



## III CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMEII 2017

Puebla, Pue., del 28 al 30 de noviembre de 2017

### USO DEL ÍNDICE ENERGÉTICO PARA LA ESTIMACIÓN DE EXTRACCIONES VOLUMÉTRICAS EN UNIDADES DE RIEGO DE ZACATECAS

**Alberto González Sánchez<sup>1\*</sup>; Arturo González Casillas<sup>1</sup>; José Ángel Guillén  
González<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Coordinación 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](mailto:alberto_gonzalez@tlaloc.imta.mx) - (777) 329 3600 ext. 115 (\*Autor de correspondencia)

#### Resumen

En la última década, diversas medidas y políticas por parte del Gobierno Federal se han desarrollado para controlar el problema de la sobreexplotación de los acuíferos. En este contexto, la CONAGUA realiza desde el año 2007 diversos estudios de disponibilidad y capacidad de recarga en los acuíferos, estableciendo límites para las extracciones. Sin embargo, las extracciones a nivel de pozo son desconocidas, debido principalmente a la falta de instrumentación para la medición del consumo volumétrico y a la escasez de personal para hacer las lecturas. Dada esta problemática, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) desarrolló durante el año 2015 el Sistema de Información de Extracciones Volumétricas en Acuíferos (SIEVA), que incluye entre sus características la posibilidad de comparar el volumen concesionado contra el volumen extraído a nivel de pozo por medio del índice energético ( $\text{kWh/m}^3$ ). Este índice permite estimar el volumen extraído con base al consumo de energía eléctrica, y así observar el avance gradual de las extracciones. SIEVA ha sido aplicado en los últimos dos años para monitorear las extracciones de una muestra de pozos del estado de Zacatecas, permitiendo calcular diversos indicadores relacionados con la capacidad de extracción de los pozos, como el nivel promedio de desgaste del sistema de bombeo, la disminución de eficiencia electromecánica, la variación del índice energético y el nivel de sobreexplotación del volumen concesionado. Los resultados indican que, de la muestra, el 24% de los pozos sobrepasan su concesión, extrayendo en conjunto más del doble de volumen que tienen concesionado.

**Palabras clave adicionales:** acuífero, sobreexplotación, pozos, sistema de información, eficiencia electromecánica.



## Introducción

En México, los mantos acuíferos aportan el 35.9% del volumen total utilizado en la agricultura (23.47 millones de m<sup>3</sup>), y el 38.9% del volumen total concesionado 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, lo que ha ocasionado el deterioro del recurso. Actualmente, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) clasifica como sobreexplotados a 106 de un total de 653 acuíferos (CONAGUA, 2016), en los cuales se ha detectado que las extracciones superan al volumen de la recarga media anual. En este sentido, diversas medidas y políticas a nivel nacional se han desarrollado para controlar y monitorear el problema, como la realización de estudios de disponibilidad y capacidad de recarga en los acuíferos (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).

Una alternativa a la medición directa se encuentra en el uso del índice energético (IE). Este indicador, expresado en kWh/m<sup>3</sup>, 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 (SENER, 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, la aplicación masiva del IE para fines de monitoreo de extracciones requiere de una infraestructura informática que: a) facilite el cálculo de este dato a nivel de pozo; b) concentre dicha información a niveles superiores; y c) que facilite la consulta de la información agrupada por niveles organizacionales y geográficos. Con estos y otros objetivos, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) desarrolló en el año 2015 el Sistema de Información de Extracciones Volumétricas en Acuíferos (SIEVA). SIEVA ha sido aplicado en los últimos dos años para monitorear las extracciones de una muestra de 80 pozos del estado de Zacatecas, permitiendo calcular diversos indicadores de importancia relacionados con la capacidad de extracción de los pozos, como el nivel promedio de desgaste en los sistemas de bombeo, la disminución de eficiencia electromecánica, el comportamiento del índice energético y particularmente importante, el nivel de sobreexplotación de los



pozos monitoreados. De esta forma, el presente trabajo muestra una comparativa de estos indicadores considerando los dos años de aplicación del sistema, así como la diferencia anual del volumen extraído estimado contra el volumen concesionado. Los resultados permitieron detectar las desventajas en la aplicación del índice energético como método indirecto de medición masiva de las extracciones, así como también una cuantificación somera del problema de la sobreexplotación de los acuíferos en el estado de referencia.

## **Marco legal**

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos establece en el artículo 27 que las aguas son propiedad de la Nación. Sin embargo, como cualquier otro recurso, el agua debe ser administrada, razón por la cual se creó la Ley de Aguas Nacionales (LAN), la cual regula el aprovechamiento de las aguas nacionales, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable. La citada ley en su artículo 22 señala que, para el otorgamiento de una concesión o asignación, debe tomarse en cuenta la disponibilidad media anual del agua del acuífero y que la misma deberá revisarse al menos cada tres años. El artículo 19bis señala que es la CONAGUA la institución con la atribución de realizar periódica y prioritariamente los estudios para ampliar el conocimiento de la ocurrencia del agua en el ciclo hidrológico. Para tal efecto, la CONAGUA emitió el 5 de diciembre del 2001 el “Acuerdo por el que se establece y da a conocer al público la denominación única de los acuíferos reconocidos en el territorio de los Estados Unidos Mexicanos” (SEMARNAT, 2001), lo cual permitió identificar y utilizar a los acuíferos en la emisión de títulos de concesión, asignación o permisos de explotación de agua. El método de estimación para la disponibilidad media anual, por otro lado, se estableció en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000 publicada el 17 de abril del 2002 (SEMARNAT, 2002), actualizada el 27 de marzo de 2015 como Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015 (SEMARNAT, 2015).

Finalmente, se debe considerar también lo indicado en la Ley Federal de Derechos 2014, que en sus artículos 223 y 231 establece el cobro por explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales, en base a la zona de disponibilidad. Las zonas de disponibilidad son publicadas cada año, siendo la vigente este año la publicada el 2 de abril del 2015. La misma Ley establece en sus artículos 192-E y 230-A que la CONAGUA cuenta con atribuciones en materia de administración, determinación, liquidación, cobro, recaudación y fiscalización en materia del derecho por el uso, explotación o aprovechamiento de aguas nacionales.



## Materiales y métodos

### El índice energético

El índice energético (IE) se define como la cantidad total de energía consumida por unidad de producto fabricado o servicio ofrecido (CONUEE, 2009), y su forma de cálculo se muestra en la ecuación 1. Las unidades de ETC y UP dependerán del sistema y el contexto en el cual sea determinado el índice. De esta forma, ETC puede ser medido en vatios por hora (Wh), en Joules (J) o ergios. Por otro lado, la unidad de producción UP está relacionada con el tipo de bien o servicio producido.

$$IE = \frac{ETC}{UP} \quad (1)$$

Donde:

ETC    Energía total consumida.  
UP    Unidad de producción

El indicador IE se utiliza para monitorear y evaluar las acciones de ahorro energético que se apliquen a un proceso o equipo. Los datos de IE sirven para establecer los límites de control del consumo de energía en la empresa o unidad de servicio (CONUEE, 2009). Cada unidad de servicio tiene un perfil de consumo diferente, así como diversas unidades de producción, por lo que se debe elegir un indicador que represente de manera efectiva la relación entre el consumo de energía y la cantidad de producto obtenido o servicio brindado.

En el caso particular del agua extraída de pozos, el indicador IE toma la siguiente forma (Ecuación 1):

$$IESB = \frac{ETCE}{VTP} \quad (1)$$

Donde:

IESB    Índice energético del sistema de bombeo (kWh/m<sup>3</sup>)  
ETCE    Energía total consumida por los equipos de bombeo ( kWh/año)  
VTP    Volumen total producido en captaciones (m<sup>3</sup>/año)

Este indicador, expresado en kWh/m<sup>3</sup>, representa la relación entre la energía utilizada por un sistema de riego para producir la cantidad de agua necesaria para un cultivo durante un año o un periodo de referencia. El IESB se calcula dividiendo el total de la energía consumida por todos los equipos que integran el sistema de riego, en kilowatt-hora en un determinado año, entre el total del agua producida en la captación del agua subterránea en el mismo periodo de tiempo. En el caso particular de volúmenes subterráneos extraídos por motores eléctricos, la energía utilizada se refiere al consumo del sistema de bombeo de pozo profundo sumergible o de turbina de flecha, según sea el caso (Campos, 2002). Alternativamente, el indicador se puede calcular de manera puntual, utilizando el gasto instantáneo y la potencia activa registrada en el arrancador (Ecuación 2):

$$IE = \frac{Q}{P_a} \quad (2)$$

Donde:

Q Es el caudal expresado en metros cúbicos por hora (m<sup>3</sup>/h)  
Pa es la potencia activa en kilovatios (kW)

Así, para obtener una estimación del volumen de agua extraído en el período, sólo se multiplica el inverso del índice IE por la energía consumida en un determinado período, obteniendo el dato en unidades de volumen (m<sup>3</sup>). En el caso de unidades de riego, el período de referencia puede ser un año, lo que permitiría comparar el volumen extraído contra el volumen concesionado, determinando de esta manera si se ha excedido la concesión.

### Caso de estudio

El estado de Zacatecas se encuentra localizado al centro-norte de México (Figura 1). Es uno de los estados con mayor cantidad de extracciones subterráneas (1,125.68 hm<sup>3</sup>), sólo después de Guanajuato, la Ciudad de México y Chihuahua. Actualmente, el 86% del volumen extraído se utiliza con fines agrícolas, y el resto para uso público, urbano e industrial (SEMARNAT, 2012). Lamentablemente, el estado padece una grave sobreexplotación, pues de sus 34 acuíferos, únicamente 8 cuentan con disponibilidad de agua. Destacan en esta problemática los acuíferos Aguanaval, Calera, Chupaderos y Loreto presentando en conjunto una sobreexplotación superior a los 200 millones de metros cúbicos anuales (SEMARNAT, 2012).



Figura 1. Estado de Zacatecas

Dada la importancia del bombeo, a partir del año 2013, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) ha implementado en el Estado de Zacatecas el Programa de Rehabilitación, Modernización, Tecnificación y Equipamiento de Unidades de Riego (PMTEUR). Este programa forma parte de las estrategias para enfrentar el reto



de la sustentabilidad de los recursos hídricos, y contempla la sustitución de 5 mil pozos y la modernización de los canales de conducción de agua en las unidades de riego agrícola en el estado de Zacatecas, diferido a cinco años, en beneficio de 40 mil productores. A mediados del año 2016, se tenían en total 2003 pozos beneficiados (Franzely, 2016). La relevancia del programa PMTEUR en el presente trabajo es radica en la información que dicho programa maneja. El marco de la ejecución del PMTEUR, dicho programa establece que debe realizarse una prueba de eficiencia electromecánica a la entrega de los equipos modernizados. Las pruebas de eficiencia electromecánica proporcionan entre sus datos de salida los parámetros necesarios para calcular el índice energético (Ecuación 1), dato necesario para la estimación indirecta de los volúmenes bombeados.

### **Metodología**

El monitoreo de los acuíferos y la aplicación masiva del IE para fines de verificación de extracción volumétrica requiere de una infraestructura informática que permita registrar las extracciones a nivel de pozo. Con estos fines, el IMTA desarrolló el Sistema de Información de Extracciones Volumétricas en Acuíferos (SIEVA), desarrollado por el IMTA durante el año 2015, integra las bases de datos de los volúmenes disponibles y concesionados de los acuíferos de todo el país, agrupando totales por organismo de cuenca, entidad federativa y municipio, mostrando la información en mapas georreferenciados. SIEVA permite acceder a la información de los volúmenes extraídos, concesionados y de recargade todos los acuíferos de país de manera flexible y organizada, clasificando los totales por grupos de interés. Las bases de datos que integra el SIEVA y una descripción completa de la aplicación se puede encontrar en (González Sánchez, González Casillas, & Rodríguez Rosales, 2015).

La metodología general para la aplicación del SIEVA comprende las siguientes etapas:

- a) Obtención de parámetros para el cálculo del índice energético. Implica la obtención de parámetros de consumo de energía para el cálculo de la potencia activa y la medición del caudal. Generalmente se obtienen a través de una prueba de eficiencia electromecánica.
- b) Obtención de datos de consumos energéticos (kWh). Lo ideal es obtener esta información a través de la empresa que realiza el cobro por el consumo de energía eléctrica. En la aplicación piloto del sistema SIEVA, este dato se obtiene por consulta directa del usuario de la unidad de riego por medio de su recibo de pago del servicio de energía eléctrica. El recibo incluye un registro histórico con las lecturas de los últimos 12 meses.
- c) Ingreso de datos en el sistema. Implica la captura de los datos de identificación de la unidad de riego, el índice energético y los consumos eléctricos. La identificación sólo es necesaria cuando la unidad de riego no existe en el sistema.

La metodología fue aplicada en unidades de riego del Estado de Zacatecas los años 2015 y 2016. La etapa 2015 inició con la selección de 80 unidades de riego, que fueron tomadas de la información 1007 expedientes técnicos de unidades de riego beneficiadas por el programa PMTEUR. Las 80 unidades se distribuyeron en 6 acuíferos, tal y como lo muestra la Tabla 1.

**Tabla1.** Número de unidades de riego analizadas por acuífero

Acuífero	Año de modernización PMTEUR			Total general
	2013	2014	2015	
<b>Aguanaval</b>	1			1
<b>Calera</b>	9	18	10	37
<b>Chupaderos</b>	3	10	6	19
<b>La Blanca</b>	3		2	5
<b>Loreto</b>	10		6	16
<b>Ojocaliente</b>			2	2
<b>Total general</b>	26	28	26	80

Las pruebas de eficiencia electromecánica estuvieron a cargo de una empresa especializada. En la elaboración de las pruebas se empleó sonda eléctrica para la medición de niveles (Figura 2a), manómetro de tipo Bourdon para la medición de la presión a la descarga y medidor de flujo ultrasónico para la medición del caudal (Figura 2b), entre otro equipo requerido. A la empresa se le proporcionaron formularios en formato de hoja de cálculo electrónica para hacer la captura de resultados, lo que facilitó su análisis e incorporación a la base de datos de la aplicación SIEVA.



**Figura 2.** Obtención de datos en campo para el cálculo del índice energético. Medición del nivel estático y dinámico (izquierda); medición de flujo con medidor ultrasónico (derecha).

La realización de las pruebas de eficiencia se llevó a cabo en los meses de junio a agosto. Para la captura del dato de energía eléctrica, se utilizó el recibo que proporciona el proveedor de electricidad al usuario de la unidad de riego, el cual incluye el historial de consumo mensual del último año, comenzando en el mes de cobro. Esto permitió estimar los consumos volumétricos mensuales para un año



en cada unidad. Sin embargo, no pudo ser completado un año fiscal, dados los tiempos en los que fueron realizadas las pruebas de eficiencia electromecánica. Contar con los registros de los consumos de un año es importante, ya que permite obtener una estimación de extracciones en un año y su comparación con el volumen concesionado (establecido como un límite anual).

Dadas estas necesidades, durante el año 2016 se emprendió una segunda serie de pruebas de eficiencia y la obtención de registros de consumos de energía eléctrica actualizados. La metodología fue similar a la utilizada en el año 2015, incluyendo el equipo de trabajo y los instrumentos utilizados. En este segundo año de evaluación se tomó la precaución de revisar las características de cada sistema de bombeo, con el fin de compararlas contra los del año 2015. Esto permitió detectar cambios en los sistemas de bombeo que pudieron generar condiciones desiguales en la comparación y arrojar información inconsistente. Los resultados obtenidos se describen en la siguiente sección.

## Resultados

Para facilitar la descripción de los resultados, en esta sección se utilizan las siglas EEP1 para hacer referencia a los resultados obtenidos por la primera prueba electromecánica, realizada en el año 2015, y las siglas EEP2 para hacer referencia a los resultados de la prueba electromecánica obtenidos durante en el año 2016. La tabla 2 muestra la cantidad de equipos agrupados por su resultado en la prueba de eficiencia electromecánica, considerando cuatro rangos (menor al 40%, del 40 al 50%, del 50 al 60% y mayor al 60%). Como se puede observar, existieron movimientos entre los grupos en la segunda prueba, denotando una disminución de eficiencia en la EEP2.

**Tabla 2.** Clasificación de equipos por resultados en su prueba de eficiencia electromecánica

Rangos de eficiencia electromecánica	Equipos en la EEP1 2015	Equipos en la EEP2 2016
< 40 %	12	14
40-50 %	36	32
50-60 %	24	28
> 60 %	8	6
<b>Total</b>	80	80

En adición, se hizo una comparación tomando en cuenta el año de modernización de los equipos, acorde al registro del PMTEUR. Para realizar una comparación más realista, se excluyeron las unidades de riego que presentaron cambios de configuración del sistema de bombeo en el tiempo transcurrido entre las dos pruebas, y que fueron registrados al realizar la EEP2. Algunos de los cambios detectados fueron, por ejemplo: sustitución de la bomba por mal funcionamiento, cambio de transformador o variación de la profundidad de bombeo. En total, se quedaron 54 equipos en la comparación, cuyos valores promedios de eficiencia



electromecánica se muestran en la tabla 3. Como se puede observar, en esta segunda comparación se presenta una relación respecto al comportamiento de la eficiencia, donde equipos modernizados en años anteriores al 2015 presentan una diferencia más alta. La diferencia promedio anual es de 2.04%.

**Tabla 3.** Diferencias de eficiencias electromecánicas para los equipos de bombeo evaluados

Año de modernización PMTEUR	Cantidad de equipos considerados	Eficiencia electromecánica (%)		
		EEP1 (2015)	EEP2 (2016)	Diferencia (%)
2013	16	49.17	46.17	-3.00
2014	20	48.69	46.07	-2.62
2015	18	47.24	46.73	-0.52
<b>Total</b>	54	48.35	46.32	-2.04

La tabla 4 muestra las diferencias en el índice energético y el caudal. Para el caso del índice energético, el incremento promedio es del 0.05 kWh/m<sup>3</sup> (2.76%), siendo del 3.85% para los equipos modernizados en el año 2013 (columnas 4 y 5). Relacionado con el índice, el gasto, también ha sufrido modificaciones, pues en promedio ha disminuido -1.17 lps (6.66%) desde la prueba realizada en el año 2015 (últimas dos columnas en la tabla 4).

**Tabla 4.** Diferencias de índices energéticos y caudales para equipos de bombeo evaluados por el IMTA

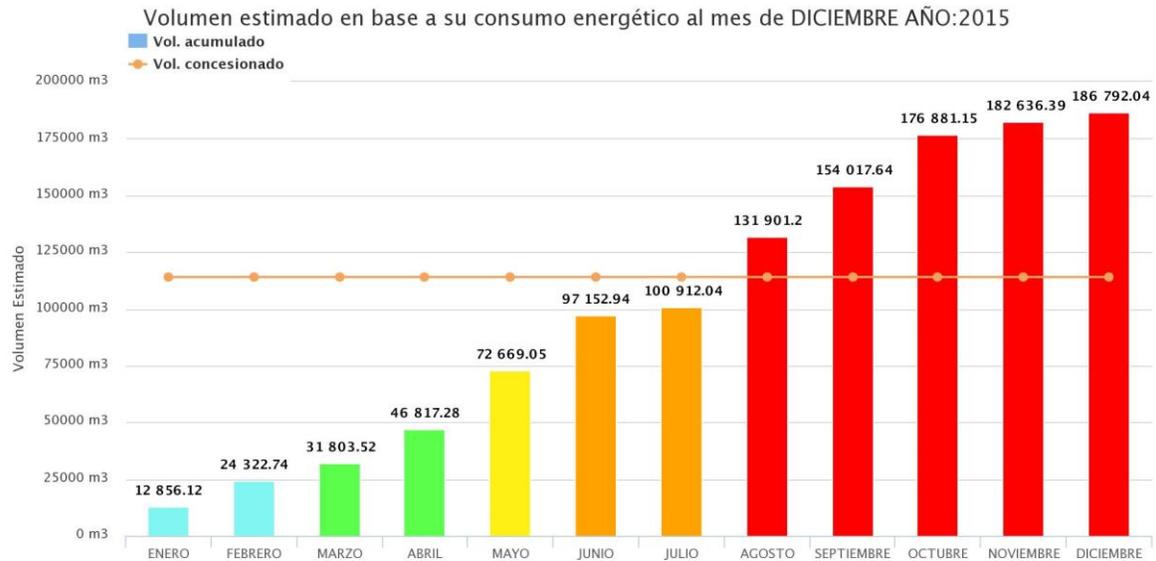
Año de modernización	Índice energético (kWh/m <sup>3</sup> )				Gasto (lps)			
	EEP1 (IMTA 2015)	EEP2 (IMTA 2016)	Diferencias		EEP1 (IMTA 2015)	EEP 2(IMTA 2016)	Diferencias	
			kWh/m <sup>3</sup>	(%)			lps	(%)
2013	0.64	0.67	0.02	3.85	18.32	16.7	-1.62	-9.54
2014	0.71	0.75	0.04	2.69	16.2	15.06	-1.13	-8.1
2015	0.66	0.75	0.09	1.87	15.28	14.53	-0.76	-2.48
<b>Total</b>	0.67	0.73	0.05	2.76	16.52	15.37	-1.17	-6.66

La actualización de la información del índice energético y los consumos eléctricos en SIEVA de las 54 unidades de riego permitió estimar el volumen extraído en un año y comparar contra el volumen concesionado. El SIEVA genera gráficas individuales para mostrar esta comparación, como la que se muestra en la figura 3, donde se puede apreciar el momento en que las extracciones de un usuario exceden su volumen concesionado, que, para el ejemplo de la figura, fue el mes de agosto. La cantidad en el mes de diciembre muestra el volumen total extraído para el año 2015.

Un análisis grupal del volumen extraído permite obtener el porcentaje de usuarios que excedieron la concesión. En total, se encontraron 13 unidades de las 54 (24.52%) con extracciones anuales por encima de la concesión. Estos excesos



fueron con valores del 20.36% hasta un 292.08%. En promedio, se tiene una sobre-extracción del 102.72%. Esta información se muestra en la Tabla 5.



**Figura 3.** Comparación de volumen extraído y volumen concesionado para un usuario en particular

**Tabla 5.** Unidades de riego con extracciones acumuladas anuales superiores al volumen concesionado

Folio	Volumen concesionado (m <sup>3</sup> )	Volumen estimado SIEVA 2015 (m <sup>3</sup> )	Sobre-explotación (%)
2013-165	120,000.00	470,498.04	292.08
2013-503	216,000.00	259,971.81	20.36
2013-52	120,000.00	180,176.07	50.15
2013-84	48,000.00	164,056.25	241.78
2014-252	100,000.00	147,551.83	47.55
2014-278	240,000.00	421,676.20	75.70
2014-310	168,000.00	324,518.26	93.17
2014-311	60,000.00	132,176.66	120.29
2014-394	120,000.00	199,914.79	66.60
2014-485	30,000.00	80,025.20	166.75
2015-103	27,000.00	36,896.80	36.65
2015-20	90,000.00	122,939.58	36.60
2013-178	66,000.00	123,861.33	87.67
		Total (promedio)	102.72



## Conclusiones

El índice energético ofrece una alternativa viable para la estimación indirecta de las extracciones de agua subterránea. Sin embargo, aún existen muchos retos involucrados en su aplicación masiva y la obtención indirecta de los niveles de sobreexplotación. Como se pudo detectar, los equipos de bombeo cambian en sus características físicas de un año para otro en un gran porcentaje. En el trabajo realizado, se detectó que el 32.5% de los equipos de bombeo se ven afectados en algunos de sus componentes principales en un lapso menor a los dos años. Estos componentes pueden ser el transformador, el motor, la bomba o las columnas. En adición, los esquemas de operación de los sistemas de bombeo también pueden alterar el gasto. Estos factores producen diferencias en los índices energéticos y dificultan la aplicación del mismo índice dos años consecutivos, haciendo necesaria la repetición de la toma de parámetros en campo y los cálculos.

Por otro lado, el sistema de bombeo también cambia como consecuencia de desgaste producido por el paso del tiempo, afectando la estimación del índice. Una forma de lidiar con esto sin tener que repetir las mediciones en campo es por medio de un factor de incremento, que en el presente trabajo fue calculado en 2.76%. Queda pendiente para trabajos futuros hacer una revisión más profunda del comportamiento de este factor, pues evidentemente éste no puede ser constante.

Como se observa, el porcentaje de pozos sobreexplotados en la muestra seleccionada es bastante alto. De las unidades de riego que estuvieron en condiciones de ser evaluadas (54), se calculó que el 24% presentan sobreexplotación del volumen concesionado, por un valor acumulado total de 1.259 millones de metros cúbicos, lo que en promedio representa la extracción de más del doble de su concesión. Esto revela la necesidad de continuar la búsqueda de esquemas de medición y control masivo de las extracciones, pues se trata de un problema que va en aumento, y que pone en riesgo el uso sustentable de los recursos naturales.

Respecto a la herramienta SIEVA, se observa que este sistema proporciona una metodología alternativa para la supervisión y control de las extracciones de agua en los acuíferos, la cual puede aplicarse de manera masiva. El sistema ofrece múltiples opciones para obtener el dato del volumen extraído, siendo el índice energético la opción que se puede utilizar de forma masiva sin necesidad de adquirir o instalar equipamiento extra. Estas cualidades favorecen el uso de SIEVA como una herramienta para la toma de decisiones y el establecimiento de políticas control en las extracciones, las cuales permitan conformar a largo plazo un régimen de aprovechamiento rígido y sustentable de los recursos hídricos subterráneos.



## 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. (2015, abril 20). 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*. Recuperado a partir de [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5389380&fecha=20/04/2015](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5389380&fecha=20/04/2015)
- CONAGUA. (2016). *Estadísticas del Agua en México*. Ciudad de México: SEMARNAT. Recuperado a partir de [http://201.116.60.25/publicaciones/EAM\\_2016.pdf](http://201.116.60.25/publicaciones/EAM_2016.pdf)
- CONUEE. (2009). Medición y registro de la energía en las pequeñas y medianas empresas.
- 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>
- Franzely, R. (2016, julio 10). Modernización de unidades de riego beneficia a 10 mil familias. *NTR Zacatecas*. Recuperado a partir de <http://ntrzacatecas.com/2016/07/10/modernizacion-de-unidades-de-riego-beneficia-a-10-mil-familias/>
- 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.
- González Sánchez, A., González Casillas, A., & Rodríguez Rosales, J. M. (2015). Sistema de Información de Extracciones Volumétricas en Acuíferos (SIEVA). En *I Congreso Nacional COMEII 2015*. Jiutepec, Morelos: COMEII.
- 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.
- SEMARNAT. (2001, diciembre 5). Acuerdo por el que se establece y da a conocer al público en general la denominación única de los Acuíferos reconocidos en el territorio de los Estados Unidos Mexicanos, por la Comisión nacional del Agua, y La Homologación de los nombres de los Acuíferos . *Diario Oficial de la Federación*.
- SEMARNAT. (2002, abril 17). NORMA Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000. 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*.



- SEMARNAT. (2012). Programa de Acciones y Proyectos para la Sustentabilidad Hídrica Visión 2030. Zacatecas, Zacatecas: Dirección Local Zacatecas.
- SEMARNAT. (2015, marzo 27). NORMA Oficial Mexicana 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*. Recuperado a partir de [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5387027&fecha=27/03/2015](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5387027&fecha=27/03/2015)
- SENER. (2011). Estudio de Sistemas de Bombeo Agropecuarios en México. México, D. F.: Comisión Nacional Para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE).