.org/blog/2014/03/world-s-18-most-water-stressed-rivers>

- Permanent and Definitive Solution to the International Problem of the Salinity of the Colorado River, 1973. Minute 242 of the IBWC/CILA:  
<https://www.usbr.gov/lc/region/g1000/pdfiles/min242.pdf>
- Sánchez, R., Lopez, V., Eckstein, G., 2016. Identifying and characterizing transboundary aquifers along the Mexico–US border: An initial assessment. *Journal of Hydrology*, 535: 101-119. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.01.070>
- Sánchez, R., Rodriguez, L., and Tortajada, C., 2018. Transboundary aquifers between Chihuahua, Coahuila, Nuevo Leon and Tamaulipas, Mexico, and Texas, USA: Identification and categorization. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2018.04.004>
- Texas Commission on Environmental Quality (TCEQ). 2019. What is a Groundwater Conservation District (GCD) ?. 1 pg.  
[https://www.tceq.texas.gov/assets/public/permitting/watersupply/groundwater/maps/gcd\\_text.pdf](https://www.tceq.texas.gov/assets/public/permitting/watersupply/groundwater/maps/gcd_text.pdf)
- TWDB, 2017. Transborder Aquifers: A Summary of Aquifer Properties, Policies, and Planning Approaches for Texas, Surrounding States and Mexico. TWDB Groundwater Management Report 17-01, April 2017. 358 pps.
- United States-Mexico Transboundary Aquifer Assessment Act, 2006. Public law 109-448. In congress.
- U. S. Geological Survey, 2016. Water Science Glossary of Terms.
- World Bank, 2006. The Guarani Aquifer Initiative for Transboundary Groundwater Management, Sustainable Groundwater Management: Lessons from Practice, 20 pps.  
[http://siteresources.worldbank.org/INTWRD/Resources/GWMATE\\_English\\_CP9.pdf](http://siteresources.worldbank.org/INTWRD/Resources/GWMATE_English_CP9.pdf)