

## La precipitación histórica y la extracción del agua subterránea en la península de Yucatán: una reflexión

JONATHAN DANIEL RÍOS PONCE, GILBERTO ACOSTA-GONZÁLEZ Y EDUARDO CEJUDO

CONACYT - Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C. Unidad Ciencias del Agua. Calle 8, No. 39, Mz 29, SM 64. Cancún, Quintana Roo. 77524.

[eduardo.cejudo@cicy.mx](mailto:eduardo.cejudo@cicy.mx)

La Península de Yucatán depende del agua subterránea para cubrir todas sus necesidades y la extracción de la misma se rige mediante una concesión. En esta nota, recopilamos información sobre la cantidad y volúmenes de agua obtenidos de concesiones en los tres estados de la Península de Yucatán. Además, estos volúmenes de agua se comparan con la división administrativa, hidrogeológica y meteorológica. Hasta 2018, el estado de Yucatán tenía registradas el mayor número de concesiones y volumen de extracción de agua. El número de concesiones es mayor en la cota de precipitación de 800 a 1000 mm por año y destacan 18356 concesiones en zonas con 1000 a 1200 mm de lluvia. No sabemos con certeza si la actual condición de concesiones afectará en un futuro cercano la disponibilidad de agua renovable, por lo que es necesario usar herramientas hidrogeológicas y meteorológicas para la administración y manejo del agua con el fin de tener mejores estimaciones de agua disponible.

**Palabras clave:** acuífero, concesión, región hidrológica, sub-cuenca.

### Introducción

El agua subterránea provee agua para el consumo de aproximadamente 2,500,000 individuos en todo el mundo (WWAP 2012), en México representa aproximadamente el 38% del agua de uso consuntivo (IMTA 2019). El mayor usuario de agua subterránea es la agricultura con alrededor de 70 %, mientras que cerca del 30 % del volumen concesionado es para usos consuntivos urbano e industrial (CONAGUA 2018). Frecuentemente el agua subterránea tiene mejor calidad que el agua superficial y no están sujetas a variaciones estacionales al estar relativamente protegida

dentro de los acuíferos (Zektser y Everett 2004). En México, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) se encarga de la administración del agua mediante el uso de herramientas de manejo administrativo, para lo cual reconoce 13 regiones hidro-lógico-administrativas (RHA), que agrupa cuencas como la unidad básica para la gestión de recursos hídricos (CONAGUA 2016). Esta división privilegia la división política municipal para facilitar la integración de datos socioeconómicos. Como segundo nivel, las RHA son divididas en 37 regiones hidrológicas (RH) que agrupan a las 731 cuencas hidrológicas iden-

tificadas. En una buena parte del territorio, las regiones hidrológicas representan los límites de las grandes cuencas; pero en el caso particular de la RHA XIII Península de Yucatán, la falta de información hidrogeológica detallada y la dificultad de establecer las divisorias de agua subterránea (el equivalente de las cuencas geográficas) complica la situación puesto que los criterios para la división de regiones hidrológicas podrían emplear criterios como zonas de cambios de flujos, fallas, fracturas y hasta hidroquímica.

Alrededor de 4,500,000 personas dependen del agua subterránea en la Península de Yucatán, la cual utilizan como fuente de consumo, para riego, la industria y los servicios (INEGI 2015, CONAGUA 2018). Los tres estados de la Península de Yucatán (Campeche, Quintana Roo y Yucatán) cubren la demanda de agua casi en su totalidad con agua subterránea, salvo Campeche, que cuenta con ríos de los cuales se extrae  $317 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$  (CONAGUA 2018). El volumen de agua subterránea que un particular puede extraer debe estar amparado con una concesión otorgada por el Gobierno Federal a través de la Comisión Nacional del Agua. Las concesiones son otorgadas a personas físicas o morales, quienes establecen el volumen de extracción y consumo requeridos de acuerdo a sus necesidades. El volumen de agua aprovechado nunca debe ser mayor al autorizado, y sin perjuicio de los derechos de terceros (CONAGUA 2016), pero no se garantiza que el volumen de agua concesionado sea siempre el mismo. Cabe señalar que el volumen de agua conce-

sionado y reportado al Registro Público de Derechos del Agua (REPGA) no necesariamente son los volúmenes reales extraídos, ya que no se cuenta con mecanismos de medición, seguimiento o vigilancia.

La correcta definición de los límites de una cuenca o de una divisoria es sumamente importante para estimar con precisión el agua renovable de la unidad hidrológica, además de requerir mediciones de la evapotranspiración, recarga (natural e inducida) y descargas de agua subterránea; así como el caudal ecológico de los ecosistemas (NMX-AA-159-SCFI-2012). En esta nota presentamos la comparación del volumen de extracción que hay en las diversas concesiones de extracción de agua subterránea en la Península de Yucatán con respecto al volumen de precipitación pluvial que ocurren en dicha zona distinguiendo regiones hidrológicas, cuencas y sub-cuencas, con el objetivo de llamar la atención y dirigir esfuerzos hacia la conciliación de la hidrogeología de la región y la mejor administración del recurso hídrico.

### **Materiales y Métodos**

Se obtuvo información sobre la distribución espacial de la precipitación (UNAM 2018, CONABIO), además de mapas con la división política de la península de Yucatán (INEGI 2018), y las regiones, cuencas y sub-cuencas hidrológicas (CONABIO). Los datos sobre las concesiones de extracción de agua, como el volumen de extracción, las coordenadas del punto de extracción, la región hidrológica, se obtuvieron del portal Agua para todos (Agua para todos 2020). A

partir de archivos *.csv*, se generaron capas en formato shapefile (*.shp*) para la precipitación anual histórica (en categorías de precipitación), concesiones por región hidrológica, sub-cuenca, estado y municipio en el software de acceso libre QGIS 3.4 (QGIS Development Team 2020). Los gráficos y cuadros se elaboraron a partir del análisis estadístico provisto por las tablas de atributos de capas y polígonos.

### Resultados y Discusión

Hasta 2018, el estado de Yucatán tiene el mayor número de concesiones y mayor volumen de extracción agua reportados. El estado de Campeche tiene más concesiones que Quintana Roo, no obstante, el volumen de extracción es similar (Cuadro 1). Las mayores densidades de concesiones y volumen de extracción de agua subterránea se concentran en zonas urbanas (Chetumal, Playa del Carmen, Cancún, Campeche, Escárcega) o en regiones con vocación agrícola como el corredor formado por la Sierra de Ticul, la zona cañera de Quintana Roo (sur) y la región de Hopelchén en Campeche (Figuras 1A-C).

La disponibilidad de agua subterránea de la Península de Yucatán se encuentra entre las más importantes de México; para 2015, se estimó que el promedio anual de agua disponible en los tres acuíferos que conforman el área continental de la Península fue de 3,466.105 millones de metros cúbicos anuales (D.O.F. 2018). Sin embargo, consideramos que las estimaciones actuales de disponibilidad de agua subterránea son inciertas: Los cálculos se basan en consideraciones que no tienen en

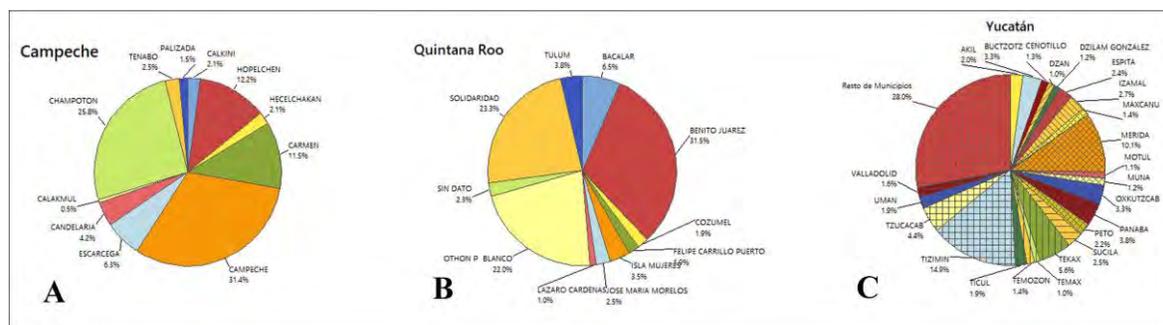
cuenta la variabilidad en la precipitación histórica, no se calculan los cambios en el agua en condiciones desfavorables, como eventos de sequía extrema y los posibles escenarios de cambio climático. Además, no se mide la evapotranspiración. En la Figura 2 podemos observar variaciones en la precipitación media anual histórica de la Península, en algunas zonas tiene valores entre 600 y 800 mm, en otras zonas llega a alcanzar hasta 1500 mm (precipitación acumulada mensual promedio de 1902 a 2011). Las zonas con mayor precipitación son regiones costeras y sur de los estados de Quintana Roo y Campeche. Por otro lado, se puede observar que es estado de Yucatán presenta precipitaciones por debajo de los 800 mm en la zona costera del Golfo de México, una zona con 1512 concesiones y con riesgo de intrusión salina.

El área de cada sub-cuenca tiene una correlación aceptable con el volumen de extracción concesionado; no obstante, la superficie de extracción no está del todo representada en el rango de variabilidad y el punto más alejado (35993 concesiones) pudiera estar forzando esta relación (Figura 3A). Es importante destacar que el número de concesiones no necesariamente guarda relación con la precipitación anual (histórica) observada por regiones. Por ejemplo, hay 22000 concesiones con volúmenes concesionados de hasta 5000 millones de metros cúbicos al año en la cota de precipitación de 1000 a 1200 mm; mientras que la mitad de esas concesiones se localizan en cotas de mayor precipitación (Figura 3B). En Quintana Roo como en Campe-

**Cuadro 1.** Número de concesiones y volumen de extracción de agua subterránea en la Península de Yucatán (Campeche, Quintana Roo y Yucatán) hasta 2018.

Estado	No. de concesiones	Total de m <sup>3</sup> anuales
Campeche	10,060	1,292,120,423
Quintana Roo	6,304	1,211,609,880
Yucatán	32,313	2,126,631,681
<b>Total</b>	<b>48,677</b>	<b>4,630,361,983.40</b>

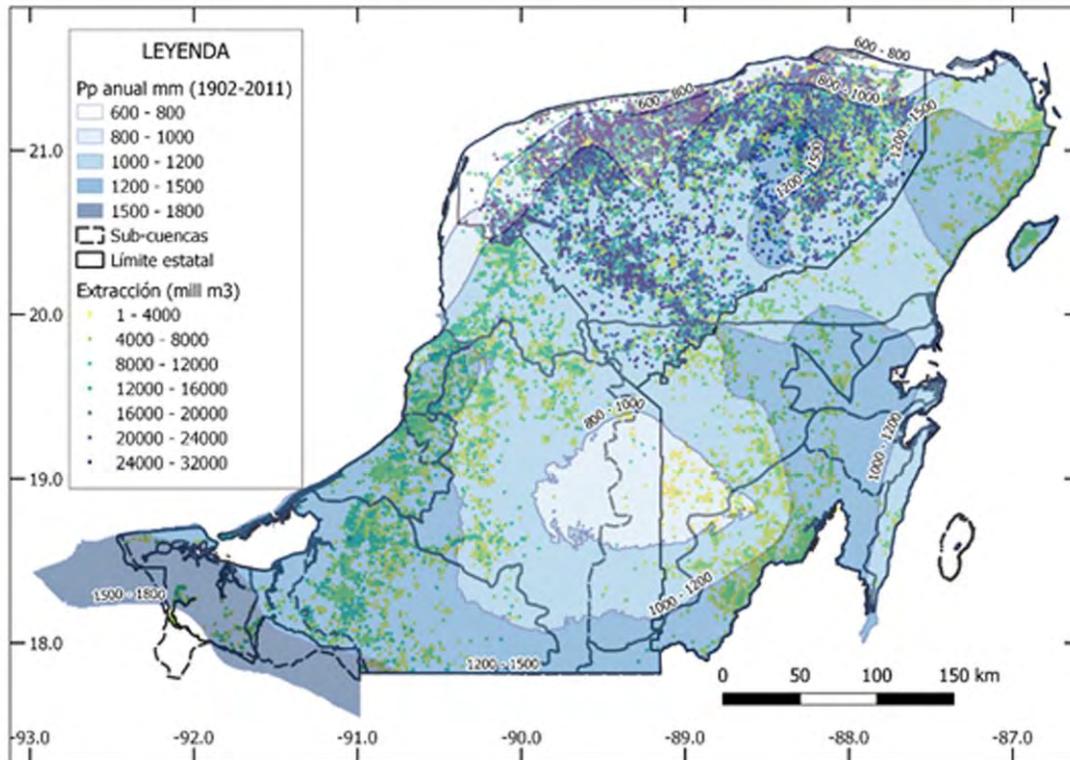
Fuente: <http://datos.aguaparatodos.org.mx/concesiones/>.



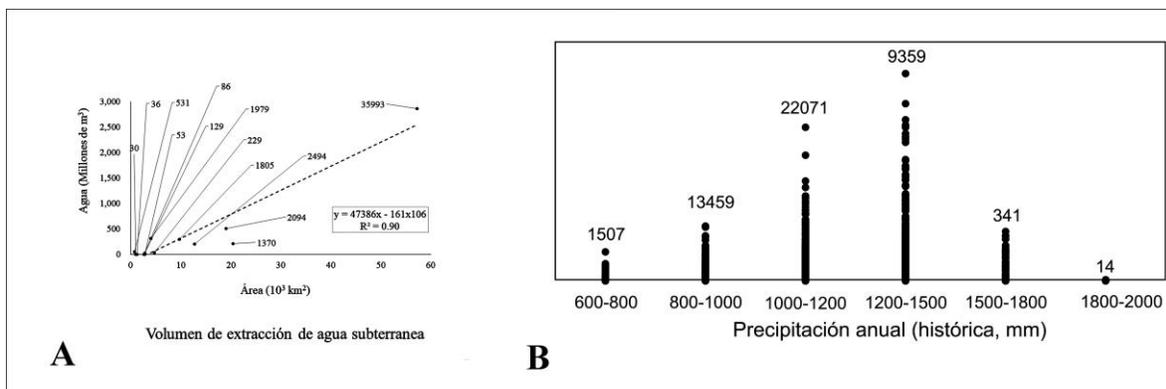
**Figura 1.** Porcentaje de extracción de agua subterránea en los tres estados de la Península de Yucatán. **A.** Porcentaje de extracción de agua subterránea por municipio en Campeche. **B.** Porcentaje de extracción de agua subterránea por municipio en Quintana Roo. **C.** Porcentaje de extracción de agua subterránea por municipio en Yucatán. Se presentan los municipios con porcentaje de extracción mayor a 1% (Resto de municipios n=83). (Elaboración: D. Ponce, G. Acosta González y E. Cejudo).

che, la mayoría de las concesiones están distribuidas en las áreas de mayor precipitación y con volúmenes de extracción autorizados de hasta 12,000,000 m<sup>3</sup> anuales. En Yucatán se presenta un fenómeno llamativo, ya que una parte de las concesiones que existen en el estado se encuentran en las zonas de menor precipitación (600 a 800 mm de precipitación) y 18356 concesiones en zonas con 1000 a 1200 mm de precipitación anual (Cuadro

2), y concesiones autorizadas para grandes volúmenes (hasta 2,868 millones de m<sup>3</sup> anuales), sin que este claro si esto representa menor disponibilidad. Es decir, la disponibilidad de agua subterránea en determinado lugar no siempre está relacionada a la mayor cantidad de precipitación, es posible que la recuperación del nivel freático sea de escala local y regional, y no se tiene certeza del riesgo por desabasto; no obstante que en la zona costera puede haber



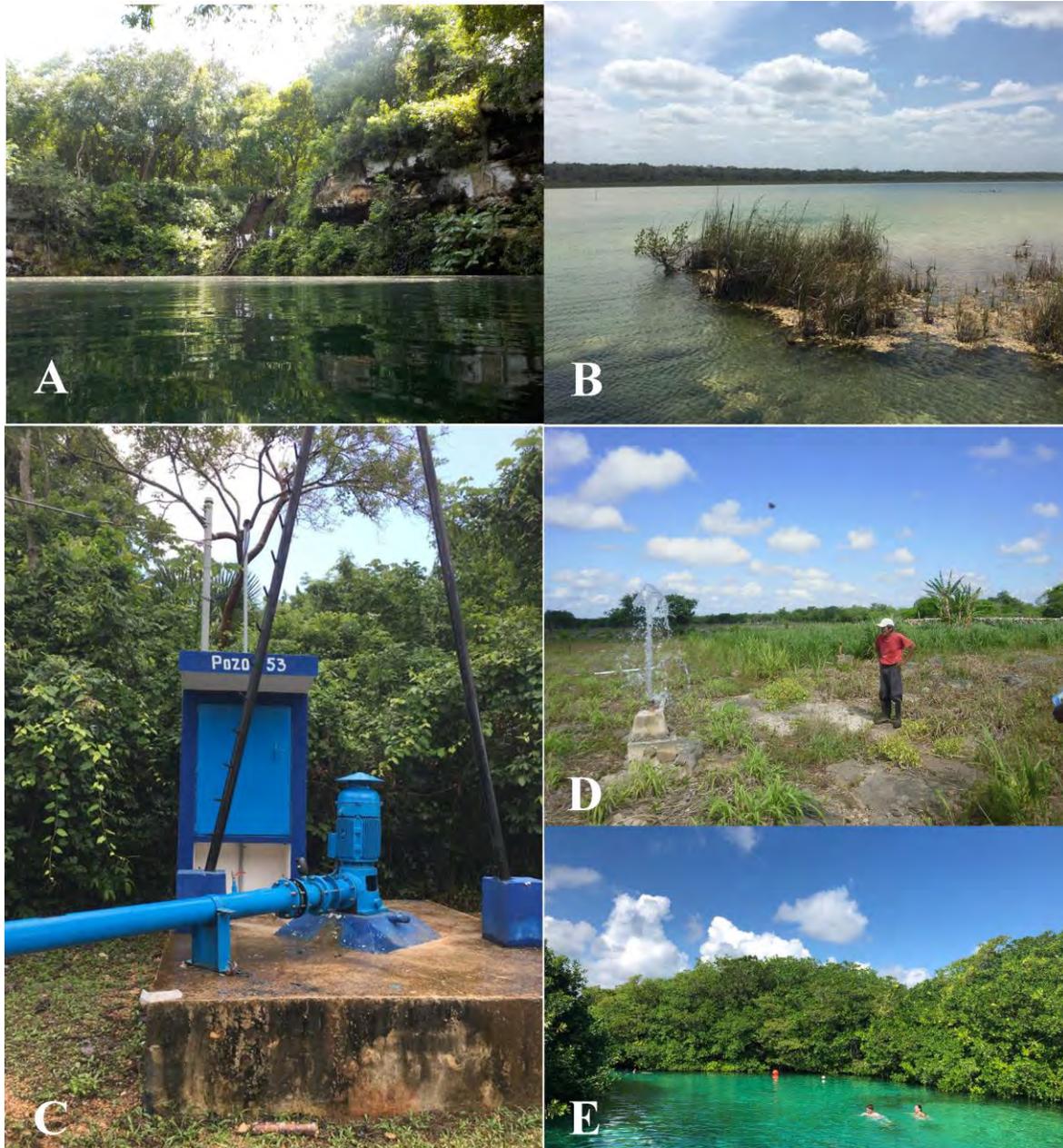
**Figura 2.** Mapa de las concesiones y el volumen otorgado por sub-cuenca y por cota de precipitación histórica anual (1902-2011). (Elaboración: D. Ponce y G. Acosta González).



**Figura 3. A.** Volumen de extracción de agua subterránea por área de la sub-cuenca. **B.** Volumen de extracción de agua subterránea por cota de precipitación. Los números dentro de los gráficos representan el número de concesiones otorgadas. (Elaboración: G. Acosta González y E. Cejudo).

**Cuadro 2.** Volumen de extracción por sub-cuenca y número de concesiones de acuerdo al área de precipitación correspondiente

Cuenca hidrológica	Sub-cuenca hidrológica	Área sub-cuenca (km <sup>2</sup> )	Volúmen de extracción (m <sup>3</sup> anuales)	Precipitación (mm anual)	Concesiones
<b>YUCATAN NORTE</b>	Mérida	57,231.7	2,868,047,709	1200-1500	2915
				1000-1200	18356
				800-1000	13173
				600-800	1512
				Sin Dato	36
<b>YUCATAN OESTE</b>	Sabancuy-Sihoachac	4,054.3	314,579,549	1200-1500	1340
				1000-1200	608
				Sin Dato	32
	Champotón	734.9	48,741,026	1200-1500	523
				1000-1200	8
	Dzibalchen-Postunich	19,102.5	505,941,085	1200-1500	442
				1000-1200	1625
				800-1000	27
	San Isidro-Monclova	12,809.3	201,851,476	1500-1800	95
				1200-1500	2387
Cumpón	2,861.9	25,133,063	1000-1200	12	
			1500-1800	44	
<b>YUCATAN ESTE</b>	Bacanchén	20,442.1	208,942,322	1200-1500	300
				1000-1200	889
				800-1000	181
	Chetumal	9,718.4	297,938,193	1200-1500	1213
				1000-1200	514
				800-1000	74
				Sin Dato	4
	Xcalak-El Ubero	1,249.6	293,849	1000-1200	36
	Palmas	2,669.8	1,873,769	1200-1500	86
	Vigía Chico	2,815.2	1,096,359	1200-1500	50
1000-1200				3	
Chunyaxché-Santa Amalia	1,000.7	38,929	1200-1500	17	
			1000-1200	13	
<b>GRIJALVA USUMACINTA</b>	Catazajá	4,727.7	28,926,836	1800-2000	14
				1500-1800	202
				1200-1500	13



**Figura 4.** **A.** Cenote Kikil, Tizimín, Yucatán, **B.** Lago cárstico Punta Laguna, Valladolid, Yucatán, **C.** Pozo 53 en Leona Vicario, Puerto Morelos, Quintana Roo. **D.** Pozo de riego, Panabá, Yucatán, **E.** Cenote Manatí, Tulum, Quintana Roo. (Fotografías: G. Acosta Gonzalez y E. Cejudo).

salinización del acuífero, y sequías agronómicas en las zonas de menor precipitación con falta de riego tecnificado.

De acuerdo al estudio de disponibilidad de agua en el acuífero 3105 hecho por la CONAGUA en 2015, el volumen disponible de agua para nuevas concesiones es de 5,759,221,028 m<sup>3</sup> anuales; es decir, se puede extraer aún más agua de la ya concesionada, asumiendo que no existen escurrimientos superficiales y que no existen variaciones importantes en el cambio del almacenamiento del acuífero ¿Qué tan válidas son estas suposiciones? No lo sabemos, pero pensamos que no lo son. La falta de certeza es la razón fundamental por la que necesitamos tener estimaciones precisas de la disponibilidad de agua en el sistema de aguas subterráneas de la península. Esta revisión no debiera seguir considerando unidades administrativas, sino regionalizando el territorio a nivel de cuencas, sub-cuencas y unidad hidrogeológicas bien definidas y delimitadas, que provea de criterios hidrogeológicos a las herramientas de manejo y administración del agua (Figura 4). Este cambio de paradigma permitirá mayor certidumbre en las estimaciones de agua renovable de acuerdo a los parámetros meteorológicos locales, permitirá el establecimiento de zonas de recarga y de protección, así como la necesidad de revisiones periódicas de dichos balances.

### Conclusiones

Consideramos necesario conciliar el conocimiento hidrogeológico y meteorológico con las herramientas de administración y

manejo del agua de acuerdo a criterios que consideren sub-cuencas o divisorias de agua subterránea que permitan calcular de mejor manera la precipitación sobre el área, la recarga del acuífero y finalmente tener mejores estimaciones de la disponibilidad de agua renovable por unidades de paisaje de menor escala, donde el agua se administre con criterios bien fundamentados por estudios hidrogeológicos de acuerdo a los actuales escenarios de modificación de regímenes meteorológicos.

### Referencias

- Agua para todos. 2020.** *Concesiones de extracción de agua. México.* Disponible en <https://aguaparatodos.org.mx/> (consultado: 10 de octubre 2019).
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2020.** Portal de Geoinformación 2020. Subdirección de Sistemas de Información Geográfica. <https://www.gob.mx/conabio>.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2015.** *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Península de Yucatán (3105) Estado de Yucatán.* D.O.F. 20 de abril de 2015.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2016.** Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D. F. Disponible en [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/105137/Ley\\_Aguas\\_Nacionales.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/105137/Ley_Aguas_Nacionales.pdf) (consultado: 28 de febrero 2020).
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2018.** *Estadísticas del agua en*

- México. Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Planeación. México DF. 303 pp. Disponible en [http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/eam\\_2018.pdf](http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/eam_2018.pdf)
- DOF (Diario Oficial de la Federación).** 2018. *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.* Publicado el 04/01/2018 .
- IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua).** 2019. Aguas subterráneas. Disponible en <https://www.gob.mx/-/imta/articulos/aguas-subterranas> (consultado: 28 de febrero 2020).
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía).** 2018. *Áreas Geoes-tadísticas Estatales 1:250000. 2018', escala: 1:250000. edición: 1.* Aguas-calientes, México. NMX-AA-159-SCFI-2012. Que establece el procedimiento para la determinación del Caudal Ecológico en Cuencas Hidrológicas.
- QGIS Development Team.** 2020. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation. Disponible en <http://qgis.osgeo.org>
- UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México).** 2012. *Precipitación acumulada mensual promedio (1902-2011).* Centro de Ciencias de la Atmósfera, Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales <http://uniatmos.atmosfera.unam.mx/ACDM/> (consultado: 16 mayo 2018).
- WWAP (World Water Assessment Programme).** 2012. *World's Groundwater Resources are suffering from Poor Governance.* Publication series, 1 [24]. UNESCO, Paris. 38 pp. Disponible en <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000215496>
- Zektser I.S. y Everett L.G.** 2004. *Groundwater resources of the world and their use.* IHP-VI Series on Groundwater No. 6, Paris. 346 pp.

Desde el Herbario CICY, 12: 110–118 (04-Junio-2020), es una publicación semanal editada por el Herbario CICY del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., con oficinas en Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Tel. 52 (999) 942-8330 Ext. 110, [www.cicy.mx/Sitios/Desde\\_Herbario/](http://www.cicy.mx/Sitios/Desde_Herbario/), [webmas@cicy.mx](mailto:webmas@cicy.mx). Editores responsables: Rodrigo Duno de Stefano y Lilia Lorena Can Itzá. Reserva de Derechos al Título Exclusivo No. 04-2016-041413195700-203, otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, ISSN: 2395-8790. Responsable de la publicación: José Fernely Aguilar Cruz, Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Fecha de última modificación: 04 de junio de 2020. Las opiniones expuestas por los autores no necesariamente expresan la postura del editor de la publicación. De la misma manera, la responsabilidad sobre la veracidad y la precisión de los contenidos, le corresponde totalmente a los autores de los ensayos.