



COMPORTAMIENTO EN EL TIEMPO DEL ÍNDICE ENERGÉTICO Y LA EFICIENCIA ELECTROMECAÁNICA DE SISTEMAS DE BOMBEO EN UNIDADES DE RIEGO

Alberto González Sánchez^{1*}; Arturo González Casillas¹; José Ángel Guillén González¹

¹Coordinación de Riego y Drenaje. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, Jiutepec, Morelos, C.P. 62550. México.

alberto_gonzalez@tlaloc.imta.mx - 7773293600 ext. 115 (*Autor de correspondencia)

Resumen

En México, los acuíferos aportan el 35.9% del volumen total de agua anual utilizado en la agricultura, y el 38.9% del volumen total concesionado para usos consuntivos, por lo que su aprovechamiento óptimo y sustentable resulta de vital importancia. Sin embargo, en las últimas décadas se ha intensificado el uso de agua subterránea para actividades de agricultura, ocasionando la sobreexplotación del recurso. Un factor estrechamente relacionado con este problema es la ausencia de mecanismos de medición volumétrica que permitan monitorear las extracciones a nivel de pozo. Una alternativa a la medición directa se encuentra en el uso del índice energético (kWh/m^3), el cual representa la energía consumida para extraer agua para riego durante cierto período de tiempo. No obstante, el índice puede presentar variaciones a lo largo del tiempo, producto de los cambios de presión del sistema de distribución del agua hacia la parcela, lo que afecta su eficiencia para la estimación de las extracciones. Por lo anterior, este trabajo planteó verificar el comportamiento de las variaciones del índice en seis unidades de riego localizadas en el acuífero de Calera, Zacatecas, realizando un muestreo frecuente y periódico en un espacio de tiempo de dos meses. Los resultados indican que el índice energético presenta variaciones del 3.02% al 8.12% respecto a la media, mientras que en la eficiencia electromecánica puede llegar hasta el 11.24%. En general, se observa que estos parámetros son muy sensibles a las condiciones de operación del equipo de bombeo y a los sistemas de riego utilizados.

Palabras claves: consumo energético, medición volumétrica, uso sustentable, riego.

Introducción

En México, los acuíferos aportan el 35.9% del volumen total de agua anual utilizado en la agricultura (23,470 millones de m³), y el 38.9% del volumen total concesionado (33 311 millones de m³) para usos consuntivos (CONAGUA, 2016), por lo que su aprovechamiento óptimo y sustentable resulta de vital importancia. Sin embargo, en las últimas décadas se ha intensificado el uso de agua subterránea para actividades de agricultura, (Gráfica 1) lo que ha ocasionado la sobreexplotación del recurso. Por dicha razón, a partir de 2001 se inició un proceso de delimitación, estudio y determinación de la disponibilidad de los acuíferos. Actualmente, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) clasifica como sobreexplotados a 105 de un total de 653 acuíferos (Figura 1), en los cuales se ha detectado que las extracciones superan al volumen de la recarga media anual. Esta problemática ha obligado a generar diversas medidas y políticas a nivel nacional para controlar y monitorear los acuíferos, como la realización de estudios de disponibilidad de agua y su capacidad de recarga (CONAGUA, 2015), lo cual ha servido como base para el otorgamiento (o limitación) de permisos de explotación de agua subterránea. Sin embargo, en la práctica no hay un mecanismo de monitoreo a nivel de pozo que permita verificar que dichos permisos sean respetados. Pese a que en los últimos años la CONAGUA ha puesto en marcha un programa intensivo para la instalación de medidores volumétricos, se estima que cuando mucho se han instalado cerca del 10% de los medidores requeridos (González-Casillas, García-Villanueva, & De León-Mojarro, 2014). A esta situación se le añade la falta de personal para realizar la captura de las lecturas, así como falta de interés por parte del productor para instalar y dar mantenimiento al equipo. Estas condiciones llevan a afirmar a algunos autores que las extracciones subterráneas en México no son medidas, y en general se desconocen los verdaderos niveles de sobreexplotación a los que han llegado la mayoría de los acuíferos (Flores-López & Scott, 2000; Oswald, 2011).



Figura 1. Acuíferos sobreexplotados (CONAGUA, 2016)



Una alternativa a la medición directa en campo se encuentra en el uso del índice energético (IE). Este indicador, expresado en kWh/m³, representa la relación entre la energía utilizada por un sistema de bombeo para producir la cantidad de agua necesaria para riego durante un año o un periodo de referencia (CONUEE, 2011). Diversos autores (Campos, 2002; González-Casillas et al., 2014; López Geta, 1998) han señalado que el llamado índice de consumo energético puede utilizarse para la estimación indirecta de las extracciones. No obstante, este índice puede presentar variaciones a lo largo del tiempo, esto producto principalmente de los cambios de presión del sistema de distribución del agua hacia la parcela, lo que podría afectar su eficiencia como mecanismo indirecto para la estimación de las extracciones. Esto hace necesario un análisis del comportamiento de las variaciones del índice energético y la eficiencia electromecánica en un período de tiempo que comprenda la operación normal del sistema de bombeo para actividades de riego.

Con estos antecedentes, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) se propuso durante el año 2017 realizar cinco estimaciones de índices energéticos y pruebas de eficiencia electromecánica a seis unidades de riego, repartidas en un período de tiempo de dos meses. Las unidades de riego fueron seleccionadas de un acuífero sobreexplotado. Además de considerar los resultados obtenidos en este trabajo, en la comparación también se incluyeron resultados de pruebas puntuales realizadas dos años atrás (2015 y 2016), comparando esta información con los promedios obtenidos en el año 2017. Los resultados obtenidos dan indicios sobre el nivel de confiabilidad que se puede tener en el índice energético como un mecanismo indirecto de la estimación indirecta de las extracciones, lo que a su vez permite mejorar las labores de monitoreo y optimización en el uso del agua subterránea.

Materiales y Métodos

Selección y localización de las unidades de riego

Como zona de estudio, se seleccionó el acuífero de Calera, el cual está localizado en el estado de Zacatecas y presenta un alto nivel de sobreexplotación. En dicho acuífero se encuentran localizados 32 pozos de los que ya se cuenta información por proyectos realizados en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), incluyendo dos estimaciones previas del índice energético realizado durante los años 2015 y 2016. De la información disponible, se realizó una primera selección de 12 equipos de bombeo, esto en función de gasto, profundidad y diámetro de tubería de succión. Se consideraron como significativos los equipos con gastos mayores a 8 litros por segundo, que tuvieran más de 50 metros de profundidad y un diámetro de 4 y 6 pulgadas en su tubería de succión. Con el fin de recopilar la información necesaria para este trabajo, se realizó una visita preliminar a cada una de las unidades de riego propuestas. Esta visita se enfocó en revisar si los equipos de bombeo se encontraban en las condiciones de funcionamiento óptimas, así como también que los usuarios estuvieran de acuerdo en que el personal técnico realizara cíclicamente las pruebas de eficiencias electromecánicas. En adición, se consideraron únicamente aquellas



unidades de riego que contaran con medidor volumétrico en buenas condiciones, esto con el fin de contar con el dato del volumen extraído de forma directa. De esta etapa resultaron seleccionadas finalmente 6 unidades, cuyas características principales se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Lista de unidades de riego seleccionadas para la realización de las pruebas de eficiencia electromecánica.

Folio	Municipio	Nombre	Prof. (m)	Diám. tubería de succión	Latitud	Longitud
2014-308	Calera	Toribio No. 38	140	6	23°04'27.29"	102°41'31.16"
2014-311	Calera	El Cedro	110	4	23°05' 53.6"	102°4'15.8"
2014-407	Calera	San José	178	4	22° 58' 05.9"	102°37' 24.9"
2014-418	Calera	El Mirador	230	4	22° 58' 12.6"	102°37' 29.9"
2014-485	Fresnillo	Rancho Angélica	100	4	23° 10' 32.2"	102° 40' 45.9"
2014-496	Fresnillo	Casa Blanca	80	4	23°11' 27.7"	102° 44' 59.1"

Las visitas subsecuentes se dedicaron a realizar el seguimiento de las unidades de riego, obteniendo información de características generales, consumos de energía eléctrica, consumos volumétricos, caudales y la elaboración de las pruebas de eficiencia electromecánica. El procedimiento para la elaboración de las pruebas de eficiencia electromecánica se describe en la siguiente sección.

Estimación del índice energético y eficiencia electromecánica

El método utilizado para la determinación de la eficiencia electromecánica está fundamentado en la Norma Oficial Mexicana NOM-006-ENER-2015. Esta Norma Oficial Mexicana establece los valores de eficiencia energética que deben cumplir los sistemas de bombeo para pozo profundo en operación en campo, y específica el método de prueba para verificar el cumplimiento de estos valores. Por lo tanto, esta Norma tiene como finalidad establecer el nivel mínimo de eficiencia energética electromecánica para la operación de sistemas de bombeo para la extracción de agua de pozo profundo para riego agrícola y servicios municipales. Cuando un sistema de bombeo no alcance una eficiencia electromecánica mayor al 40% será necesario rehabilitarlo para reducir su consumo de energía con el fin contribuir a la preservación de los recursos energéticos y la ecología de la Nación, además de evitar que el usuario tenga que pagar por un consumo excesivo e improductivo.

Procedimiento general para la realización de la prueba de eficiencia electromecánica fundamentado en la NOM-006- ENER-2015:



- Medición de los niveles de bombeo y presión de carga: para obtener este parámetro se puede utilizar una sonda eléctrica, neumática, presión hidrostática o un manómetro de descarga.
- Medición del gasto: se obtiene mediante un medidor de flujo ultrasónico.
- Medición de la potencia eléctrica: se realizan mediciones eléctricas de corriente, tensión y factor de potencia.
- Inspección y operación eléctrica: consiste en realizar un diagnóstico para determinar el cumplimiento de los requerimientos de la propia instalación y la conexión correcta de los componentes del sistema de bombeo.
- Durante el procedimiento se debe llenar un registro, así como las observaciones recabadas durante la prueba. Finalmente, los datos permitirán calcular la eficiencia con la que trabaja el equipo.

Este procedimiento se programó para llevarse a cabo con una frecuencia cercana a las dos semanas en cada una de las seis unidades de riego seleccionadas. No obstante, se trató en lo posible de mantener condiciones realistas de operación en los sistemas de bombeo, por lo que las pruebas se postergaron en casos donde no existieran condiciones óptimas para su realización. Por ejemplo, se tuvieron retrasos por cuestiones climatológicas (períodos intensos de lluvia hicieron innecesario el uso de riego), y por cuestiones relacionadas con la disponibilidad del titular del pozo. Las fechas finales de la aplicación de cada prueba de eficiencia electromecánica se muestra en la Tabla 2 también se incluyen las fechas de aplicación de prueba de eficiencia electromecánica realizadas a la misma unidad en proyectos anteriores del IMTA, ya que los resultados de dichas pruebas se incluyen en el presente artículo para fines de referencia.

Tabla 2. Fechas de aplicación para la elaboración de cada prueba de eficiencia electromecánica en cada unidad de riego.

Folio	Proyectos anteriores		Fechas de aplicación de cada prueba de eficiencia electromecánica año 2017				
	2015	2016	2017-1	2017-2	2017-3	2017-4	2017-5
2014-308	02/08/15	31/08/16	26/07/17	11/08/17	26/08/17	20/09/17	05/10/17
2014-311	03/08/15	09/09/16	29/07/17	12/08/17	27/08/17	19/09/17	02/10/17
2014-407	11/11/15	01/09/16	26/07/17	10/08/17	25/08/17	22/09/17	06/10/17
2014-418	11/11/15	01/09/16	26/07/17	10/08/17	26/08/17	22/09/17	05/10/17
2014-485	02/08/15	31/08/16	27/07/17	12/08/17	28/08/17	17/09/17	07/10/17
2014-496	04/08/15	24/08/16	27/07/17	11/08/17	28/08/17	21/09/17	06/10/17

Medición de niveles de bombeo y presión de descarga

La medición de los niveles de bombeo se llevó a cabo a través de una sonda eléctrica que es un dispositivo que consiste de conductores eléctricos con forro de plástico; una fuente de energía eléctrica y un amperímetro. Mientras baja el cable al pozo se observa el amperímetro y al momento en que dicho amperímetro marque corriente, es cuando las dos puntas desnudas inferiores tocan la superficie del agua cerrándose el circuito. El

largo del cable desde su extremo inferior hasta el nivel de referencia indica el nivel estático (o dinámico) en el pozo (Figura 2, izquierda).

La sonda usada para tomar las mediciones consiste en un carrete, cable POT calibre 18 de 200 m de longitud, galvanómetro y un switch. La medición de la presión de descarga se realizó con un manómetro tipo Bourdon (Figura 2, derecha).



Figura 2. Medición de los niveles de bombeo con sonda eléctrica (izquierda); Manómetro tipo Bourdon (derecha)

Medición del gasto

El gasto se midió utilizando un medidor ultrasónico. Este tipo de medidor se compone de sensores que envían y reciben señales de sonido de alta frecuencia diagonalmente al flujo del agua para medir su velocidad. Existen medidores cuyo principio es el tiempo de travesía y aquellos que se basan en el efecto Doppler. Generalmente son equipos de alto costo, pero tienen muy buena exactitud y gran flexibilidad en la instalación.

Los medidores en general calculan el gasto o caudal en función de dos variables principales: a) área hidráulica de la sección transversal de la tubería y b) velocidad media del agua. Cada una de estas variables no se miden directamente, pues se miden a través de otras variables físicas con equipos portátiles. Existen varias clases de medidores, entre los más comunes son los medidores de propela, electromecánicos y ultrasónicos. Estos últimos se componen de sensores que envían y reciben señales de sonido de alta frecuencia, diagonalmente al flujo de agua, para medir su velocidad y el gasto. El medidor ultrasónico de tiempo en travesía está diseñado para medir los líquidos limpios o puros sin partículas en suspensión. El funcionamiento de este equipo está basado en el efecto Doppler, emite una onda ultrasónica que pasa por el tubo al líquido hasta llegar al otro sensor y de regreso midiendo el tiempo de travesía y de ida, comparando con el de regreso, el equipo calcula la velocidad y el flujo (Lee, Mukai, Lee, & Iida, 2008).

La Figura 3 muestra el equipo de medición conectado a la tubería, en una de las capturas de gasto realizadas.



Figura 3. Uso del medidor de flujo ultrasónico

Medición de corriente, voltaje y factor de potencia

Estos parámetros se midieron mediante una analizador de corriente Modelo 3910 marca AEMC Instruments (Figura 4, izquierda), el cual determina los parámetros de corriente en las líneas A, B y C, Tensión Fase AB, AC y BC y factor de potencia en las líneas A, B y C (Figura 4, derecha).



Figura 4. Analizador de corriente (izquierda); Medición de los parámetros eléctricos (derecha)

Registro de parámetros y cálculo de la eficiencia electromecánica

Los datos de los parámetros eléctricos, niveles de bombeo, presión y el gasto medidas en las unidades de riego seleccionadas fueron registrados en un documento de hoja de



cálculo electrónica que ya tiene programado el procedimiento de estimación de la eficiencia electromecánica acorde a la norma NOM-006- ENER-2015. El formato se denomina “Formato de Prueba de Eficiencia Electromecánica” (FPEE). Esta hoja de cálculo también realiza la estimación del índice energético.

Resultados y Discusión

En esta sección se describen los resultados obtenidos de las series de cinco estimaciones índices energéticos y eficiencias electromecánicas realizadas durante el año 2017 para las unidades de riego seleccionadas. Para fines de comparación, se muestran también los valores de los valores puntuales medidos en los años 2015 y 2016, producto de proyectos previos realizados por el IMTA en Zacatecas.

Variación del índice energético

La Tabla 3 muestra los resultados obtenidos para el caso del índice energético. Se puede observar que, a lo largo del tiempo en las que se ejecutaron las pruebas (dos meses), el resultado del índice puede variar desde un 3.02%, hasta un 8.12%. Este porcentaje es respecto a la media, que sería el dato a utilizar para el caso de la estimación del volumen extraído. No obstante, se pueden presentar grandes variaciones de una prueba a otra, como el caso de la 3ra y 4ta prueba de la unidad con folio 2014-496 (Casa Blanca), cuya diferencia fue de un 17.7%. Esta es de hecho la variación más alta que se presentó durante el ejercicio. La variación menor fue de un 0.85%, para las pruebas 4ta y 5ta de la unidad con folio 2014-311 (El Cedro). El promedio de todas las variaciones de todas las unidades fue de 6.51%.

Tabla 3. Resultados del índice energético (kWh/m³) y su variación (proyecto 2017)

Folio	2017							
	1ra	2da	3ra	4ta	5ta	Pro-medio 2017	Desvia-ción estándar	Desvia-ción respect o a la media (%)
2014-496	0.417 1	0.424 0	0.418 8	0.355 8	0.373 7	0.398	0.03	7.80
2014-311	0.733 2	0.633 5	0.655 0	0.603 5	0.608 7	0.647	0.05	8.12
2014-418	1.210 7	1.121 6	1.222 0	1.065 0	1.060 9	1.136	0.08	6.80
2014-485	0.383 0	0.429 8	0.394 6	0.432 6	0.460 8	0.420	0.03	7.46
2014-407	1.070 6	1.027 3	1.186 2	1.149 9	1.077 3	1.102	0.06	5.84
2014-308	0.600 0	0.634 1	0.630 4	0.622 3	0.592 4	0.616	0.02	3.02
Totales (promedio)							0.05	6.51



La Tabla 4 compara el dato promedio para el índice energético obtenido durante el año 2017 contra los resultados de las pruebas realizadas en los años 2015 y 2016. Como se puede observar, existe un comportamiento de incremento en el índice, de manera generalizada (en la gran mayoría de unidades). Esto indica que cada año cuesta un poco más de energía extraer un metro cúbico de agua, ya sea por razones de abatimiento del acuífero, y por el desgaste propio del equipo. El promedio de incremento calculado con las diferencias de un año respecto al anterior (en porcentaje) es mostrado en la última columna; como se observa, este valor puede ir de 1.77% hasta 12.46%. No obstante que el último valor es bastante alto, hay que considerar que el índice presentó una variación del 5.84% en promedio en la unidad de riego de referencia, por lo que podría tratarse de una situación particular de esta unidad.

Tabla 4. Comparación del promedio del índice energético (kWh/m³) con las mediciones realizadas en los años 2015 y 2016

Folio	2015	2016	Promedio 2017	Incremento promedio (%)
2014-496	0.38	0.39	0.40	2.53
2014-311	0.58	0.57	0.65	7.03
2014-418	1.10	1.11	1.14	1.77
2014-485	0.32	0.34	0.42	12.46
2014-407	0.97	0.98	1.10	5.96
2014-308	0.51	0.53	0.62	9.14

Variación de la eficiencia electromecánica

La Tabla 5 muestra los resultados de la eficiencia electromecánica en las pruebas realizadas en las unidades de riego durante el presente trabajo. Como se observa, las eficiencias presentan variaciones, incluso en lapsos de corto tiempo, esto por las condiciones de operación del equipo de bombeo con los sistemas de riego. Dichas condiciones pueden obedecer a distancias del pozo a punto de entrega en las parcelas, sistema de riego utilizado, tiempo de uso de la cintilla, superficie por puesta de riego, y en los sistemas de riego presurizados el número de líneas regantes. Adicionalmente, se debe considerar que la presión manométrica varía en función de la posición donde se encuentra el punto de descarga respecto a la fuente de abastecimiento y sistemas de riego utilizados; para sistemas presurizados, entre más cerca del pozo mayor presión manométrica se registra y viceversa, impactando significativamente en el caudal medido y finalmente los resultados de la eficiencia electromecánica. La última columna muestra el porcentaje de desviación promedio respecto a la media, que va de 2.96% a 11.24%.



Tabla 5. Resultados de la eficiencia electromecánica (%) y su variación (proyecto 2017)

Folio	2017							
	1ra	2da	3ra	4ta	5ta	Promedio 2017	Desviación estándar	Desviación estándar respecto a la media (%)
2014-496	39.84	40.25	43.21	35.99	32.85	38.43	4.04	10.51
2014-311	42.36	48.75	48.90	48.17	51.50	47.93	3.37	7.04
2014-418	40.81	47.48	40.92	46.23	46.38	44.36	3.23	7.28
2014-485	49.66	42.51	38.04	40.55	38.55	41.86	4.70	11.24
2014-407	44.48	46.15	40.54	41.72	45.14	43.61	2.38	5.45
2014-308	50.22	46.76	47.27	48.78	49.31	48.47	1.43	2.96
Total (promedio)							3.19	7.41

La Tabla 6 compara el dato promedio para la eficiencia electromecánica obtenido durante las pruebas del año 2017 contra los resultados de las pruebas de los años 2015 y 2016. Como se puede observar, existe un comportamiento de decremento en la eficiencia de manera generalizada (en la gran mayoría de unidades). El promedio de decremento calculado con las diferencias de un año respecto al anterior (en porcentaje) es mostrado en la última columna; como se observa, este valor puede variar en promedio de 1.34% hasta 15.53%. Cabe señalar, que la unidad de riego que presentó el valor promedio de decremento de 15.53 es la que presentó una mayor variación en las eficiencias determinadas en el año 2017 (11.24%).

Tabla 6. Comparación del promedio de la eficiencia electromecánica con las mediciones realizadas en los años 2015 y 2016

Folio	2015	2016	Promedio 2017	Decremento promedio (%)
2014-496	46.58	35.73	38.43	11.67
2014-311	52.67	52.74	47.93	4.95
2014-418	45.55	44.25	44.36	1.34
2014-485	55.69	51.08	41.86	15.53
2014-407	49.96	48.54	43.61	7.12
2014-308	57.76	53.05	48.47	9.16

Conclusiones

Con el fin de obtener más información respecto al comportamiento del índice energético, este trabajo revisó con una alta frecuencia temporal la variación del índice energético y la eficiencia electromecánica en un grupo representativo de unidades de riego. En este sentido, se encontró que las eficiencias presentaron desviaciones



estándar respecto a la media de niveles bajo a medio (del 2.96% al 11.24%), incluso en lapsos cortos de tiempo. El índice energético varió en menor proporción respecto a la eficiencia electromecánica (del 3.02% al 8.12%). La principal razón de las variaciones obedece a cambios en las condiciones de operación del equipo de bombeo y los sistemas de riego instalados en campo. Las condiciones están relacionadas con las distancias del pozo a punto de entrega en las parcelas, el tiempo de uso de la cintilla, superficie por puesta de riego, y en los sistemas de riego presurizados, el número de líneas regantes. En las pruebas realizadas, se observó que La presión manométrica varía en función de la posición donde se encuentra el punto de descarga respecto a la fuente de abastecimiento y sistemas de riego utilizados; para sistemas presurizados, entre más cerca del pozo mayor presión manométrica se registra y viceversa, impactando significativamente en el caudal medido y finalmente, los resultados de la eficiencia electromecánica. Se observa entonces, que la estimación de las extracciones es más consistente utilizando un índice energético promedio calculado con datos a lo largo del ciclo agrícola, en lugar de utilizar un dato puntual obtenido en cualquier momento durante el año agrícola.

Con base en los datos bajo estudio, se puede inferir una fuerte sobreexplotación del acuífero de Calera. Los pozos analizados en dicho acuífero presentaron disminuciones en sus gastos promedio en los años 2016 y 2017. Se observó una relación lógica con el índice energético, que se ha incrementado, y la eficiencia electromecánica la cual ha disminuido. Sin embargo, se requiere un análisis más profundo para determinar la causa exacta de dicho comportamiento; si se trata de sobreexplotación, abatimiento, o si fueron las condiciones ambientales del año agrícola las provocaron la disminución de la eficiencia electromecánica en los equipos analizados.

Referencias Bibliográficas

- Campos, J. C. R. (2002). Evaluación de Extracciones a Partir del Consumo Energético. En *III Congreso Ibérico Sobre Gestión y Planeamiento del Agua, 13 - 17 Noviembre 2002* (pp. 141–160). Sevilla, España.
- CONAGUA. (2016). *Estadísticas del Agua en México*. Ciudad de México: SEMARNAT. Recuperado a partir de http://201.116.60.25/publicaciones/EAM_2016.pdf
- CONUEE. (2011). Estudio de Sistemas de Bombeo Agropecuarios en México. México, D. F.: Comisión Nacional Para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE). Recuperado a partir de https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2014/06/Estudio_bombeo_agropecuario_mexico_2011.pdf
- Flores-López, F., & Scott, C. (2000). Superficie agrícola estimada mediante análisis de imágenes de satélite en Guanajuato, México. *International Water Management Institute IWMI, Serie Latinoamericana.*, 15(15), 2–60. Recuperado a partir de <http://publications.iwmi.org/pdf/H026497.pdf>
- González-Casillas, A., García-Villanueva, N. H., & De León-Mojarro, B. (2014). Regulated Monitoring Operating System of Groundwater Extra Withdrawals in



Mexico. En *22nd International Congress on Irrigation and Drainage*. Gwangju Metropolitan City, Republic of Korea.

Lee, K., Mukai, T., Lee, D., & Iida, K. (2008). Verification of mean volume backscattering strength obtained from acoustic Doppler current profiler by using sound scattering layer. *Fisheries Science*, 74(2), 221–229. <https://doi.org/10.1111/j.1444-2906.2008.01516.x>

López Geta, J. A. (1998). Guía para la evaluación de extracciones de aguas subterráneas mediante contadores eléctricos: rendimientos y coste del agua. *Serie de Guías Operativas*. Madrid, España: Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE).

Oswald, U. (2011). Retos de la investigación del agua en México. México, D. F.: CRIM-UNAM.