

ESTADO DEL ALMACENAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS ACUÍFEROS RÍO BACOACHI Y RÍO BACANUCHI



MEDIO AMBIENTE
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



IMTA
INSTITUTO MEXICANO
DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

ITSON
UNIVERSIDAD

INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

ADRIÁN PEDROZO ACUÑA

Director general

COORDINACIÓN DE SEGURIDAD HÍDRICA

JOSÉ AGUSTÍN BREÑA NARANJO

EDWIN FERNANDO ZETINA ROBLEDA

COORDINACIÓN DE SISTEMAS HÍDRICOS

EDGAR YURI MENDOZA CAZARES

ROEL SIMUTA CHAMPO

RUBÉN DARÍO HERNÁNDEZ LÓPEZ

**UNIDAD DE VINCULACIÓN Y ASUNTOS
INTERNACIONALES**

LETIZIA ODETH SILVA ONTIVEROS

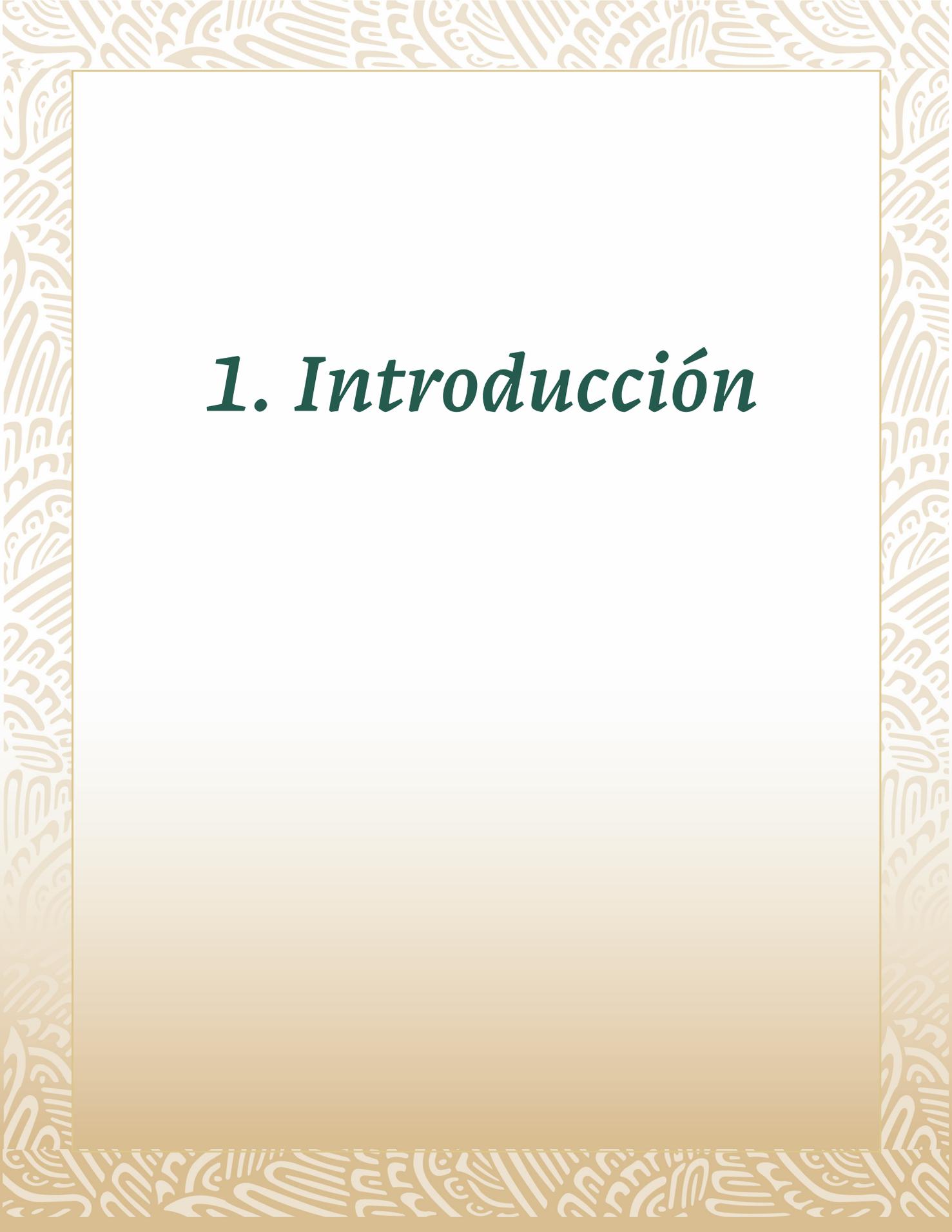
AGRADECIMIENTOS ESPECIALES

A LA COLABORACIÓN DE:

AGUSTÍN ROBLES MORÚA DEL INSTITUTO
TECNOLÓGICO DE SONORA

AL OBSERVATORIO SOCIO AMBIENTAL MÉXICO

AL ACOMPAÑAMIENTO DE LOS COMITÉS DE CUENCA
RÍO SONOR



1. Introducción

1. INTRODUCCIÓN

En época reciente, las condiciones de los acuíferos en México han ido en detrimento. De acuerdo con el último estudio publicado en 2023 en donde se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de México, actualmente 286 se encuentran en una condición de no sustentabilidad o déficit, es decir, son acuíferos *Sin Disponibilidad*, dado que las extracciones de agua subterránea superan a la recarga (Figura 1).

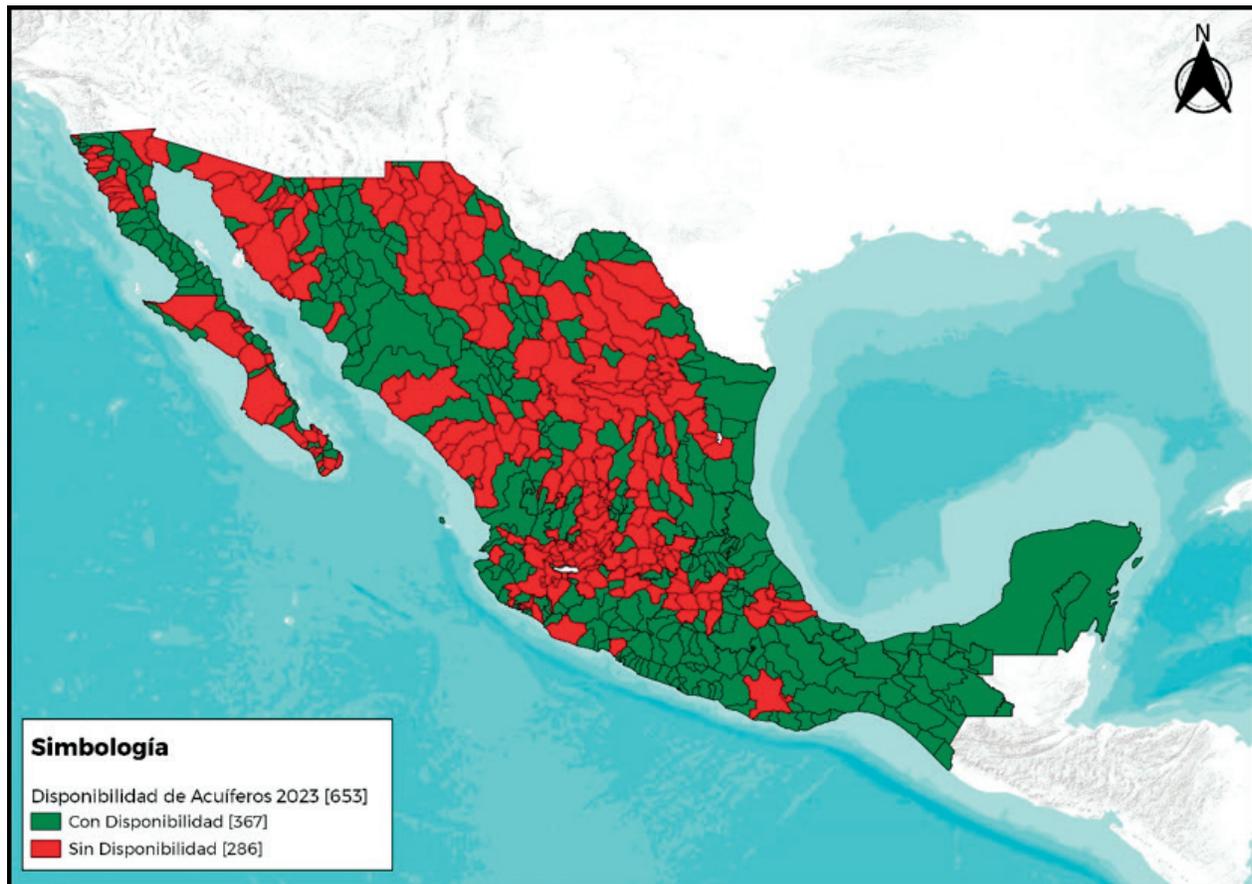
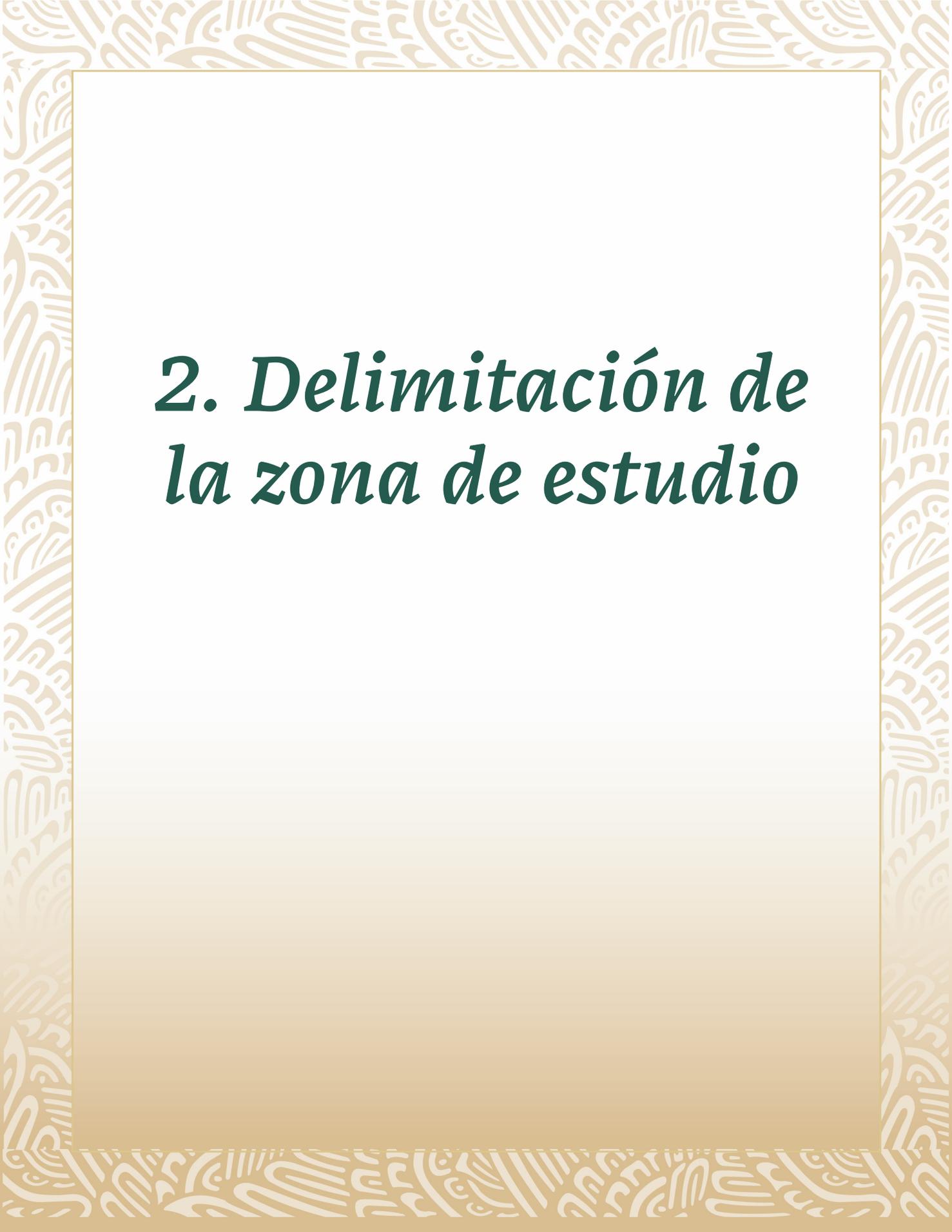


Figura 1. Disponibilidad de acuíferos del año 2023 a nivel nacional

Fuente: Elaboración propia con datos del Sistema Nacional de Información del Agua (SINA)

Bajo este contexto, los acuíferos cercanos al proyecto minero Buenavista del Cobre, operado por Grupo México en el municipio de Cananea, estado de Sonora no son la excepción. La minera ha sido objeto de escrutinio en la última década, debido a las cantidades de agua requeridas para sus operaciones y las acciones que llevan a cabo para suministrar dichos volúmenes, además de generar impactos ambientales que se van extendiendo cada vez más. Dicha situación genera preocupación entre las comunidades locales, autoridades gubernamentales de los tres órdenes, la academia y diversas organizaciones nacionales e internacionales, quienes demandan conocer la situación actual de los recursos naturales en el territorio.



2. Delimitación de la zona de estudio

2. DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Ante esta controversia, se realizó la revisión en gabinete de los acuíferos del río Sonora, para identificar la zona de influencia de Buenavista del Cobre y así delimitar la zona de estudio.

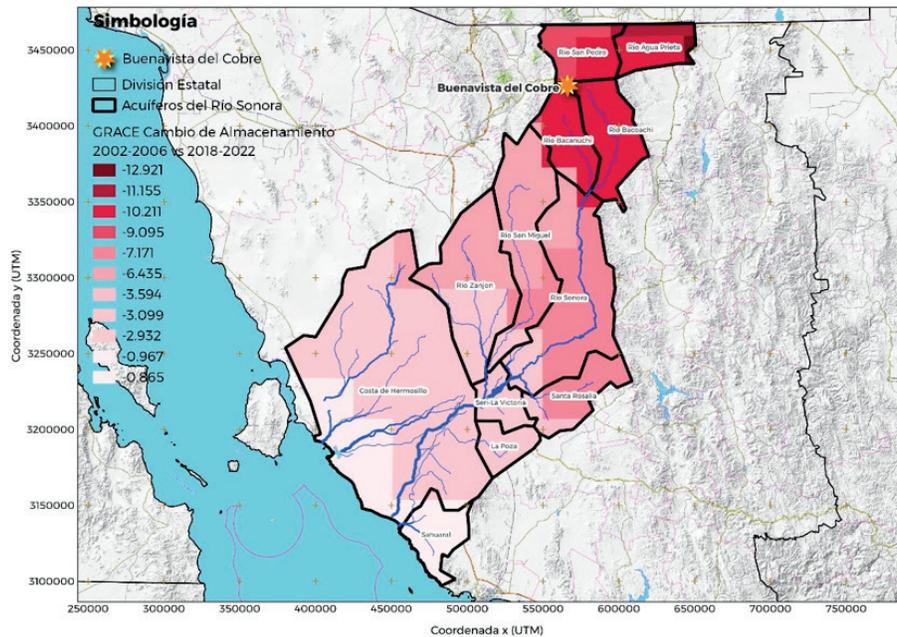


Figura 2. Comparación del cambio del almacenamiento de volúmenes de agua (en centímetros) entre los periodos 2002-2006 y 2018-2022

Fuente: Elaboración propia con información de la misión GRACE

Para ello, se utilizaron los datos provenientes de la misión satelital GRACE (por sus siglas en inglés *Gravity Recovery and Climate Experiment*), los cuales permiten realizar estimaciones relativas a la sobreexplotación de acuíferos. En México, su uso ha sido promovido por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) desde finales del año 2018 (Pedrozo-Acuña, 2022). Los resultados muestran un descenso en el almacenamiento de todos los acuíferos del río Sonora en los últimos 20 años; sin embargo, es de destacar la sobreexplotación de los acuíferos 2627 Río Bacoachi y 2628 Río Bacanuchi, donde se encuentran las instalaciones del proyecto minero Buenavista del Cobre (Figura 2)

Una vez definidos estos dos acuíferos, se realizó la revisión de la información oficial publicada en los ACUERDOS de disponibilidad de los años 2020 y 2023 que se elaboran con base en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015 y los documentos técnicos elaborados para respaldar el cálculo de disponibilidad de ambos acuíferos, encontrándose que el acuífero 2627 Río Bacoachi pasa de una condición de *Déficit* en la publicación del 2020 a contar con Disponibilidad de volúmenes para el año 2023 (Figura 3).

Ante estos hechos y considerando que el análisis de GRACE muestra un decaimiento en los almacenamientos de agua en los últimos 20 años, se realizó la revisión de la actualización de la disponibilidad para el acuífero 2627 Río Bacoachi.

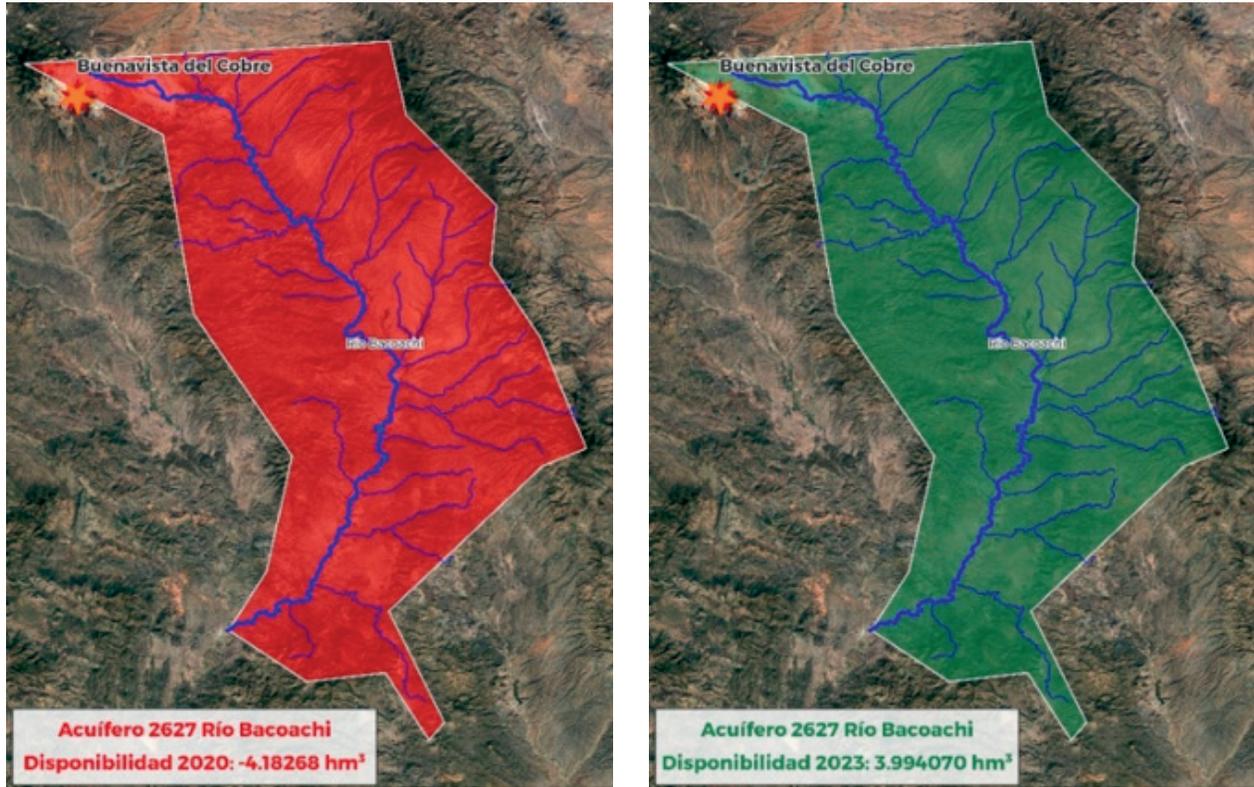
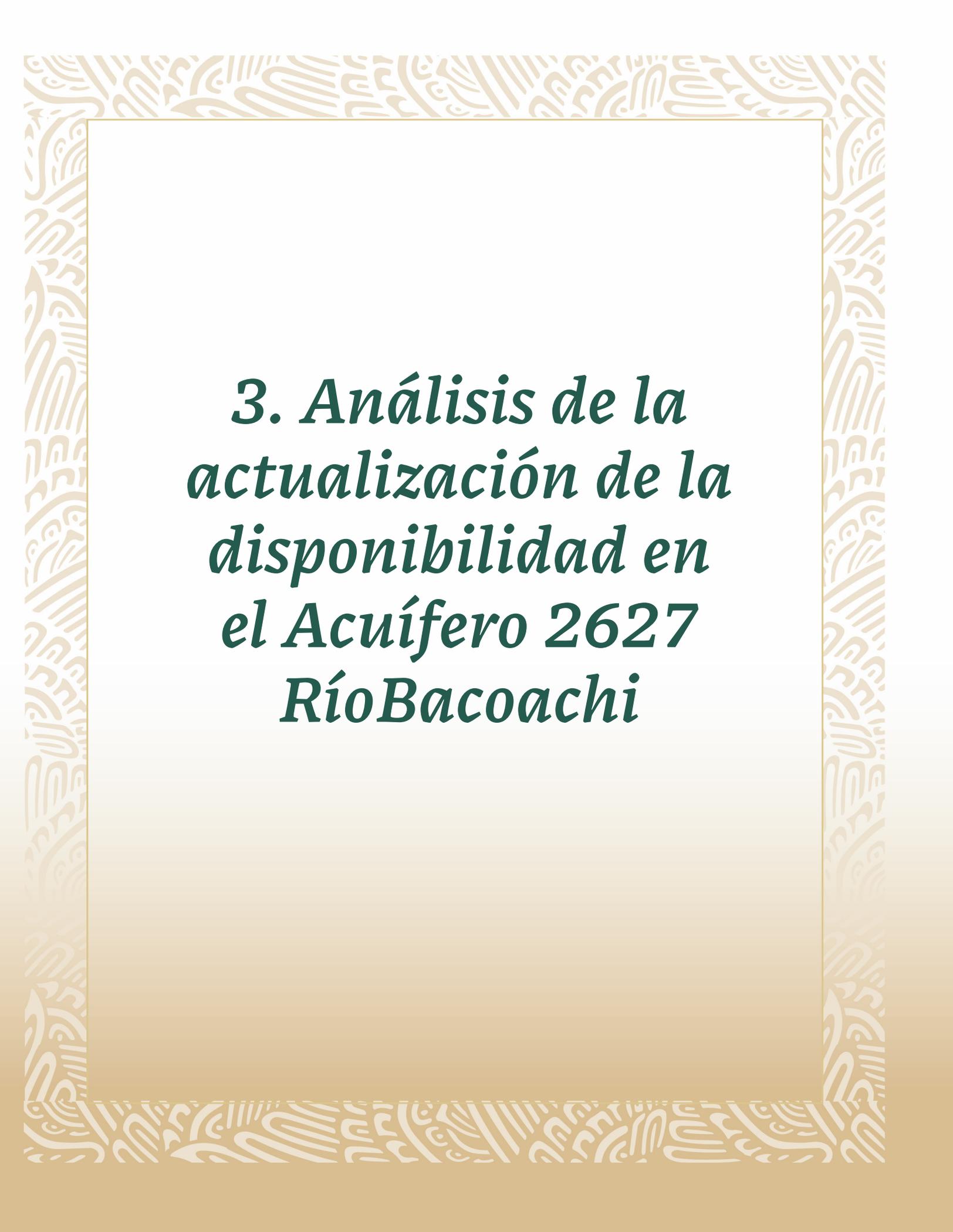


Figura 3. Disponibilidad 2020 y 2023 para el acuífero 2627 Río Bacoachi

Fuente: Elaboración propia con información de los ACUERDOS de disponibilidad de los 653 acuíferos de México publicada en el Diario Oficial de la Federación





***3. Análisis de la
actualización de la
disponibilidad en
el Acuífero 2627
RíoBacoachi***

3. ANÁLISIS DE LA ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD EN EL ACUÍFERO 2627 RÍO BACOACHI

La ecuación de balance de aguas subterráneas para el cálculo de la Disponibilidad Media Anual de acuerdo con lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, es:

$$DMA = R - DNC - VEAS \quad (1)$$

En donde, **DMA** es la Disponibilidad Media Anual de aguas del subsuelo en un acuífero; **R** es la Recarga Total Media Anual; **DNC** la Descarga Natural Comprometida y **VEAS** el Volumen de Extracción de Aguas Subterráneas.

En la ecuación (1), el Volumen de Extracción de Aguas Subterráneas se determina de la siguiente forma:

$$VEAS = VCAS + VEALA + VAPTYR + VAPRH \quad (2)$$

Donde **VEAS** es el Volumen de Extracción de Aguas Subterráneas; **VCAS** representa los Volúmenes Concesionados/Asignados de Aguas Subterráneas por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) mediante títulos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA); **VEALA** corresponde a los volúmenes de Extracción de Agua en las zonas de suspensión provisional de Libre Alumbramiento y los inscritos en el Registro Nacional Permanente; **VAPTYR** se refiere a los Volúmenes de Agua Pendientes de Titulación y/o Registro en el REPGA; y **VAPRH** son los Volúmenes de Agua correspondientes a Reservas, Reglamentos y Programación Hídrica, determinados para el acuífero en cuestión. Todos estos volúmenes están referidos a una fecha de corte específica y para un periodo anual.

Con base en lo anterior, se presenta a continuación una comparación de las variables descritas anteriormente para los Acuerdos de Disponibilidad publicados en el Diario Oficial de la Federación en los años 2020 y 2023.

Tabla 1. Resumen y comparación de las variables de disponibilidad de agua subterráneas para los años 2020 y 2023 para el acuífero 2627 Río Bacoachi

Variable	Volúmenes en hectómetros cúbicos anuales (hm ³ /año)		
	2020	2023	Diferencia 2023-2020
R	31.70000	49.00000	17.30000 ↑
DNC	7.60000	13.20000	5.60000 ↑
VCAS	28.27350	28.22379	-0.04971 ↓
VEALA	0.00918	0.00918	0.00000 -
VAPTYR	0.00000	3.555402	3.555402 ↑
VAPRH	0.00000	0.017558	0.017558 ↑
DMA	-4.18268	3.994070	8.176750 ↑

Fuente: Elaboración propia con información de los ACUERDOS de disponibilidad de los 653 acuíferos de México publicada en el Diario Oficial de la Federación

En la Tabla 1 se destaca un aumento del 55% de la Recarga Total Media Anual (**R**) del acuífero con respecto al 2020, lo que equivale a un ingreso adicional de 17.3 hm³ para la estimación del año 2023. Si bien es cierto que las variables que representan egresos de agua también incrementaron de manera general sus valores, la cifra estimada de las salidas del acuífero es menor que las entradas para el año 2023. Esta situación es la que causa el aumento de la Disponibilidad Media Anual en la zona de estudio.

Con base en lo anterior, se revisaron en detalle los documentos "Estudio de Actualización de la Disponibilidad Media Anual de Agua en el Acuífero Río Bacoachi (2627), estado de Sonora", para los años 2020 y 2023. Es importante resaltar que la información presentada en ellos resulta ser de índole ejecutiva, sin mostrar el detalle del cálculo. Sin embargo, permiten identificar las condiciones planteadas, así como las diferencias entre ambos balances.

La mayor diferencia encontrada, se concentra en el método utilizado para determinar la Recarga Total Media Anual (**R**) de un acuífero, que en su forma más simple puede representarse con la siguiente expresión:



$$\sum E = \frac{\Delta V}{\Delta t} + \sum S \quad (3)$$

En donde **E** son las entradas de volumen asociadas a la recarga total; **S** las salidas de volumen asociadas a la descarga total; y $\frac{\Delta V}{\Delta t}$ es el cambio de almacenamiento del acuífero para un intervalo de tiempo específico considerado para el balance (para el caso de la disponibilidad se considera un periodo anual).

Tomando como base la ecuación (3), los documentos plantean su parametrización mediante la introducción de siete variables a evaluar: la del cambio de almacenamiento, tres de volúmenes de entrada (también llamados de *recarga*) y las otras tres de volúmenes de salida (también llamados de *descarga*). Bajo estas consideraciones, la ecuación queda:

$$(E_h + R_v + R_i) = \frac{\Delta V}{\Delta t} + (B + Evt + S_h) \quad (4)$$

En donde E_h son las Entradas por flujo subterráneo horizontal; R_v la Recarga vertical; R_i la Recarga incidental; **B** el Bombeo; **Evt** la Evapotranspiración de los niveles freáticos someros; y S_h las Salidas por flujo subterráneo horizontal.

Despejando la Recarga vertical R_v en la ecuación (4):

$$R_v = \frac{\Delta V}{\Delta t} + (B + Evt + S_h) - (R_i + E_h) \quad (5)$$

La ecuación (5) permite calcular la Recarga vertical R_v en función de variables cuyos valores pueden ser estimados. De esta forma la Recarga Total Media Anual **R** de la ecuación (1) se determina con los volúmenes de entrada (variables de recarga) de la siguiente manera:

$$R = R_i + E_h + R_v \quad (6)$$

Otro punto por destacar es la estimación de las variables del lado derecho de la igualdad en la ecuación (5), puesto que las fuentes de información empleadas son diferentes entre documentos:

- **En la actualización 2020**, la fuente principal de información para la CONAGUA es el

documento denominado Estudio Geohidrológico de las Subcuencas de los Ríos Sonora, Zanjón, San Miguel, Mesa del Seri-La Victoria y Cuenca Bacoachito; elaborado por la Universidad de Sonora para la Comisión Estatal del Agua del Gobierno del Estado de Sonora en el año 2005.

- **En la actualización 2023**, la fuente principal de información para la CONAGUA es el documento denominado Estudio de Caracterización Hidrogeológica del Acuífero Bacoachi, Municipio de Cananea, Sonora, elaborado por la empresa Investigación y Desarrollo de Acuíferos y Ambiente, S.A. de C.V. (IDEAS) para Buenavista del Cobre, S. A. de C.V. en 2017.

A continuación, se presenta el detalle de cada una de estas variables estimadas.

I. Entrada por flujo subterráneo horizontal (E_h).

Se define como la fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas topográficamente más altas del acuífero, se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos.

Para su cálculo se establecen celdas con base en las curvas de igual elevación de nivel estático y se emplea la Ley de Darcy en cada una:

$$Q = T \cdot B_c \cdot i \quad (7)$$

En donde **Q** es el caudal en m^3/s , **T** la Transmisividad en (m^2/s) , **B_c** es la Longitud de la celda (m); y la **i** es el Gradiente hidráulico de la celda (adimensional).

La suma de los valores obtenidos para cada celda representa el caudal de flujo subterráneo horizontal en m^3/s , el cual posteriormente se convierte en volumen anual ($hm^3/año$).

- **Para el año 2020** se considera la configuración piezométrica del 2005 y se emplea la Ley de Darcy sobre el cauce del río Sonora y los principales tributarios, definiendo cuatro celdas de cálculo y una E_h de **16.5 $hm^3/año$** .
- **Para el año 2023** se considera la configuración piezométrica del 2017 y se emplea la Ley de Darcy sobre todo el límite al noreste del acuífero, definiendo 21 celdas de cálculo, aumentando la longitud para el cálculo de entrada horizontal y una E_h de **29.9 $hm^3/año$** .

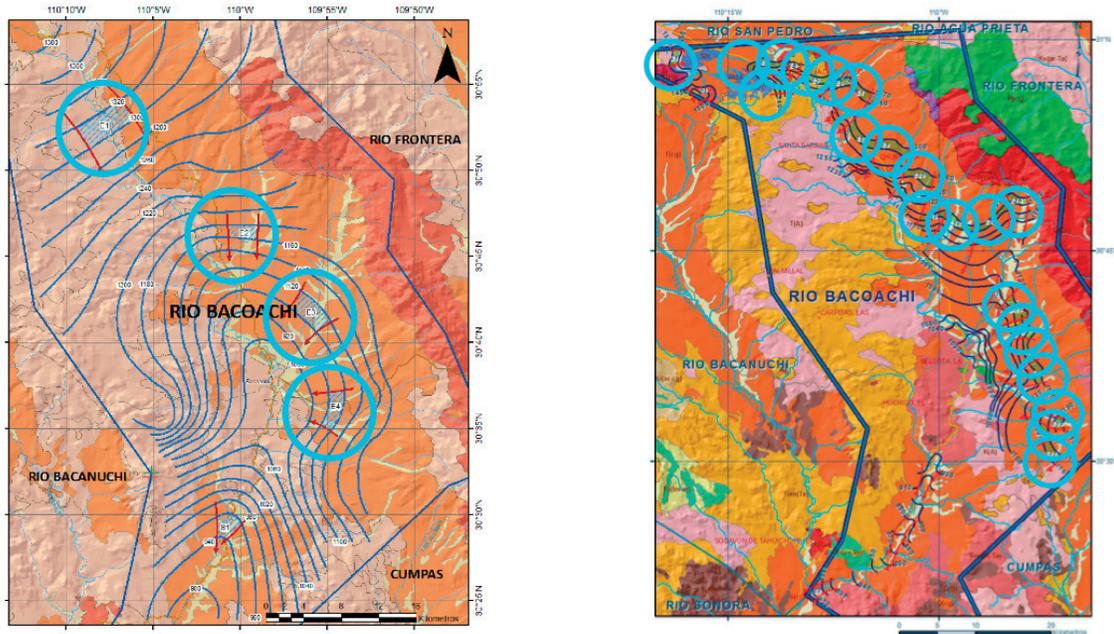


Figura 4. Configuración piezométrica y celdas de entrada de flujo subterráneo horizontal del acuífero 2627 Río Bacoachi 2020 (izquierda) vs 2023 (derecha)
Fuente: Documentos de Respaldo para la publicación de la Disponibilidad (CONAGUA, 2020 y CONAGUA, 2023)

II. Recarga incidental (R_i). Se considera como Recarga incidental a los volúmenes de infiltración ocurridos por excedentes del riego agrícola, el agua residual de las descargas urbanas y de las fugas en las redes de distribución de agua potable.

- **Para el año 2020** utilizan el criterio de retorno de riego de Jacob Bear y se considera 30% del uso agrícola ($6.2 \text{ hm}^3/\text{año}$) como Recarga incidental del acuífero, esto es un **R_i de $1.9 \text{ hm}^3/\text{año}$** .
- **Para el año 2023** se menciona que el volumen de uso agrícola es pequeño ($0.9 \text{ hm}^3/\text{año}$), por tanto, se considera 30% del uso público urbano ($7.7 \text{ hm}^3/\text{año}$) como Recarga incidental del acuífero, esto es un **R_i de $2.3 \text{ hm}^3/\text{año}$** .

III. Bombeo (B). Se obtiene mediante el censo de aprovechamientos de agua subterránea para definir un volumen total de extracción

- **Para el año 2020** se toma información del REPDA 2010 considerando 353 aprovechamientos identificados, para un **B de $13.9 \text{ hm}^3/\text{año}$** .
- **Para el año 2023** se toma el resultado del censo de aprovechamientos e hidrometría realizado para Grupo México en 2017, del que se menciona

un total de 179 aprovechamientos censados, para un **B de $33.4 \text{ hm}^3/\text{año}$** .

IV. Evapotranspiración de los niveles freáticos someros (Evt). Se define como la cantidad de agua transferida del suelo a la atmósfera por evaporación, así como por la transpiración de las plantas, por lo tanto, y se considera como una forma de pérdida de humedad en el sistema.

Para su cálculo, se emplea la ecuación empírica de Turc:

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.90 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad (8)$$

Siendo:

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3 \quad (9)$$

En donde, **ETR** es la Evapotranspiración media anual en milímetros; **P** es la Precipitación media anual en milímetros; y **T** es la Temperatura media anual en grados centígrados.



Conocida la lámina de evapotranspiración (**ETR**) en mm/año, mediante la ecuación de Turc, se determina el volumen de evapotranspiración de los niveles freáticos someros (**Evt**) en $\text{hm}^3/\text{año}$. Para esto, se establece una relación lineal entre la superficie y una profundidad límite de extinción en superficies con niveles someros, de modo que, a menor profundidad, mayor será el valor de **ETR**. Bajo esta premisa, el valor de **ETR** se vuelve nulo en la profundidad límite de extinción y será del 100% a 0.0 m de profundidad, es decir, a nivel del terreno (Figura 5).

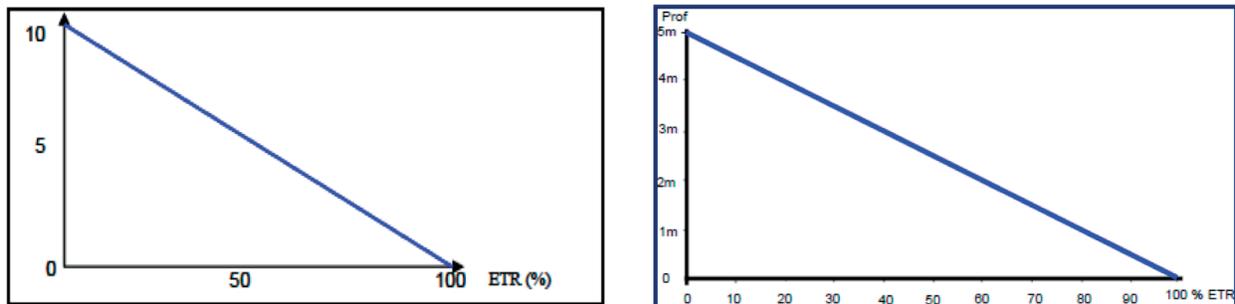


Figura 5. Relación lineal entre la superficie y la profundidad límite de extinción en superficies con niveles someros del acuífero 2627 Río Bacoachi 2020 (izquierda) vs 2023 (derecha)
Fuente: Documentos de Respaldo para la publicación de la Disponibilidad (CONAGUA, 2020 y CONAGUA, 2023)

- **Para el año 2020** se aplica la ecuación empírica de Turc con una temperatura media anual de $18.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y precipitación media anual de 550 mm, resultando una lámina de **ETR** de 508.2 mm. Para el cálculo de la **Evt** se define la zona freática somera considerando una profundidad límite de extinción de 10 m y una superficie de 75 km^2 a lo largo del Río Sonora (entre Unamichi, Bacoachi y Buenavista), resultando una **Evt de $13.9\text{ hm}^3/\text{año}$** .
- **Para el año 2023** se aplica la ecuación empírica de Turc considerando los mismos valores de temperatura y precipitación media anual ($18.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 550 mm, respectivamente), resultando una lámina de **ETR** de 508.2 mm. Sin embargo, para el cálculo de la **Evt** se define una zona freática somera menor, considerando una profundidad límite de extinción de 5 m y una superficie de 29 km^2 resultando una **Evt de $3.1\text{ hm}^3/\text{año}$** .

V. Salidas por flujo subterráneo horizontal (S_h). De modo similar al que se evalúan las Entradas por flujo subterráneo horizontal (E_h), con base en la configuración de la elevación del nivel estático se

identifican flujos que se dirijan a las fronteras del acuífero y se establecen celdas para aplicar la Ley de Darcy en cada una. La suma de estos valores, representa los volúmenes que salen del acuífero a través del flujo subterráneo.

- **Para el año 2020** se considera la configuración piezométrica del 2005 y se emplea la Ley de Darcy sobre una celda de cálculo que corresponde a la salida del cauce del río Sonora aguas abajo, estimando la **S_h en $2.6\text{ hm}^3/\text{año}$** .
- **Para el año 2023** se considera la configuración piezométrica del 2017 y se emplea la Ley de Darcy definiendo 2 celdas de cálculo: la primera ubicada al norte del acuífero aguas arriba del cauce del río Sonora, en donde se estima un caudal de $0.3833\text{ m}^3/\text{s}$ para un volumen de $12.1\text{ hm}^3/\text{año}$ que presuntamente se dirigen al acuífero Río Bacanuchi; la segunda celda corresponde a la salida del cauce del río Sonora aguas abajo con un caudal de $0.0862\text{ m}^3/\text{s}$ para un volumen de $1.1\text{ hm}^3/\text{año}$, valor muy por debajo de la celda aguas arriba. La suma de estos valores resulta en una **S_h de $13.2\text{ hm}^3/\text{año}$** .



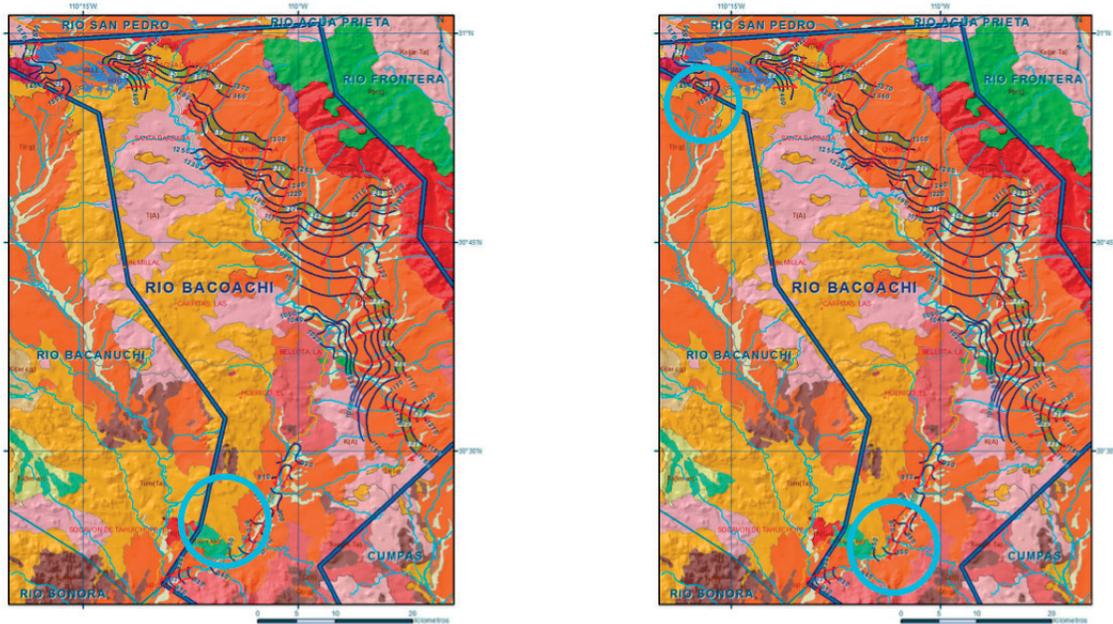


Figura 6. Configuración piezométrica y celdas de salida de flujo subterráneo horizontal del acuífero 2627 Río Bacoachi 2020 (izquierda) vs 2023 (derecha)
Fuente: Documentos de Respaldo para la publicación de la Disponibilidad (CONAGUA, 2020 y CONAGUA, 2023)

VI. Cambio en el almacenamiento ($\Delta V/\Delta t$). El cambio de almacenamiento en el intervalo de tiempo considerado para el balance (anual para el cálculo de la disponibilidad), se determina a partir de la evolución de los niveles del agua subterránea correspondientes a un intervalo definido entre mediciones y de valores representativos del coeficiente de almacenamiento del acuífero. El valor de este coeficiente se determina a partir de pruebas de bombeo y/o con base en consideraciones relativas al tipo y litología del acuífero en estudio.

Para estimar el cambio de almacenamiento en un intervalo definido entre mediciones, se emplea la siguiente ecuación:

$$\Delta VS = A \cdot h \cdot S \quad (10)$$

Donde ΔVS es el cambio de almacenamiento en el período analizado en hm^3 ; A es el área entre curvas de igual evolución del nivel estático en km^2 ; h es el valor medio de la variación piezométrica en el período en m ; y S es el coeficiente de almacenamiento promedio de la zona de balance.

- **Para el año 2020** no se dispone de información piezométrica suficiente para elaborar la configuración de la evolución del nivel estático para un periodo de tiempo, ya que se cuenta con escasas mediciones piezométricas para los años 2004 y 2005. Por tanto, el valor de ΔVS es nulo y en consecuencia $\Delta V/\Delta t$ también es nulo.
- **Para el año 2023** se considera la evolución del nivel estático para el periodo 2004-2017 (periodo de 13 años), siendo esta configuración el resultado del estudio realizado para Grupo México. Se muestran abatimientos que generalmente van de 1 a 2 metros para dicho periodo (Figura 7). Para el cálculo se considera el análisis de seis curvas de nivel que abarcan un área de 55 km^2 y coeficiente de almacenamiento de 0.1 de manera general. Al sumar las seis curvas de nivel, se obtiene un cambio de almacenamiento para el periodo indicado de -9.3 hm^3 , por lo que este valor se divide entre 13 años, resultando un $\Delta V/\Delta t$ de -0.7 hm^3 .



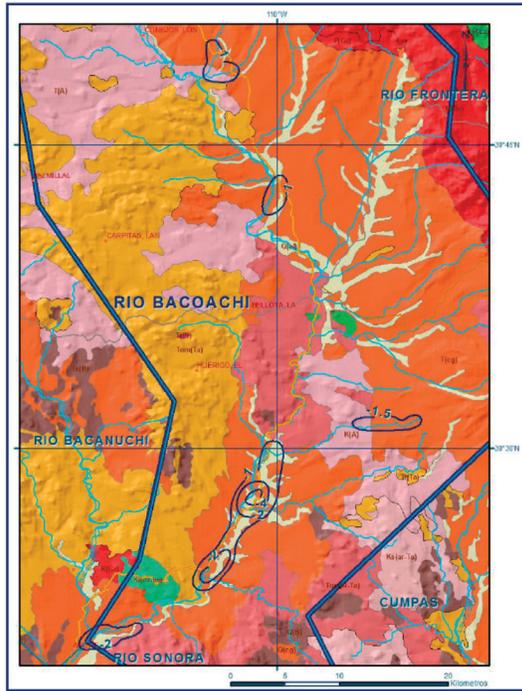


Figura 7. Evolución en metros del nivel estático del acuífero 2627 Río Bacoachi (periodo 2004-2017)
Fuente: Documento de Respaldo para la publicación de la Disponibilidad (CONAGUA, 2023)

VII. Recarga vertical (R_v) y Recarga Total Media Anual (R). Con base en los valores parametrizados del numeral I al VI y aplicando las ecuaciones (5) y (6), se determina la R_v y la R , respectivamente.

- **Para el año 2020** la Recarga vertical con base en la ecuación (5) resulta ser $R_v=0.0+(13.9+15.2+2.6)-(1.9+16.5)=13.3 \text{ hm}^3/\text{año}$ y la Recarga Total media Anual con base en la ecuación (6) resulta ser $R=1.9+16.5+13.3=31.7 \text{ hm}^3/\text{año}$.
- **Para el año 2023** la Recarga vertical con base en la ecuación (5) resulta ser $R_v=0.7+(33.4+3.1+13.2)-(2.3+29.9)=16.8 \text{ hm}^3/\text{año}$ y la Recarga Total media Anual con base en la ecuación (6) resulta ser $R=2.3+29.9+16.8=49.0 \text{ hm}^3/\text{año}$.

En la Tabla 2 se puede ver el resumen comparativo de las variables estimadas para la determinación de la Recarga vertical y Recarga Total Media Anual de los Acuerdos de Disponibilidad 2020 y 2023 del acuífero 2627 Río Bacoachi.

Tabla 2. Resumen de los valores parametrizados del numeral I al VII, para los años 2020 y 2023 en el acuífero 2627 Río Bacoachi

Variable	Volúmenes en hectómetros cúbicos anuales ($\text{hm}^3/\text{año}$)	
	2020	2023
$\Delta V \Delta t$	0.0	0.7
B	13.9	33.4
E_{vt}	15.2	3.1
S_h	2.6	13.2
R_i	1.9	2.3
E_h	16.5	29.9
$R_v = \Delta V \Delta t + (B + E_{vt} + S_h) - (E_h + R_i)$	13.3	16.8
$R = R_i + E_h + R_v$	31.7	49.0

Fuente: Elaboración propia, con base en los Documentos de Respaldo para la publicación de la Disponibilidad (CONAGUA, 2020 y CONAGUA, 2023)

Los resultados anteriores muestran un aumento en la Recarga Total Media Anual del acuífero 2627, que aumenta de 31.7 a 49.0 $\text{hm}^3/\text{año}$.

Realizando un análisis de precipitación en la zona de estudio se observa que estas variables han decaído y que el valor medio anual de esta variable es de 455.58 mm, de acuerdo con la base de datos de CHIRPS (por sus siglas en inglés *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data*), por lo que no es de esperar que haya un aumento en la Recarga, tal como muestran los resultados de la variación de almacenamiento de GRACE. En la Figura 8 se presenta los gráficos con la evolución temporal para el periodo 2002-2023 de la precipitación (CHIRPS), variación en el almacenamiento (GRACE) y el porcentaje de sequía del Monitor Mesoamericano de Sequía Tzolkin del IMTA en el acuífero 2627 Río Bacoachi.

Para el cálculo de la Evapotranspiración se parte de los mismos datos en ambos estudios para estimar la **ETR** (igual Precipitación y Temperatura media anual); sin embargo, las consideraciones cambian para disminuir la superficie y la profundidad límite de extinción para el manto freática somero, reduciendo la Evapotranspiración de 15.2 a 3.1 $\text{hm}^3/\text{año}$, situación contraria a la tendencia del país (Figura 9).

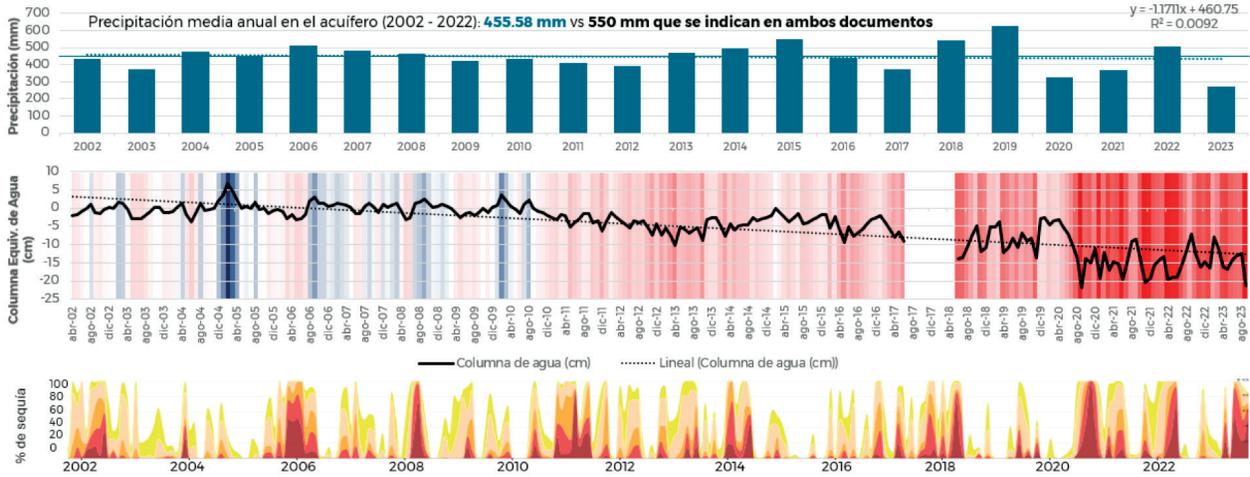


Figura 8. Gráficos de precipitación, variación de almacenamiento y porcentaje de sequía
Fuente: Bases de datos de CHIRPS, GRACE y Tzolkín

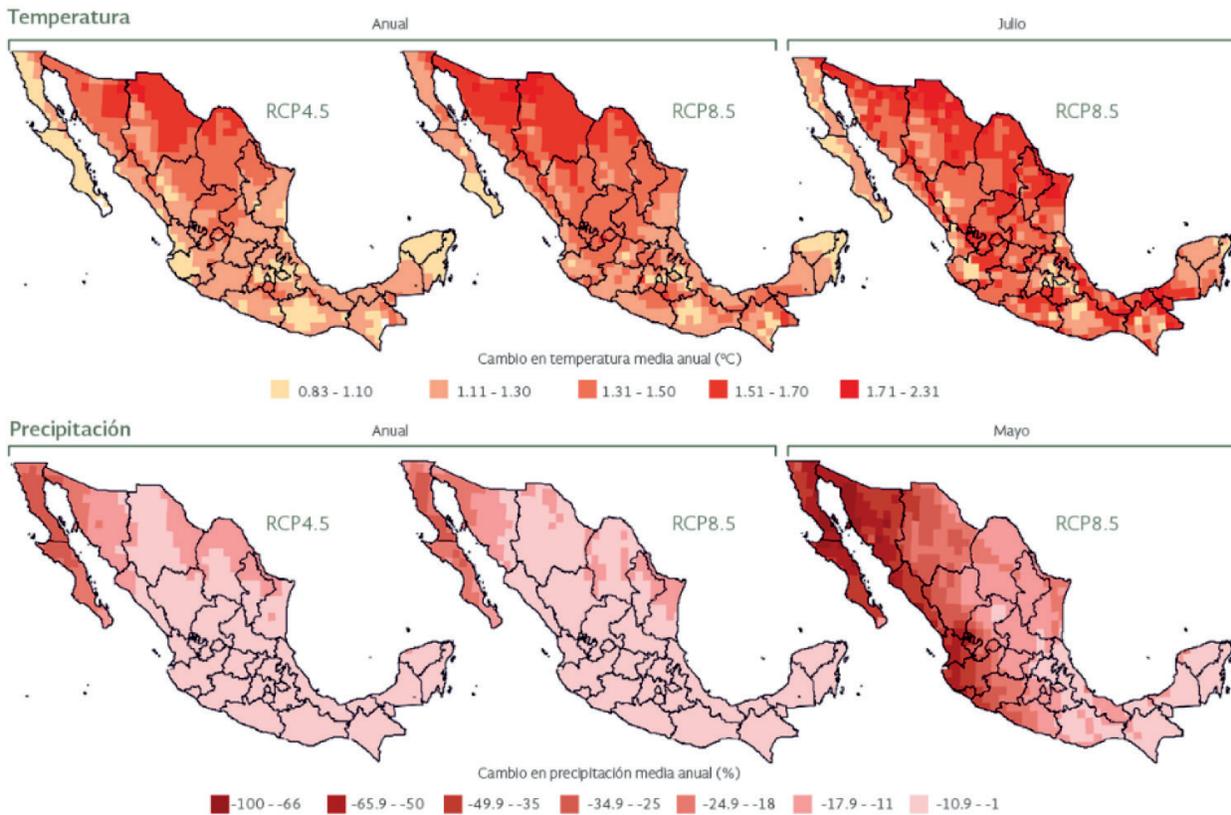


Figura 9. Proyecciones de temperatura y precipitación anuales promedio para meses seleccionados en México bajo los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 para el periodo 2015-2039
Fuente: Compendio de estadísticas ambientales 2015 de la SEMARNAT





Asimismo, se observa un incremento de la longitud de cálculo sobre la que emplea la Ley de Darcy para la estimación de las Entradas de flujo subterráneo horizontal pasando de 7,730 m en cuatro celdas a 18,723 m en 21 celdas, las cuales se ubican en zona de depósito aluvial y conglomerado, que de acuerdo con la información presentada en los estudios son de permeabilidad media a baja. Esta situación se repite al estimar las Salidas de flujo subterráneo horizontal, que incrementa la longitud de cálculo de 3,600 m en una celda a 5,748 m en dos celdas.

El balance de 2020 propone cuatro entradas subterráneas (condiciones de frontera), todas en la zona de conglomerados y asociadas a la zona del cauce de arroyo (aluvión). El plano piezométrico (elevación del nivel estático) representa la condición inicial, pero no se muestra la disposición espacial de los pozos (solamente las curvas de elevación), lo que no permite evaluar la posición de las celdas (CONAGUA, 2020). Independientemente de la carencia de la información, se puede considerar que la zona de los arroyos corresponde con las entradas subterráneas.

Por otra parte, en el balance del 2023 las condiciones planteadas son distintas: se proponen 21 entradas horizontales todas en los conglomerados, pero eso no justifica el aumento del flujo subterráneo. El plano de elevación del nivel estático no muestra la posición de los pozos y su valor, lo que no permite evaluar la existencia de las nuevas celdas; además se reduce el valor de evapotranspiración y se plantea que el acuífero presenta una variación negativa en el almacenamiento subterráneo, asumiendo una condición transitoria (Conagua, 2023).

En este estado, el acuífero no está en equilibrio por lo que se captura la recarga natural más un valor de cambio de dicha recarga ($R_0 + \Delta R_0$), así como la captura de las descargas naturales más la variación de éstas ($D_0 + \Delta D_0$) lo que cambia la dinámica del flujo subterráneo con respecto al 2020. Este hecho, aunado a que el balance del 2023 no justifica el aumento del flujo subterráneo, propicia incrementos en el valor de la recarga, por lo que se debería demostrar que los flujos subterráneos verdaderamente aportan volumen al acuífero.

En resumen, si en el planteamiento del balance se considera que se captura un mayor volumen de la variación de la recarga y la descarga en condiciones transitorias, tendremos como resultado un incremento en la Recarga vertical y, en consecuencia, un incremento en la Recarga Total Media Anual del acuífero tal y como ocurre en el documento de 2023.

Sin embargo, no es posible considerar que la recarga natural aumente en un acuífero donde el volumen de extracción incrementa, existe una evolución negativa en el almacenamiento y la tendencia de precipitación disminuye.





4. Campaña de monitoreo de niveles piezométricos

4. CAMPAÑA DE MONITOREO DE NIVELES PIEZOMÉTRICOS

En respuesta a las discrepancias y falta de información en el acuífero 2627 Río Bacoachi, el IMTA llevó a cabo una visita de campo del 2 al 4 de febrero de 2024 con el objetivo de recabar información de los pozos de la región, esta campaña incluyó también sitios localizados en el acuífero 2628 Río Bacanuchi.

Los objetivos de la visita se presentan a continuación:

- **Actualizar los niveles piezométricos de los acuíferos Río Bacoachi y Río Bacanuchi.** Estos acuíferos son las principales fuentes de agua subterránea en la región, proporcionando recursos hídricos no solo para la operación minera sino también para el consumo doméstico y agrícola de la población. La actualización de los niveles piezométricos de estos acuíferos permitirá evaluar su estado actual y detectar los cambios en la disponibilidad de agua a lo largo del tiempo.
- **Determinar si ambos acuíferos han tenido un abatimiento en los últimos 20 años para Río Bacoachi y 10 años para Río Bacanuchi:** Con base en la información piezométrica que se recabe, se comparará con los registros históricos de ambos acuíferos para conocer su evolución y

evaluar si ha habido un abatimiento significativo en los niveles de agua. Para esto, se utilizará la información disponible en el periodo 2004-2005 para Río Bacoachi y de 2016-2017 para el Río Bacanuchi.

- **Expandir la red de monitoreo y generar una línea base geohidrológica robusta.** La creación de una línea base geohidrológica proporcionará una referencia clara y detallada para futuras actualizaciones y estudios, permitiendo comparaciones y evaluaciones más precisas a lo largo del tiempo.

Para la localización y selección de los pozos se utilizaron dos bases de datos, una para cada acuífero.

Para el caso del acuífero 2627 Río Bacoachi, se contó con una base de datos 40 pozos distribuidos a lo largo del acuífero en el periodo 2004-2005. Tomando como referencia la localización de estos pozos, se realizó el recorrido para ubicarlos, teniendo como resultado un total de 34 pozos visitados, de los cuales 14 pozos se encontraron habilitados, 7 inhabilitados y se añadieron 13 nuevos a la base de datos de la campaña 2024 (Figura 10).

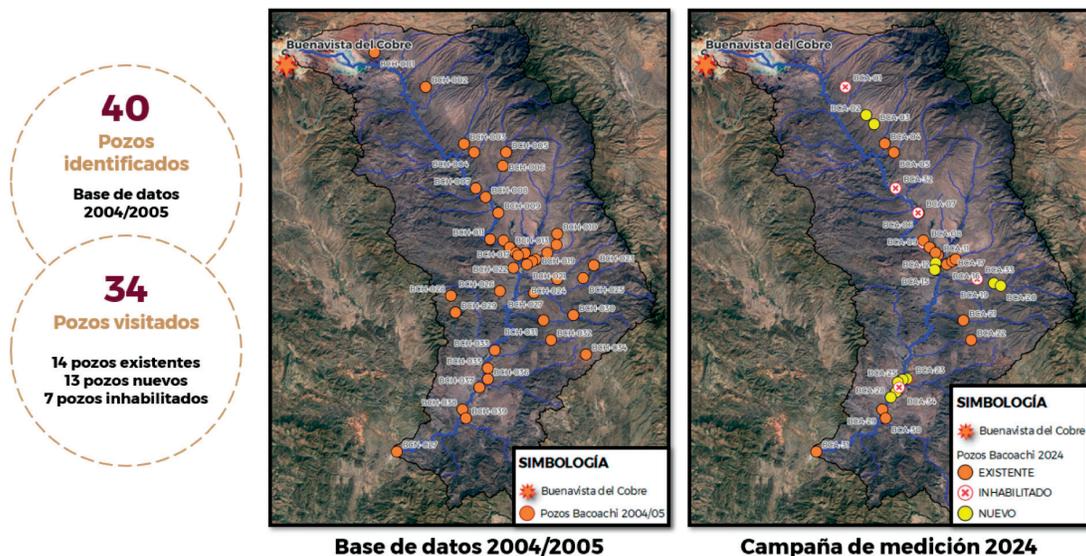


Figura 10. Identificación de pozos con la base de datos 2004-2005 (izquierda) y estatus de los pozos durante la campaña de medición 2024 (derecha) para el acuífero 2627 Río Bacoachi
Fuente: Elaboración propia



Como resultados de la campaña, se obtuvo una base de datos de 27 pozos para el análisis de la Profundidad del Nivel Estático en metros (PNE) y la Elevación del Nivel Estático en metros sobre el nivel del mar (ENE). Al actualizar la piezometría de 2005 para los 14 pozos existentes, es posible estimar el cambio de almacenamiento $\Delta V \Delta t$ para el periodo 2005-2024, esto es, un lapso de 19 años (Tabla 3).

Tabla 3. Resultados de la campaña de piezometría 2024 en el acuífero 2627 Río Bacoachi y comparación con los resultados de la base de datos del año 2005

CLAVE	UTM X	UTM Y	ELEV*	PNE 2024	ENE 2024	PNE 2005	ENE 2005	DIF. 2005-2024	ESTATUS
BCA-02	587930	3415527	1335	36.92	1298.08	-	-	-	NUEVO
BCA-03	589115	3413959	1319	38.58	1280.42	-	-	-	NUEVO
BCA-04	590719	3410655	1226.5	14.49	1212.01	10.20	1216.30	-4.29	EXISTENTE ↓
BCA-05	592084	3409132	1233	12.12	1220.88	7.53	1225.47	-4.59	EXISTENTE ↓
BCA-06	595880	3398735	1105	18.00	1087.00	-	-	-	NUEVO
BCA-09	596586	3394046	1065.5	12.61	1052.89	7.59	1057.91	-5.02	EXISTENTE ↓
BCA-10	597527	3392862	1047	3.00	1044.00	1.50	1045.50	-1.50	EXISTENTE ↓
BCA-11	598762	3391500	1040.5	1.73	1038.77	1.38	1039.12	-0.35	EXISTENTE ↓
BCA-12	598407	3391932	1046.5	3.42	1043.08	2.48	1044.02	-0.94	EXISTENTE ↓
BCA-13	598455	3390176	1039.5	5.20	1034.30	-	-	-	NUEVO
BCA-14	598479	3388949	1027	3.59	1023.41	-	-	-	NUEVO
BCA-15	598324	3389004	1028	2.81	1025.19	-	-	-	NUEVO
BCA-16	600094	3389937	1046.5	4.99	1041.51	1.87	1044.63	-3.12	EXISTENTE ↓
BCA-17	600885	3390479	1055	7.64	1047.36	3.63	1051.37	-4.01	EXISTENTE ↓
BCA-18	601398	3390834	1059	5.54	1053.46	4.03	1054.97	-1.51	EXISTENTE ↓
BCA-19	607134	3386773	1125	21.88	1103.12	-	-	-	NUEVO
BCA-20	608147	3386335	1118	11.00	1107.00	-	-	-	NUEVO
BCA-21	602651	3380330	1111	19.68	1091.32	16.03	1094.97	-3.65	EXISTENTE ↓
BCA-22	603838	3376975	1110	7.03	1102.97	4.06	1105.94	-2.97	EXISTENTE ↓
BCA-24	594350	3370231	906	8.31	897.69	-	-	-	NUEVO
BCA-25	593723	3370049	904	3.04	900.96	-	-	-	NUEVO
BCA-26	593029	3369608	903	4.50	898.50	-	-	-	NUEVO
BCA-27	592769	3367931	898	3.65	894.35	-	-	-	NUEVO
BCA-28	591988	3366999	892	1.74	890.26	-	-	-	NUEVO
BCA-29	590740	3364912	883	3.32	879.68	3.05	879.95	-0.27	EXISTENTE ↓
BCA-30	591248	3363408	884	6.38	877.62	6.27	877.73	-0.11	EXISTENTE ↓
BCA-31	580986	3357571	825	4.34	820.66	4.78	820.22	0.44	EXISTENTE ↑

*Las unidades de todas las cifras están en metros (m), para el caso de la elevación, son metros sobre el nivel del mar (msnm).

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con las publicaciones de los ACUERDO de disponibilidad media anual de agua subterránea de la CONAGUA, el acuífero 2627 Río Bacoachi pasó de un déficit de -4.182 hm³/año en 2020 a una disponibilidad positiva de 3.994 hm³/año en 2023. Dicha aseveración contradice la evidencia presentada en la Tabla 3, en donde se observa un decaimiento generalizado de los niveles piezométricos del acuífero.

Por otra parte, para el caso del acuífero 2628 Río Bacanuchi, la base de datos se conformó con mediciones piezométricas tanto del año 2005 como del año 2016, identificando un total de 27 pozos, de los cuales, durante el recorrido de 2024 se visitaron 16 pozos, se encontraron 11 pozos habilitados, 1 inhabilitado y 4 nuevos que se añadieron 13 a la base de datos 2024 (Figura 11).



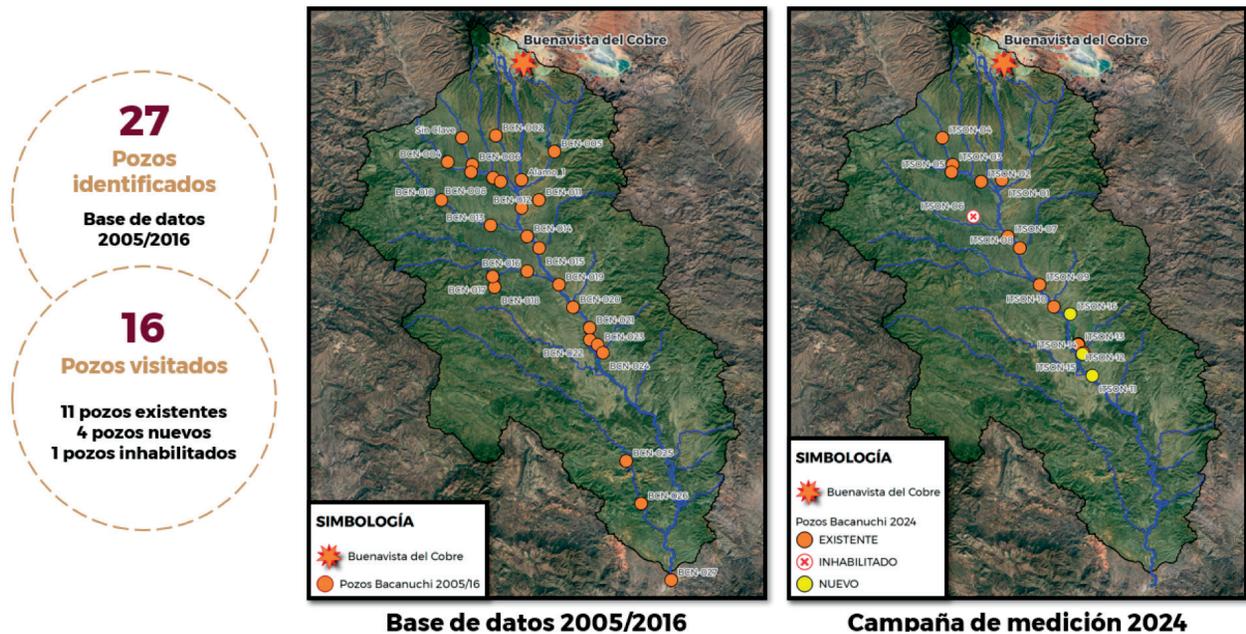


Figura 11. Identificación de pozos con la base de datos 2005/2016 (izquierda) y estatus de los pozos durante la campaña de medición 2024 (derecha) para el acuífero 2628 Río Bacanuchi
Fuente: Elaboración propia

De forma similar que en el acuífero 2627 Río Bacoachi, la campaña de campo permitió establecer una base de datos de 16 pozos para el análisis de la PNE y la ENE. Para la actualización de la piezometría de 2005 Y 2016 se revisaron los 11 pozos existentes, de los cuales 8 fueron censados por última vez en 2016. Con la información de dichos pozos, se estimó el cambio de almacenamiento $\Delta V \Delta t$ para ambos periodos: 2005-2024 y 2016-2024 (Tabla 4).

Para los análisis de la evolución del acuífero que se presentan más adelante en este documento, se utilizó la serie de datos con mayor información, es decir, para el lapso de 8 años (de 2016 a 2024).

En la Tabla 4 se observa un abatimiento generalizado en los niveles del acuífero al año 2024. De acuerdo con la información presentada en las publicaciones de disponibilidad media anual de agua subterránea de la CONAGUA, el acuífero 2628 Río Bacanuchi pasó de un déficit de $-0.038 \text{ hm}^3/\text{año}$ en 2020 a una disponibilidad positiva de $3.994 \text{ Mm}^3/\text{año}$ en 2023.

Con los resultados obtenidos, se generaron las configuraciones piezométricas para cada acuífero, presentadas de la Figura 12 a la Figura 16. Los mapas geohidrológicos muestran los resultados del trabajo de gabinete y de la campaña de campo, representando las Profundidades del Nivel Estático en metros y las Elevaciones del Nivel Estático en metros sobre el nivel del mar, así como la evolución de estas variables para los periodos con información disponible. Además, se incluyen las direcciones de flujo y el gradiente hidráulico, mediante el trazo de isopiezas (curvas piezométricas).

Los resultados muestran un abatimiento generalizado de los niveles en ambos acuíferos, con los mayores descensos localizados en la parte norte, específicamente en la zona de aprovechamiento del proyecto minero Buenavista del Cobre de Grupo México (Figura 16).



Tabla 4. Resultados de la campaña de piezometría 2024 en el acuífero 2628 Río Bacanuchi y comparación con los resultados de la base de datos del año 2005 y 2016.

CLAVE	UTM X	UTM Y	ELEV*	PNE 2024	ENE 2024	BASE DE DATOS 2005/2016			DIF. AL 2024	ESTATUS	
						PNE	ENE	CENSO			
ITSON-01	563971	3408953	1203.0	29.50	1173.50	23.14	1179.86	2005	-6.36	EXISTENTE	↓
ITSON-02	561650	3408706	1211.5	31.60	1179.90	28.67	1182.83	2016	-2.93	EXISTENTE	↓
ITSON-03	558489	3410876	1247.0	20.25	1226.75	17.43	1229.57	2016	-2.82	EXISTENTE	↓
ITSON-04	557324	3414335	1299.5	25.93	1273.57	17.81	1281.69	2016	-8.12	EXISTENTE	↓
ITSON-05	558361	3409923	1242.0	23.14	1218.86	17.36	1224.64	2016	-5.78	EXISTENTE	↓
ITSON-07	564666	3401647	1149.5	22.90	1126.60	19.94	1129.56	2016	-2.96	EXISTENTE	↓
ITSON-08	565994	3400202	1130.0	25.60	1104.40	23.89	1106.11	2016	-1.71	EXISTENTE	↓
ITSON-09	568212	3395494	1101.0	19.16	1081.84	22.32	1078.68	2005	3.16	EXISTENTE	↑
ITSON-10	569809	3392666	1083.0	8.54	1074.46	11.38	1071.62	2005	2.84	EXISTENTE	↑
ITSON-11	574152	3383831	1032.0	8.74	1023.26	-	-	-	-	NUEVO	
ITSON-12	572581	3387891	1057.0	11.14	1045.86	-	-	-	-	NUEVO	
ITSON-13	572551	3387814	1054.0	10.11	1043.89	8.22	1045.78	2016	-1.89	EXISTENTE	↓
ITSON-14	573162	3386776	1049.0	8.92	1040.08	12.58	1036.42	2016	3.66	EXISTENTE	↑
ITSON-15	573038	3386608	1045.0	11.61	1033.39	-	-	-	-	NUEVO	
ITSON-16	571650	3391744	1072.0	17.66	1054.34	-	-	-	-	NUEVO	

*Las unidades de todas las cifras están en metros (m), para el caso de la elevación, son metros sobre el nivel del mar (msnm).

Fuente: Elaboración propia



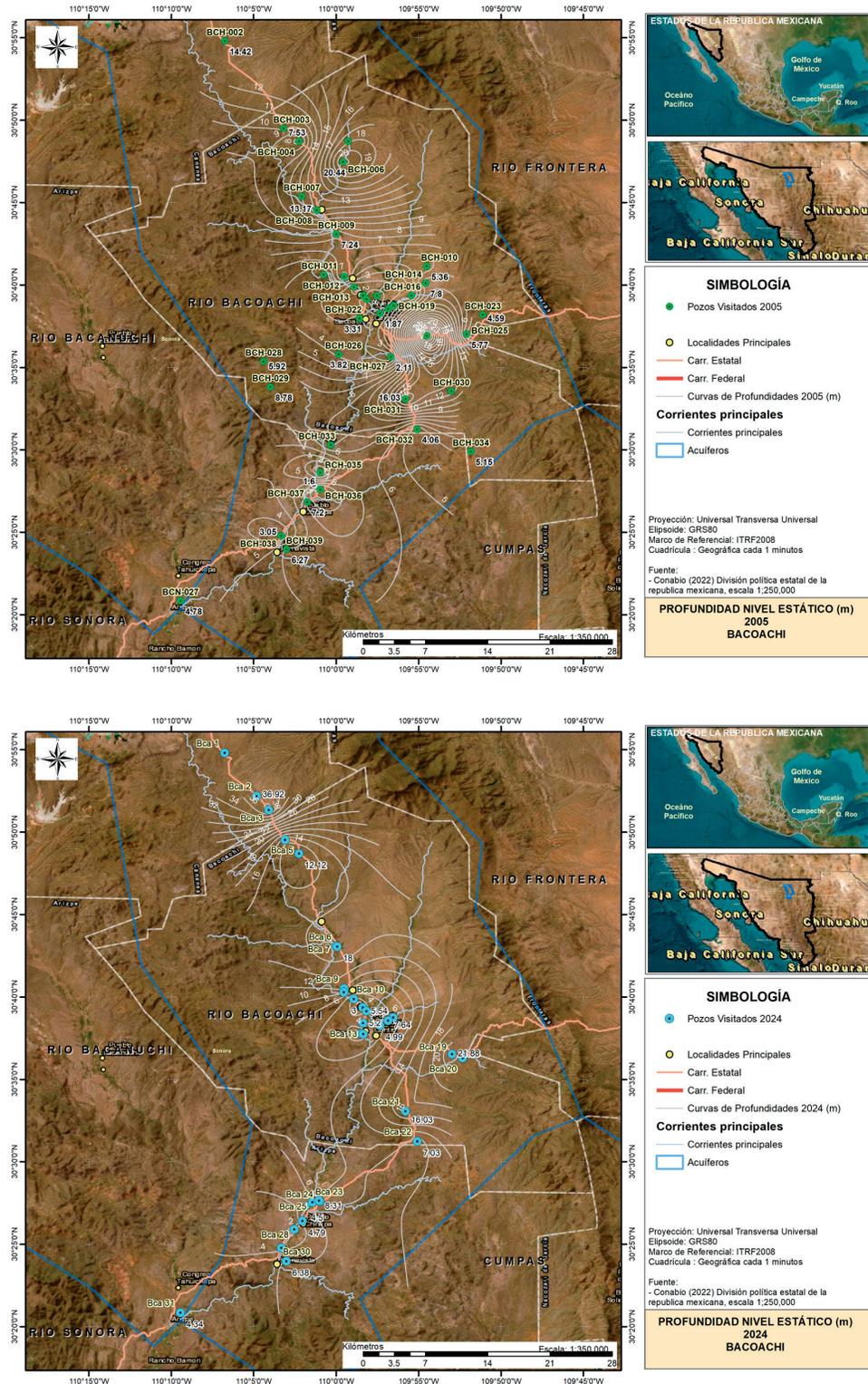


Figura 12. Profundidad del Nivel Estático PNE para el año 2005 (arriba) y 2024 (abajo) del acuífero 2627 Río Bacoachi
Fuente: Elaboración propia

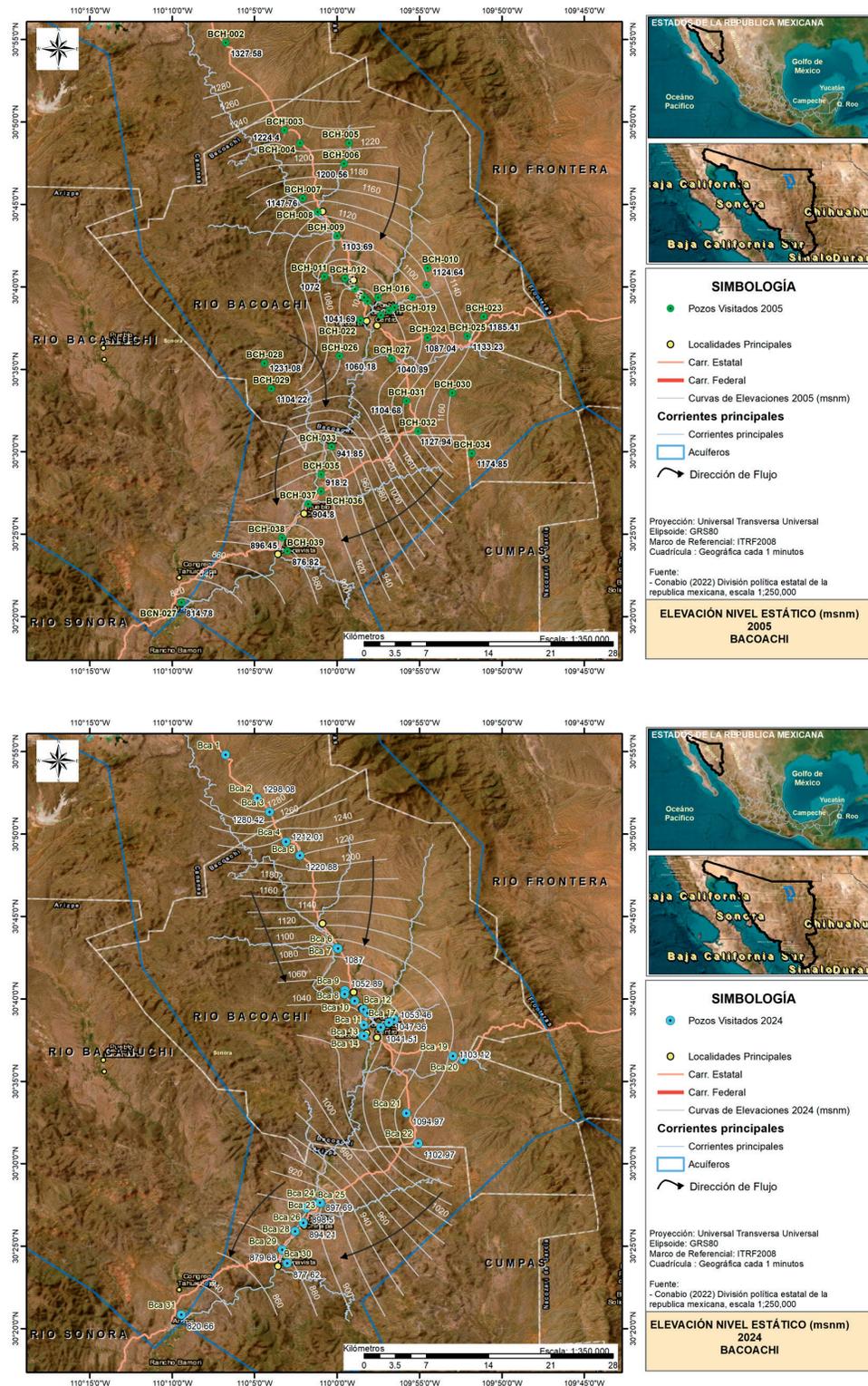


Figura 13. Elevación del Nivel Estático ENE para el año 2005 (arriba) y 2024 (abajo) del acuífero 2627 Río Bacoachi
Fuente: Elaboración propia



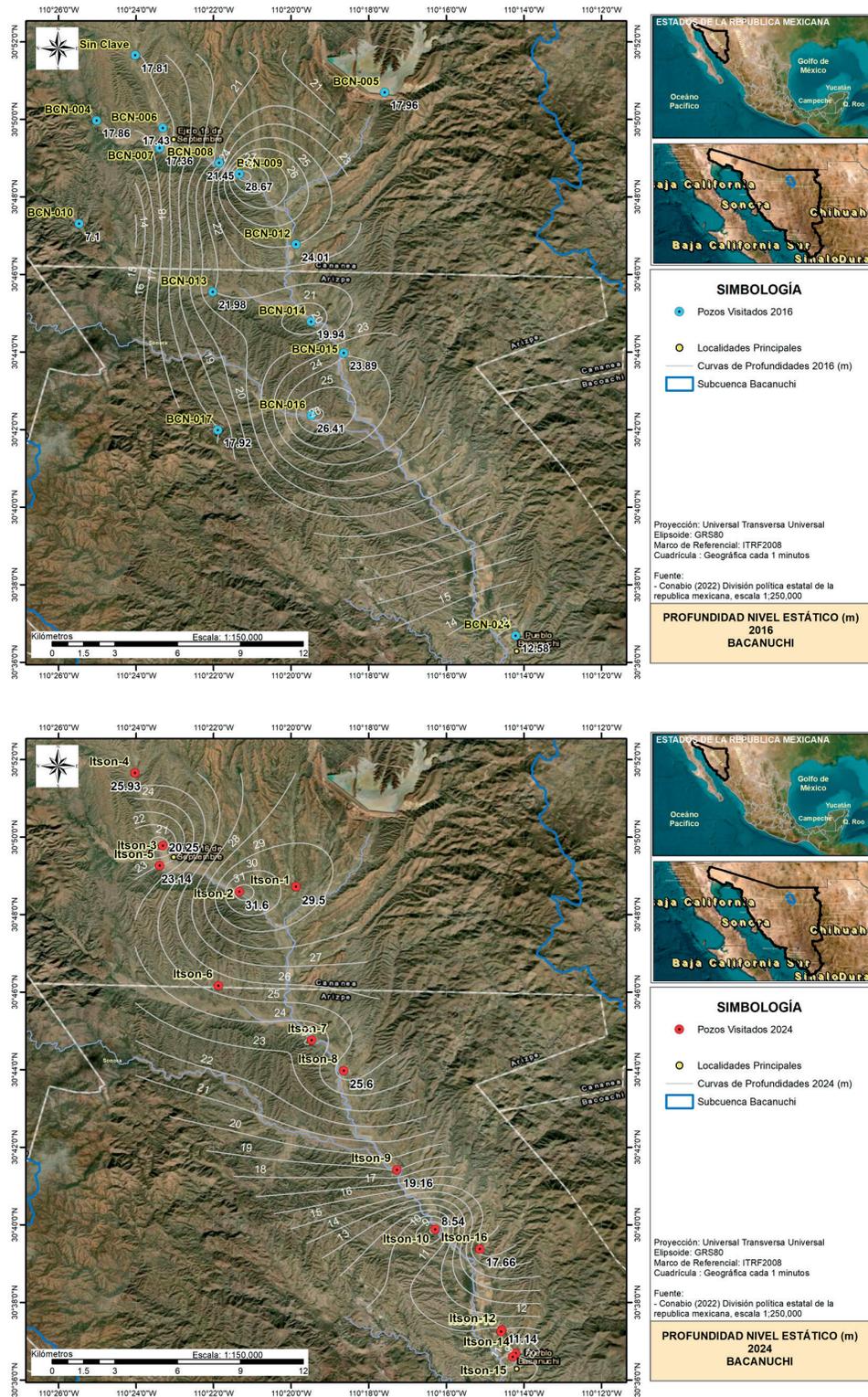


Figura 14. Profundidad del Nivel Estático PNE para el año 2016 (arriba) y 2024 (abajo) del acuífero 2628 Río Bacanuchi
Fuente: Elaboración propia

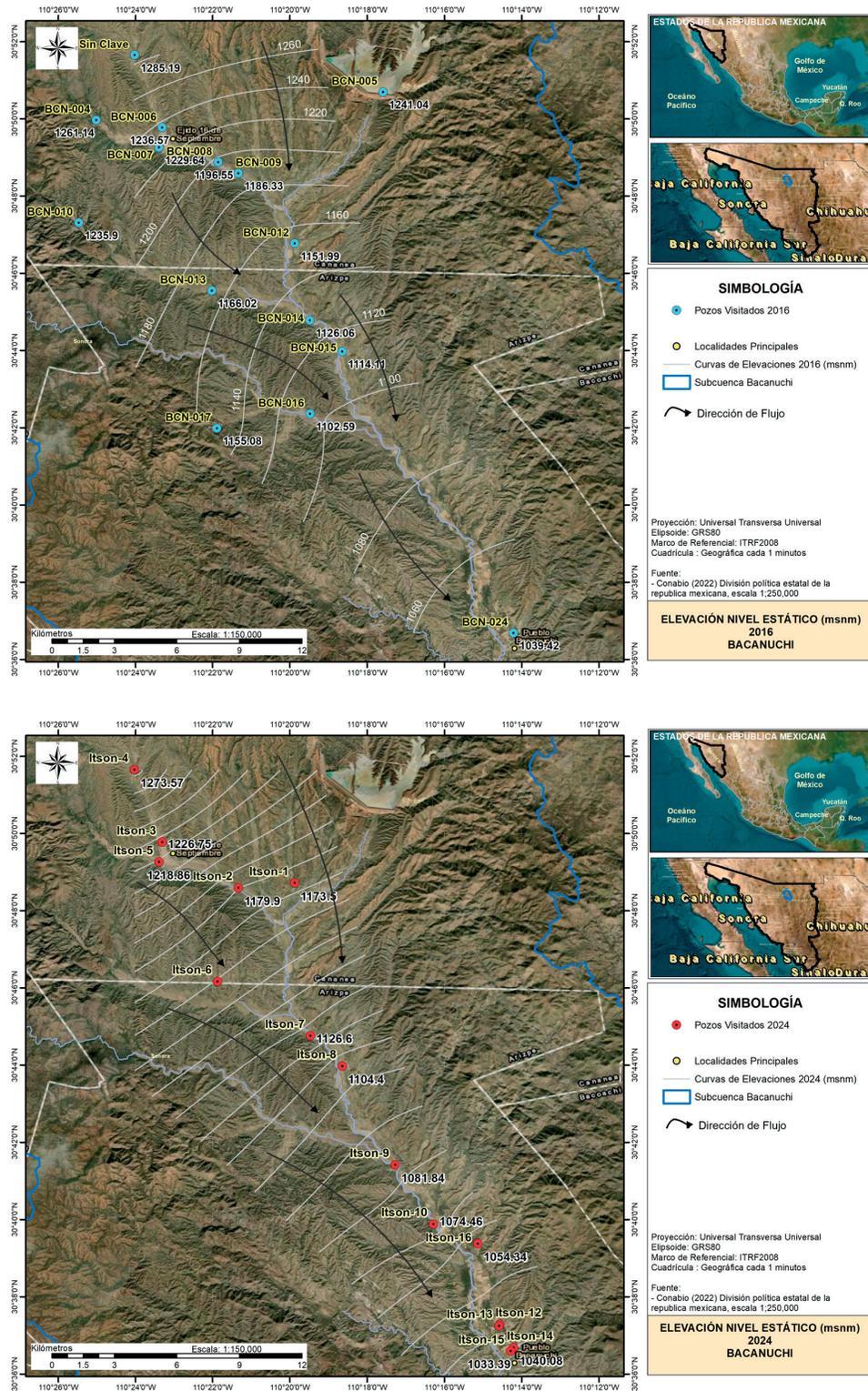


Figura 15. Elevación del Nivel Estático PNE para el año 2016 (arriba) y 2024 (abajo) del acuífero 2628 Río Bacanuchi
Fuente: Elaboración propia



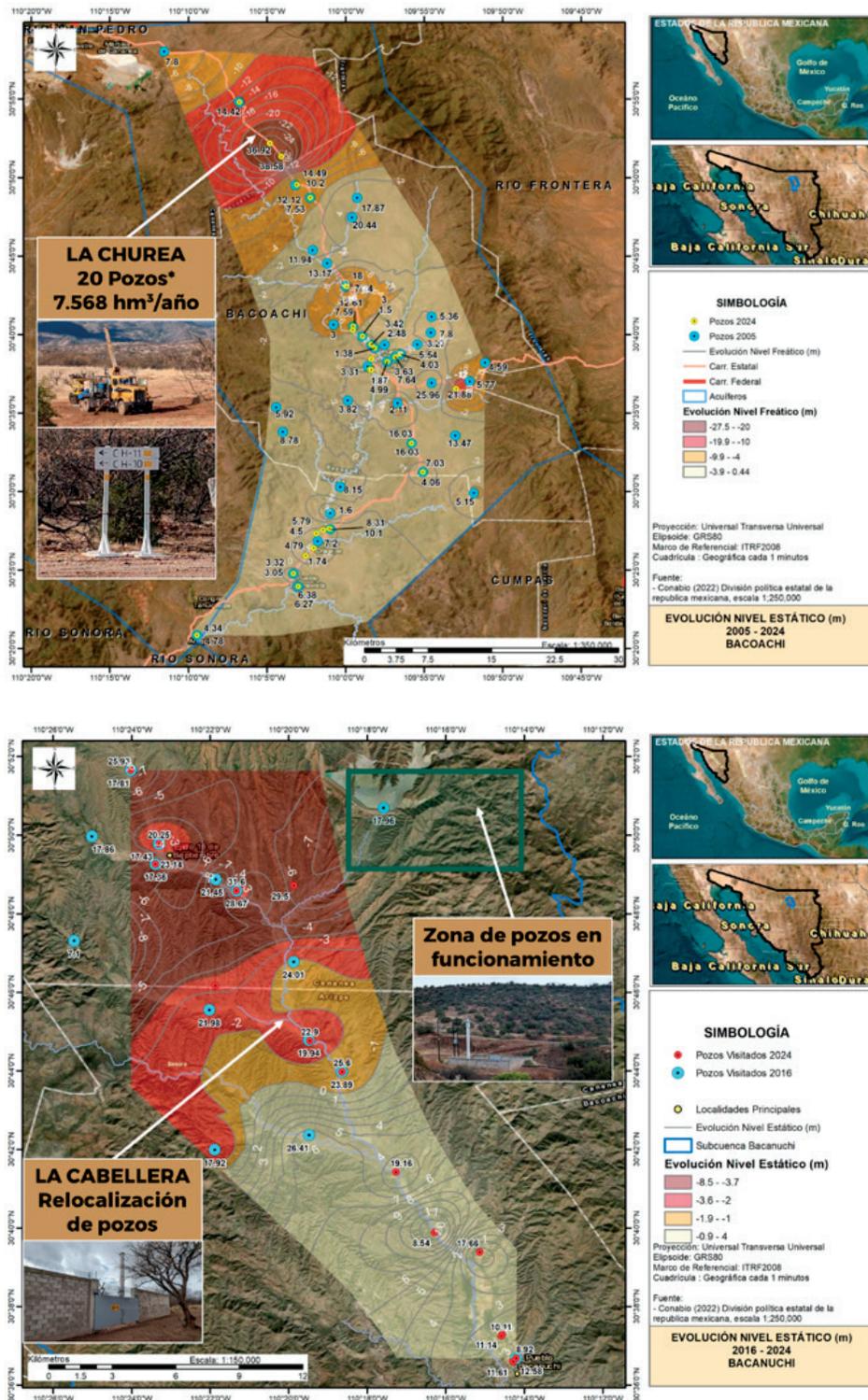
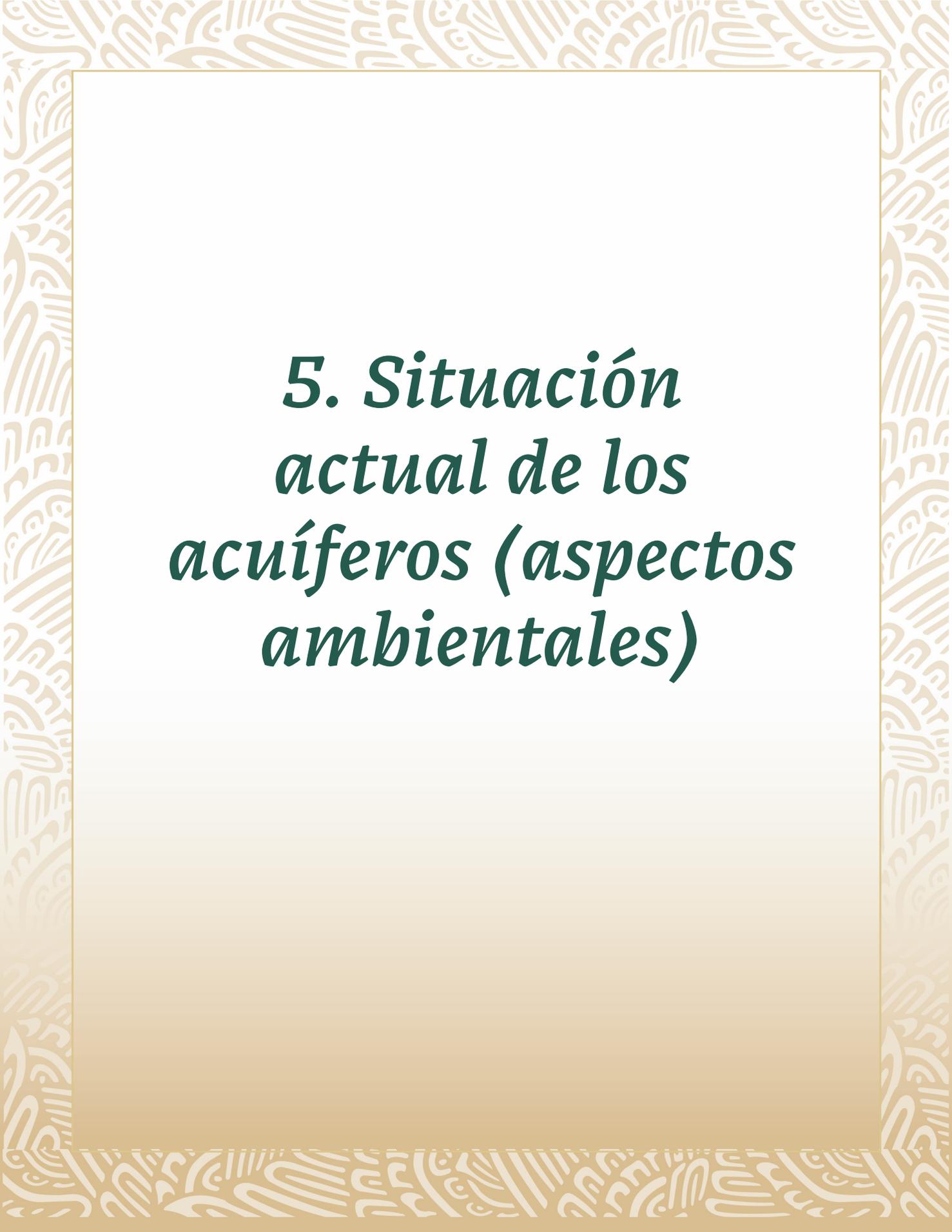


Figura 16. Evolución del Nivel Estático para el periodo 2005-2024 en el acuífero 2627 Río Bacoachi (arriba) y 2016-2024 en el acuífero 2628 Río Bacanuchi (abajo)
Fuente: Elaboración propia



***5. Situación
actual de los
acuíferos (aspectos
ambientales)***

5. SITUACIÓN ACTUAL DE LOS ACUÍFEROS (ASPECTOS AMBIENTALES)

Con base en los resultados obtenidos en la campaña de campo, se observa que en la actualidad existe un abatimiento generalizado de los niveles piezométricos en ambos acuíferos estudiados. Este fenómeno es particularmente visible en la región norte, donde se localiza los pozos que abastecen a Buenavista del Cobre. Esta situación refleja la necesidad de evaluar la evolución histórica de los niveles de agua para entender mejor las implicaciones actuales y futuras sobre los recursos hídricos y los ecosistemas asociados.

En la Figura 17 se presenta una comparativa de las Profundidades del Nivel Estático que se tenían en 2005 y su situación actual en 2024 para el acuífero 2627 Río Bacoachi.

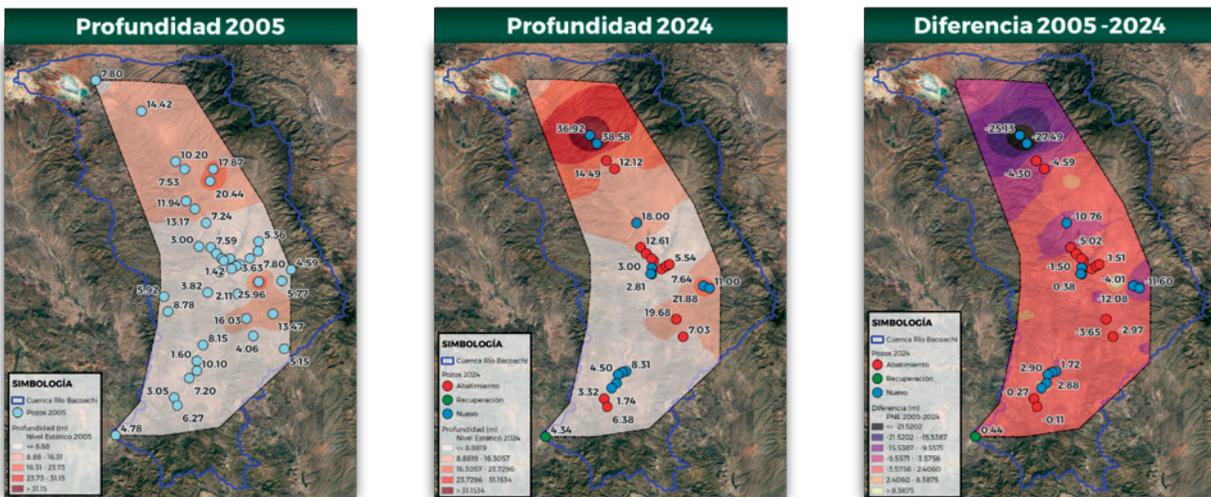


Figura 17. Diferencia entre la Profundidad del Nivel Estático para el periodo 2005-2024 en el acuífero 2627 Río Bacoachi
Fuente: Elaboración propia

En 2005 la Profundidad del Nivel Estático oscilaba en un rango de 1.38 y 25.96 metros; para 2024 estas profundidades son mayores, oscilando entre 1.73 y 38.58 metros. La máxima diferencia encontrada es de -27.49 metros, lo que representa un cambio significativo en 19 años (de 2005 a 2024) a una tasa de disminución en los niveles del acuífero de 1.447 m/año en la zona de abatimiento.

Es en esta zona donde se localiza el proyecto “La Churea” (Figura 18), la cual consiste en un acueducto con un sistema de 20 pozos para Buenavista del Cobre. El sistema considera la extracción de 240 litros por segundo del acuífero 2627 Río Bacoachi, esto representa un volumen de hasta 7.568 hm³/año.

Los 20 pozos del proyecto “La Churea” conforman una batería de pozos que, de acuerdo con la información del Registro Público de Derechos de Agua (REPA), al año 2023, están asociados con el Título de Concesión SON150676 el cual ampara 16.760 hm³/año en 44 pozos para Diferentes Usos. En el año 2019, el mismo Título SON150676 amparaba los mismos 16.760 hm³/año en 25 pozos (Figura 19).

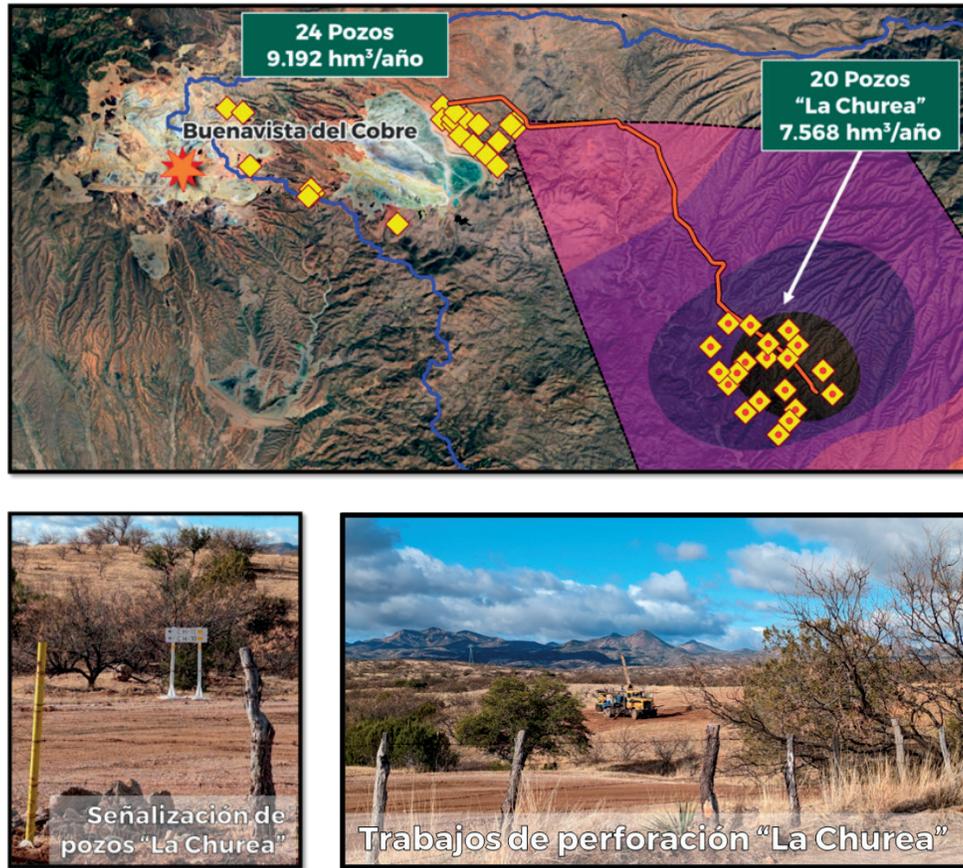


Figura 18. Pozos de abastecimiento para Grupo México en el acuífero 2627 Río Bacoachi
Fuente: Elaboración propia con datos del REPDA y Grupo México Minería (2022)

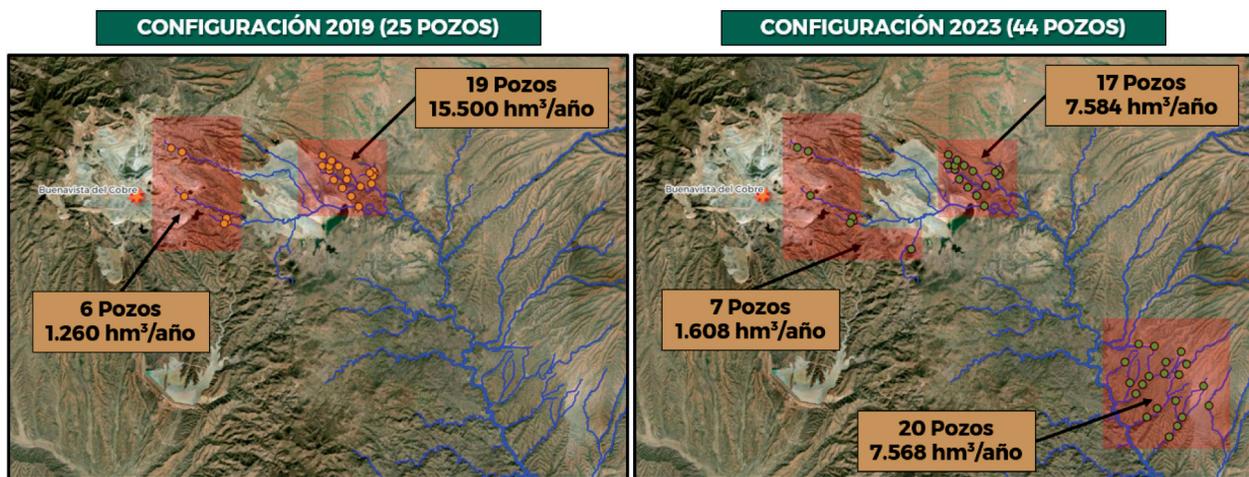


Figura 19. Configuración de pozos del Título SON150676. Comparativa 2019 vs 2023
Fuente: Elaboración propia con datos del REPDA y Grupo México Minería (2022)



La evidencia recopilada en campo, junto con los datos satelitales de GRACE, indican que los abatimientos de los acuíferos disminuyen en dirección norte a sur, encontrándose las mayores diferencias en los sitios próximos a Cananea. Esta tendencia también se refleja en las obras de Grupo México, que han seguido una estrategia de perforación de pozos en la parte sur del acuífero para acceder al agua y luego transportarla a través de acueductos hacia el norte para su aprovechamiento.

En el caso del acuífero 2628 Río Bacanuchi, en la Figura 20 se presenta la comparativa con las Profundidades del Nivel Estático entre 2016 y 2024. En 2005, la Profundidad del Nivel Estático oscilaba entre 8.22 y 28.67 metros, mientras que para el año 2024 las profundidades lo hacen entre 8.54 y 31.60 metros. En este caso, la máxima diferencia encontrada es de -8.12 metros en la parte norte del acuífero para el periodo 2016-2024. Este cambio en 8 años representa una tasa de disminución en los niveles del acuífero de 1.015 m/año.

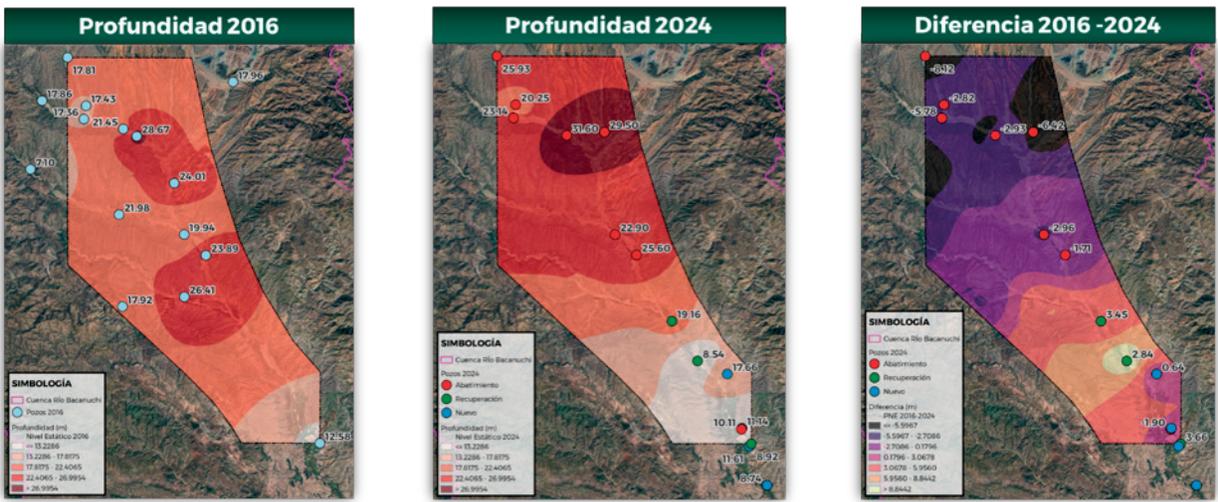


Figura 20. Diferencia entre la Profundidad del Nivel Estático para el periodo 2016-2024 en el acuífero 2628 Río Bacanuchi
Fuente: Elaboración propia

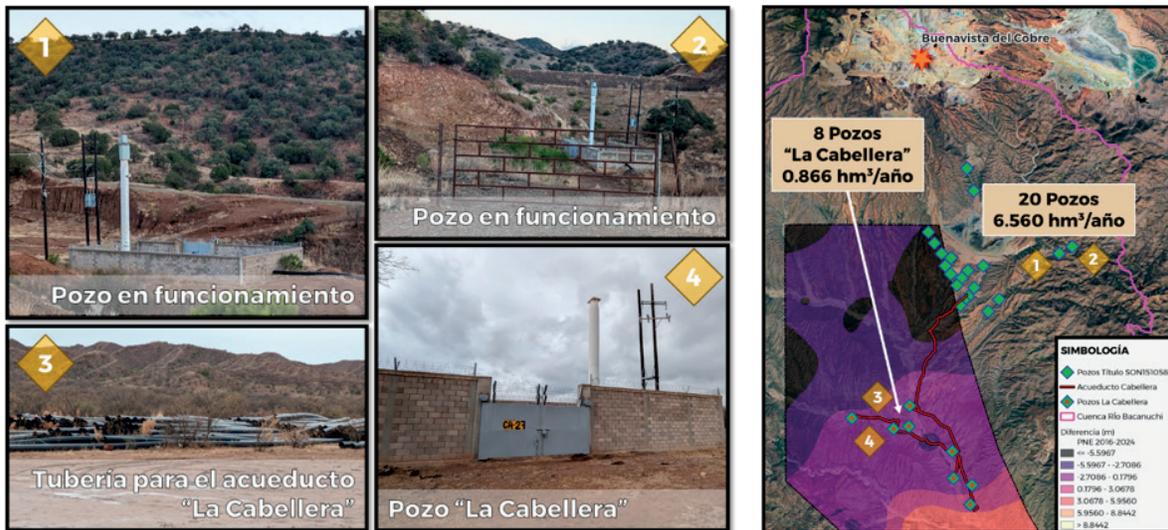


Figura 21. Pozos de abastecimiento para Grupo México en el acuífero 2628 Río Bacanuchi
Fuente: Elaboración propia con datos del REPDA y Buenavista del Cobre (2020).

Durante el recorrido del acuífero 2628 Río Bacanuchi se identificaron pozos de Grupo México en funcionamiento y otra serie de pozos construidos pertenecientes al proyecto del acueducto “La Cabellera”, faltando la conexión de las tuberías (Figura 21).

El proyecto denominado “La Cabellera” también incluye la relocalización de volúmenes concesionados del norte al sur del acuífero 2628 Río Bacanuchi. Para esto, la empresa realizó la solicitud de relocalización, destacando la perforación y bombeo de 8 pozos haciendo la acotación de que los volúmenes a extraer están amparados con sus correspondientes Títulos de Concesión de agua subterránea.

La revisión del REPDA muestra que previamente, en el año 2020 en el acuífero 2628 Río Bacanuchi se tenían tres Títulos a nombre de Buenavista del Cobre: SON151287, SON151058 y 822569, todos para Uso Industrial, que sumaban en total 34 aprovechamientos (pozos) y autorizaban la extracción de un volumen anual de hasta 7,426,519.80 m³/año como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Títulos de Concesión del REPDA asociados a Buenavista del Cobre hasta el año 2020 para el acuífero 2628 Río Bacanuchi

Titular	Título	Uso	Fecha de registro	Número de anexos de aguas subterráneas	Volumen de aguas subterráneas (m ³ /año):	% Respecto al volumen concesionado del Acuífero*
BUENAVISTA DEL COBRE, S.A. DE C.V.	822569	INDUSTRIAL	03/06/2020	1	300,000.00	2.32%
BUENAVISTA DEL COBRE	02SON151287/09FMDA18	INDUSTRIAL	05/09/2013	12	5,570,519.80	43.05%
BUENAVISTA DEL COBRE	02SON151058/09FMDA16	INDUSTRIAL	05/10/2012	12	1,556,000.00	12.03%
			Total	25	7,426,519.80	57.40%

*El volumen total concesionado considerado para el acuífero 2628 Río Bacanuchi asciende a 12,938,900 m³/año, de acuerdo con el VCAS de la publicación de Disponibilidad de los 653 acuíferos del año 2020 (CONAGUA, 2020).
Fuente: Elaboración propia

Actualmente en el año 2024, el REPDA muestra únicamente uno de esos tres Títulos de Concesión para Uso Industrial bajo el registro SON151058, el cual posee un volumen total de 7,426,519.80 m³/año, extraídos en 28 aprovechamientos. Se puede observar que, aunque existe un menor número de Títulos de Concesión, el número de aprovechamientos (pozos) aumentó y el volumen anual de agua que se puede extraer del acuífero 2628 Río Bacanuchi se mantuvo (Tabla 6).

Tabla 6. Títulos de Concesión del REPDA asociados a Buenavista del Cobre hasta el año 2024 para el acuífero 2628 Río Bacanuchi

Titular	Título	Uso	Fecha de registro	Número de anexos de aguas subterráneas	Volumen de aguas subterráneas (m ³ /año):	% Respecto al volumen concesionado del Acuífero*
BUENAVISTA DEL COBRE	SON151058	INDUSTRIAL	05/10/2012	28	7,426,519.80	57.40%
			Total	28	7,426,519.80	57.40%

*El volumen total concesionado considerado para el acuífero 2628 Río Bacanuchi asciende a 12,938,900 m³/año, de acuerdo con el VCAS de la publicación de Disponibilidad de los 653 acuíferos del año 2023 (CONAGUA, 2023) y con la base de datos del REPDA con fecha de corte de 24 de abril de 2024.
Fuente: Elaboración propia



El caso de “La Cabellera” sigue la misma estrategia que “La Churea”: perforar pozos en la parte sur del acuífero para acceder al agua a menores profundidades y luego transportarla a través de acueductos hacia el norte para su aprovechamiento. Esta relocalización de volúmenes de agua subterránea acelera la sobreexplotación del acuífero.

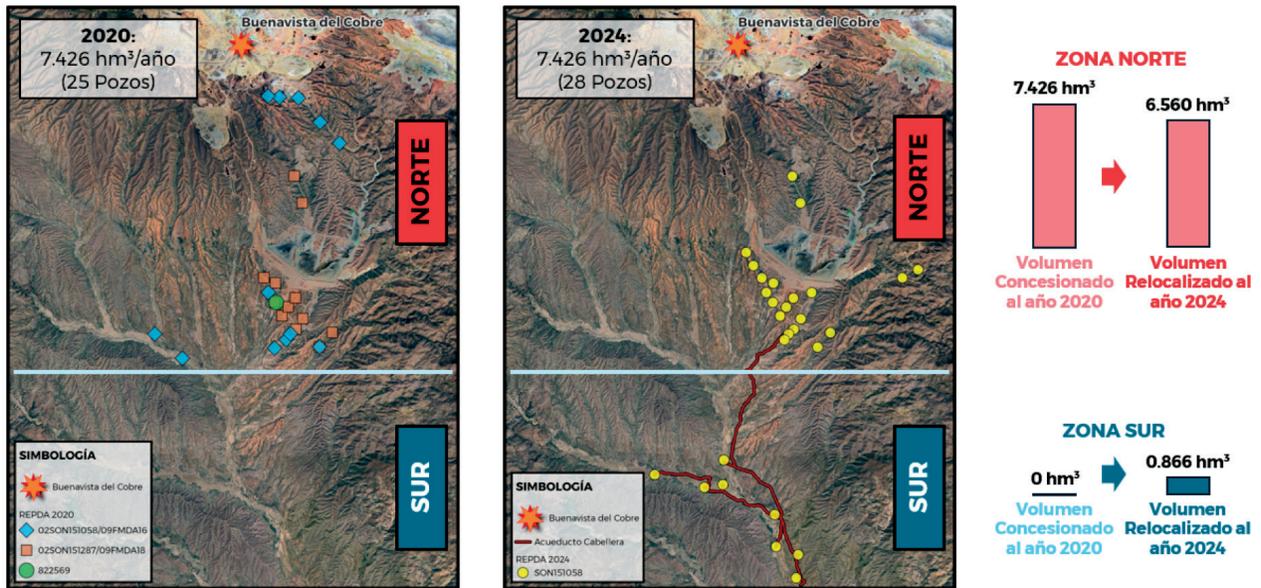
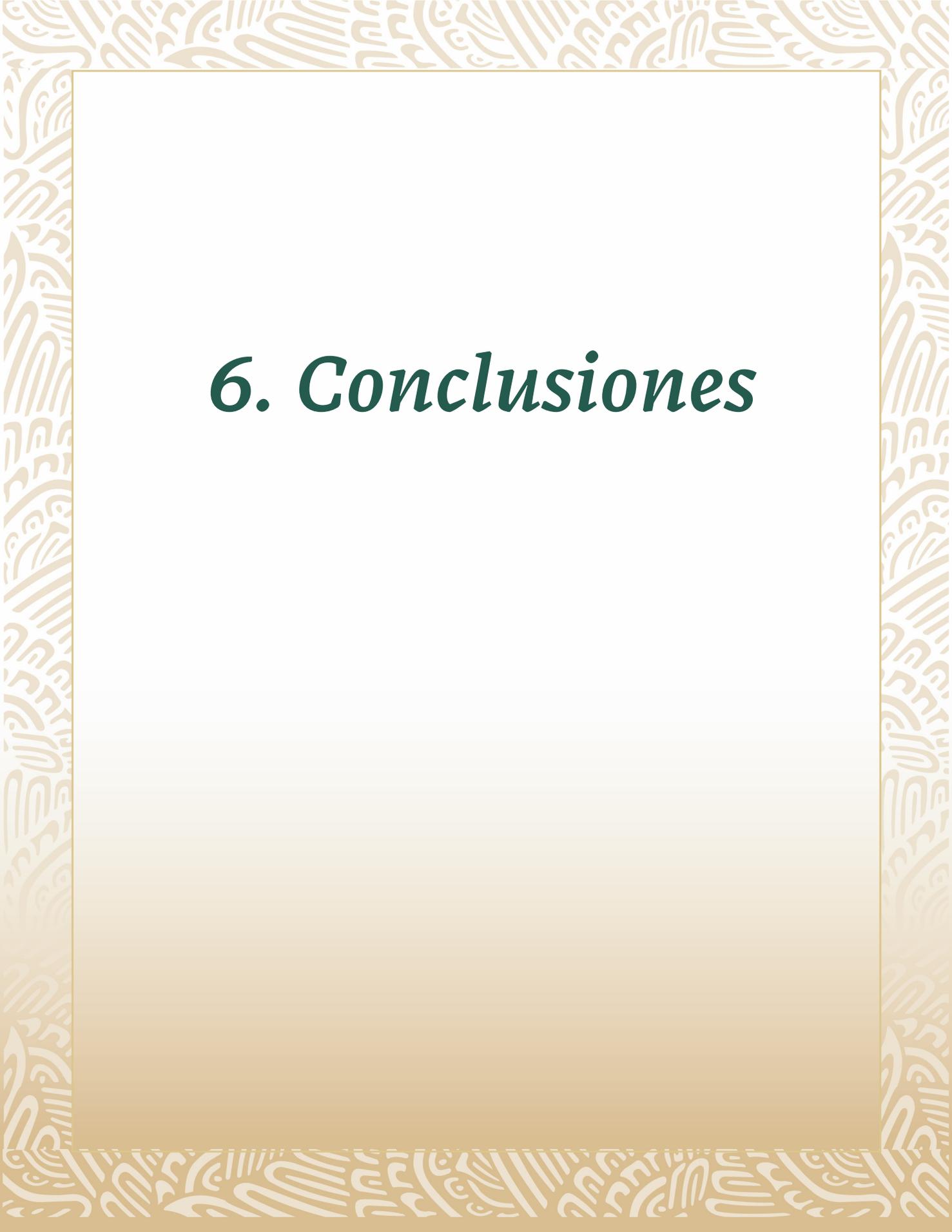


Figura 22. Pozos de abastecimiento para Buenavista del Cobre en el acuífero 2628 Río Bacanuchi y Buenavista del Cobre (2020).

Fuente: Elaboración propia con datos del REPDA y Buenavista del Cobre (2020).



6. Conclusiones



6. CONCLUSIONES

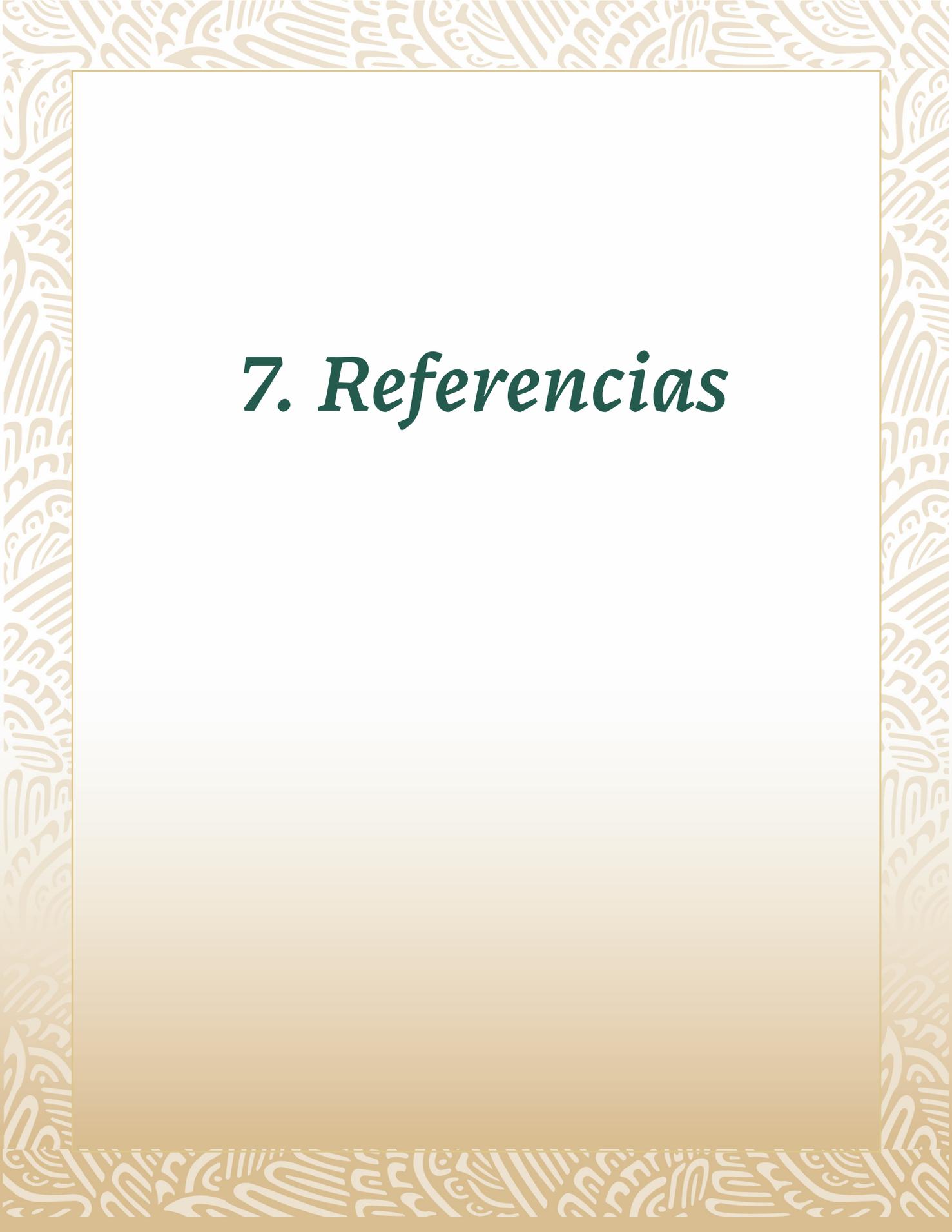
La evidencia recopilada en campo, junto con los datos satelitales de GRACE, indica que los abatimientos de los acuíferos 2627 Río Bacoachi y 2628 Río Bacanuchi disminuyen en dirección norte a sur, encontrándose las mayores diferencias en los sitios próximos a la mina de Cananea. Este fenómeno es particularmente pronunciado en las áreas cercanas al proyecto minero Buenavista del Cobre, indicando un impacto directo de las actividades mineras en el agotamiento de los recursos hídricos subterráneos.

En ambos acuíferos, los pozos se concentran en la zona aluvial y la recarga depende del monzón de Norteamérica, por tanto, cualquier sobreestimación del volumen y periodo de recarga en el balance anual, puede derivar en la sobreexplotación del agua subterránea. Es recomendable establecer un sistema de monitoreo continuo de los niveles piezométricos que incluya la recopilación periódica de datos y la evaluación de las tendencias de los niveles de agua, lo que permitirá detectar signos de sobreexplotación en los niveles de agua del acuífero.

No existe evidencia técnica sólida que justifique el cambio del acuífero 2627 Río Bacoachi de Déficit a Disponibilidad. Aunado a esto y considerando la información existente a la que se puede acceder, no es posible validar que la recarga natural aumente en un acuífero donde se incrementa la extracción, se observa una evolución negativa en el almacenamiento y la tendencia de precipitación disminuye. Es necesario revisar y corregir los criterios y datos utilizados para evaluar la disponibilidad del acuífero, asegurando una gestión sostenible.

Es necesario revisar las prácticas implementadas por Grupo México para mitigar los impactos medioambientales, ya que la estrategia actual de perforar pozos en la parte sur del acuífero y transportar el agua a través de acueductos hacia el norte para su aprovechamiento no es sustentable si se mantienen los volúmenes de extracción. Este tema adquiere una importancia crítica en un acuífero cuya evolución histórica muestra abatimientos significativos. Continuar con esta estrategia aumenta el riesgo potencial para las comunidades de acceder al recurso hídrico y acelera la sobreexplotación de los acuíferos.





7. Referencias

7. REFERENCIAS

- Bredehoeft, J. D. (2002). The water myth revisited: Why hydrogeologists model. *Ground Water*, 40(4), 340-345.
- Bredehoeft, J. D., Papadopulos, S. S., & Cooper, H. H. Jr. (1982). The water budget myth. En *Scientific Basis of Water Resource Management, Studies in Geophysics* (pp. 51-57). Washington, D.C.: National Academy Press.
- Buenavista del Cobre. (2020). Sistema de abastecimiento de agua fresca La Cabellera - Bombeo No. 1 de Concentradora II. Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad Particular con Clave 26SO2020MD035. Ingresado el 16 de julio de 2020. Cananea, Sonora. México. Recuperado de <https://app.semarnat.gob.mx/consulta-tramite/#/portal-consulta>
- CONAGUA. (2020). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Río Bacoachi (2627), estado de Sonora. Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas. Ciudad de México.
- CONAGUA. (2023). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Río Bacoachi (2627), estado de Sonora. Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas. Ciudad de México.
- CONAGUA. Gerencia de Planificación Hídrica. (s.f.). Sistema Nacional de Información del Agua (SINA). Recuperado de <https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/>
- Devlin, J., & Sophocleous, M. (2005). The persistence of the water budget myth and its relationship to sustainability. *Hydrogeology Journal*, 13, 549-554.
- Grupo México Minería. (2022). Proyecto Acueducto La Churea, Municipio De Cananea, Son. Documento Técnico Unificado – Modalidad B con Clave 26SO2022HD002. Ingresado el 12 de enero de 2022. Cananea, Sonora. México. Recuperado de <https://app.semarnat.gob.mx/consulta-tramite/#/portal-consulta>
- Grupo México Minería. (2022). Proyecto Acueducto La Churea, Municipio De Cananea, Son. Documento Técnico Unificado – Modalidad B con Clave 26SO2022HD002. Ingresado el 12 de enero de 2022. Cananea, Sonora. México. Recuperado de <https://app.semarnat.gob.mx/consulta-tramite/#/portal-consulta>
- IMTA. (s.f.). Monitor de Sequía de Mesoamérica. Recuperado de <http://galileo.imta.mx/Sequias/moseq/index.html>
- Osorio-González, M. (2020). Tzolkin: monitor mesoamericano de sequía. *Perspectivas IMTA*, (5). doi: 10.24850/b-imta-perspectivas-2020-05
- Pedrozo-Acuña, A. (2022). El camino hacia la seguridad hídrica de acuíferos sobreexplotados. *Perspectivas IMTA*, (8). doi:10.24850/b-imta-perspectivas-2022-8
- SEMARNAT. (2015). Informe de la situación del medio ambiente en México: Compendio de estadísticas ambientales, 2015. Recuperado de <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/cap5.html>
- SEMARNAT. (2015). NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua—Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. Diario Oficial de la Federación, 27 de marzo de 2015.
- SEMARNAT. (2020). ACUERDO por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, mismos que forman parte de las regiones hidrológico-administrativas que se indican. Diario Oficial de la Federación, 17 de septiembre de 2020.
- SEMARNAT. (2023). ACUERDO por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, mismos que forman parte de las regiones hidrológico-administrativas que se indican. Diario Oficial de la Federación, 09 de noviembre de 2023.
- UNAM, & ITSON. (2016). Proyecto: Diagnóstico ambiental y propuesta de remediación-reparación-compensación en la cuenca del Río Sonora afectada por el derrame del represo “Tinajas 1” de la mina Buenavista del Cobre, Cananea, Sonora. Informe final del grupo del agua.