

# EFFECTOS AMBIENTALES POR TRASVASE DE AGUA INTERCUENCIAS SOBRE CAUDALES SUPERFICIALES

Hernández Flores Juan, Fonseca Ortiz Carlos Roberto, Mastachi Loza Carlos Alberto, Gómez Albores Miguel Ángel, Esteller Alberich María Vicenta y Díaz Delgado Carlos

Centro Interamericano de Recursos del Agua, Universidad Autónoma del Estado de México, México.  
E-mail: jhernandezf053@alumno.uaemex.mx, cfonsecao@uaemex.mx, camastachil@uaemex.mx, magomez@uaemex.mx  
mvestellera@uaemex.mx, [cdiazd@uaemex.mx](mailto:cdiazd@uaemex.mx)

## Introducción

Los trasvases de agua intercuencias desde regiones con abundante agua hacia regiones con escasez ha sido reconocido como una solución para asegurar el suministro de agua para apoyar el desarrollo en la cuenca receptora (Gohari et al., 2013)

Las fuentes de abastecimiento de los trasvases pueden ser cuerpos de agua superficiales o subterráneos. Sin embargo, dado que el agua subterránea puede volver a surgir naturalmente en forma de manantial o caudal base de los ríos (Ordoñez, 2011), las fuentes subterráneas en trasvases pueden contribuir a los efectos ambientales y socioeconómicos adversos de una sobreexplotación. Entre estas consecuencias están: el abatimiento de las aguas subterráneas y su correspondiente impacto económico debido al mayor costo de bombeo desde una mayor profundidad y los efectos de las actividades que dependen del agua (Fonseca et al., 2013).

Algunos estudios (Ordoñez, 2011) han estimado hasta una aportación del 30 por ciento de agua subterránea en caudales superficiales. Es decir, el flujo entre las aguas superficiales y subterráneas crea un hábitat dinámico para la fauna acuática. Esta fauna es parte de una cadena alimenticia que sostiene una comunidad ecológica diversa. Estudios indican que dichos organismos pueden proporcionar información sobre la calidad del agua, así como los cambios adversos en los ambientes acuáticos (Winter, 1998), tal como el caudal ecológico. Este caudal puede ser menor al caudal medio mensual, pero no al caudal base (SCFI, 2012). Por lo que el abatimiento de los niveles de agua subterránea genera impactos también sobre ellos.

El presente trabajo pretende identificar y estimar los efectos que provoca el gasto de trasvase sobre el volumen y la calidad del agua en el caudal base, como soporte a la toma de decisiones en la gestión de los recursos hídricos. El caso de estudio es el denominado trasvase Sistema Lerma (SL), el cual lleva agua desde la cuenca del Curso Alto del Río Lerma (CARL) hacia la ciudad de México desde 1951 (Torres, 2014).

## Materiales y métodos

El método propuesto en este estudio consiste en la identificación de tres fases relacionadas con la explotación de recursos hídricos. De esta manera, es posible evaluar la alteración volumétrica y de calidad en relación con un caudal base inicial en la cuenca del CARL.

Las fases por identificar son:

- Un estado hipotético de un caudal que presente las características del río en su estado natural sin intervención humana significativa.
- Una explotación de agua subterránea para abastecer el trasvase, con un posible retorno de agua proveniente de descargas de aguas residuales locales.
- Explotación de agua subterránea por trasvase y por consumo local, con gasto local de retorno hacia los cuerpos de agua superficial.

Para la identificación de estas fases se hace uso de registros hidrométricos (CONAGUA, 2014), datos del gasto de trasvase  $Q_{tr}$  (Torres, 2014), de la concesión de agua superficial para uso urbano (SEMARNAT, 2010) y del consumo de agua de la población dentro de la cuenca en estudio.

La identificación del estado natural del caudal base, es asumido por medio del trabajo de campo para localizar un cuerpo de agua sin alteración humana significativa. De esta manera, es posible tomar muestras de agua para determinar su concentración de Sólidos Disueltos Totales (SDT).

Por un lado, los registros hidrométricos permiten estimar el caudal base mensual por medio de los caudales mínimos diarios (CONAGUA, 2014). Por otro lado, el consumo de agua de la población permite inferir la aportación volumétrica al caudal del río en forma de descarga de agua residual. La descarga, de la misma manera que el volumen proveniente de la precipitación mensual, pueden representar variables explicativas de la relación entre el gasto de trasvase y el caudal base.

Para representar el estado cualitativo del agua se utiliza la concentración de SDT, mediante una ponderación entre el caudal base ( $Q_b$ ), su concentración de SDT ( $c_{2cb}$ ) y el gasto de descarga local ( $Q_{dl}$ ) con sus respectivas concentraciones de sólidos disueltos totales para las temporadas de estiaje y de lluvias ( $C_{2dlw,d}$ ), como se muestra en la ecuación 1.

$$SDT = \frac{(Q_b - Q_{dl})(c_{2cb}) + Q_{dl}(C_{2dlw,d})}{Q_b} \quad [1]$$

## Resultados

Los registros de transferencia hídrica muestran inicialmente una extracción de agua subterránea para alimentar el trasvase SL a partir de 1951, con un gasto inicial de 1.65 m<sup>3</sup>/s (Torres, 2014). De esta manera, las fases de explotación son identificadas (figura 1) como:

- Fase "0": de 1930 a 1951, se considera un estado natural en el que no existió una explotación significativa de los recursos hídricos subterráneos.
- Fase "1": de 1951 a 1963, existe una extracción  $Q_{tr}$  de agua subterránea para alimentar el trasvase SL. Además, se asume que, debido a que la concesión de agua superficial es mayor o igual a la demanda urbana de agua, la población podía abastecer sus necesidades hídricas de fuentes de agua superficial.
- Fase "2": de 1963 al 2013, existen extracciones de agua subterránea para alimentar el trasvase ( $Q_{tr}$ ) y para abastecer a la población dentro de la cuenca del CARL ( $Q_{ci}$ ). De manera adicional, es considerado un gasto de retorno, visto como un porcentaje de la demanda local de agua (descarga de aguas residuales).

El análisis de registros hidrométricos de los gastos mínimos muestra una reducción del caudal base en la fase 1, pero un incremento para la fase 2. Sin embargo, es posible observar en función de la calidad del agua, que este aumento en el caudal del río no está asociado a la aportación de agua subterránea,

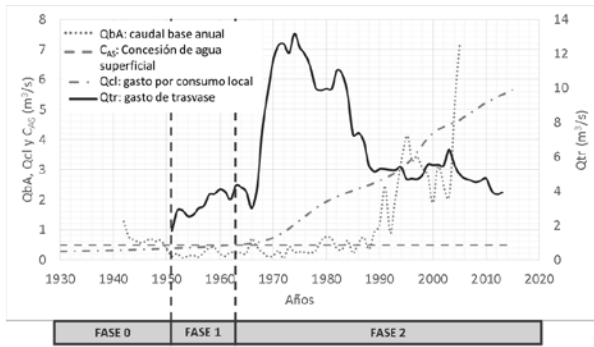


Figura 1.- Fases de explotación del trasvase Sistema Lerma.

sino a la descarga directa al río Lerma de agua residual de la población que habita dentro de la cuenca.

La relación entre el caudal base  $Q_b$  relativo tanto al gasto de descarga  $Q_{dl}$  como al volumen de precipitación, y el gasto de trasvase  $Q_{tr}$  (figura 2), muestra una tendencia en general a disminuir. Para bajos gastos (asociados principalmente con la fase 1), se observa poca influencia del efecto de trasvase. Sin embargo, en la fase 2 de explotación se observa una menor dispersión entre el gasto de trasvase y el caudal base relativo. Este último proporciona indicios del efecto indirecto del trasvase sobre el caudal base. La tabla 1 muestra el gasto medio mensual de los caudales base en el río principal de la cuenca del CARL para cada una de las fases propuestas, así como su concentración de sólidos disueltos totales.

Tabla 1.- Caudal base medio y su concentración de SDT.

Mes	$Q_{b0}$ ( $m^3/s$ )	$^*1SDT_0$ ( $mg/L$ )	$Q_{b1}$ ( $m^3/s$ )	$SDT_1$ ( $mg/L$ )	$Q_{b2}$ ( $m^3/s$ )	$^*2SDT_2$ ( $mg/L$ )
1	3.279	173	1.370	640	3.022	1358
2	2.363	173	0.663	1026	2.651	1420
3	1.462	173	0.397	1454	2.233	1553
4	1.256	173	0.567	1261	2.362	1578
5	1.545	173	1.031	794	2.950	1254
6	2.632	173	2.624	417	4.781	950
7	5.091	173	6.696	269	7.479	668
8	7.653	173	8.154	252	9.440	571
9	10.498	173	10.315	235	11.002	515
10	8.984	173	8.586	248	8.338	617
11	5.715	173	4.786	307	5.050	906
12	4.068	173	2.360	444	3.749	1162

$Q_{bi}$ : Caudal base mensual medio de fase  $i$ ,  $SDT_i$ : concentración de sólidos disueltos totales en fase  $i$ .

\*1. Calidad de agua inferida a partir de muestras en cuerpos de agua en la cuenca sin alteración humana significativa.

\*2. Calidad de agua a partir de registros obtenidos por Fall et al. (2006)

En general, la reducción del caudal base entre la fase 0 y 1 fue de  $0.583 m^3/s$ . Sin embargo, la transición de la fase 1 a la fase 2 mostró un comportamiento inverso, es decir, un incremento de  $1.292 m^3/s$ . Es posible inferir que el aumento de  $Q_b$  es debido a las descargas ya que el gasto de descarga resultó igual o mayor al caudal base estimado.

## Conclusiones

Gracias a la identificación de fases de explotación, fue

posible observar una mayor relación entre la explotación de agua subterránea y caudales superficiales.

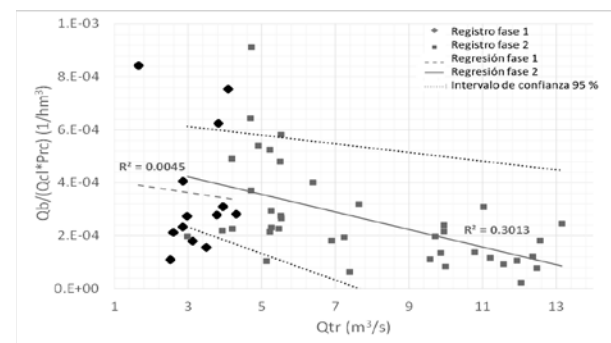


Figura 2.- Gasto de trasvase y caudal base relativo a precipitación y descarga local.

Los impactos volumétricos y de calidad en el caudal base del río principal de la cuenca del CARL debido al trasvase SL son una muestra clara del efecto de sobreexplotación de aguas subterráneas.

Aún cuando se observó un incremento volumétrico promedio del 32.6% entre la fase 1 y 2 de explotación, la calidad del caudal base se deterioró en 141.1% (en función de los SDT).

A pesar de mostrar un bajo coeficiente de determinación, en la fase 2 se observa un notable incremento en la relación entre el gasto de trasvase y el caudal base relativo a la descarga y precipitación, comparada con la fase 1.

Por otro lado, las descargas de agua residual y la precipitación muestran una asociación con el caudal base. Sin embargo, es recomendable incorporar otras variables explicativas para el caudal base.

Finalmente, se sugiere como alternativa para gestionar la evaluación de externalidades asociadas al trasvase, el análisis y diseño de un pago por servicios ambientales hidrológicos (PSAH) ponderado en relación con la explotación de aguas subterráneas para conservar las fuentes de las que se extrae el vital líquido.

## Referencias bibliográficas

- CONAGUA. (2014). Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales, disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/Portada%20BANDAS.htm> [consultado el 14 de junio del 2017]
- Fall, C., Hinojosa-Peña A. & Carreño-de-León, M.C. (2006). Design of a monitoring network and assessment of the pollution on the Lerma river and its tributaries by wastewaters disposal. Science of the Total Environment, 1, 12.
- Fonseca, C.R., Esteller, M.V. y Díaz-Delgado, C. (2013). Territorial approach to increased energy consumption of water extraction from depletion of a highlands Mexican aquifer. Journal of Environmental Management, 1, 11.
- Gohari, A, Eslamian, S, Mirchi, A, Abedi, J, Massha, A and Madani, K. (2013). Water transfer as a solution to water shortage: A fix that can backfire. Journal of Hydrology, 1, 17.
- Ordoñez, J.J. (2011). Aguas Subterráneas-Acuíferos. Lima-Peru: Global Water Partnership South America.
- SCFI. (2012). NMX-AA-159. México: Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.
- SEMARNAT (2010) Plan maestro para la restauración ambiental de la cuenca alta del río Lerma. Diagnóstico ecosistémico Tomo III. Marco Físico-Biótico, Gobierno del Estado de México/ Universidad de Chapingo.
- Torres, L. (2014). SISTEMA LERMA: una visión política en la gestión pública del agua, ¿solución Estatal o Federal?. Toluca, México: iapem.