

**IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE**
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.

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

Alberto González Sánchez
Arturo González Casillas
José Ángel Guillén González

Fecha 16/octubre/2018



AGUASCALIENTES
GOBIERNO DEL ESTADO
Contigo al 100

SEDRAE
SECRETARÍA DE DESARROLLO RURAL
Y AGROEMPRESARIAL

SEMARNAT

SECRETARÍA DE
MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS NATURALES

CONAGUA

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

SAGARPA

SECRETARÍA DE AGRICULTURA,
GANADERÍA, DESARROLLO RURAL
PESCA Y ALIMENTACIÓN



inirap
Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES**



AMERD
ASOCIACIÓN MEXICANA DE EMPRESAS DE RIEGO Y DRENAJE, S.C.



SM GEODIM
MODELOS DE INFORMACIÓN DE LA TIERRA



IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



INTRODUCCIÓN

- Los acuíferos aportan 35.9% del agua anual utilizada en la agricultura, y el 38.9% para otros usos consuntivos
- En las últimas décadas se ha intensificado el uso de agua subterránea para actividades de agricultura
- Esto ha causado la sobreexplotación del recurso



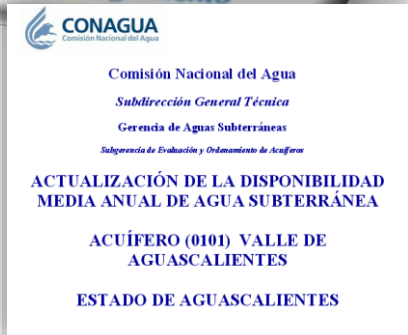


IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



INTRODUCCIÓN

- CONAGUA ha realizado estudios de disponibilidad de agua y su capacidad de recarga (DOF 20/04/2015, 04/01/2018), que son base para el otorgamiento o limitación de títulos de concesión
- En la práctica no hay un mecanismo de monitoreo a nivel de pozo que permita verificar los títulos sean respetados
- Problemas con la medición directa: ausencia de medidores, personal dedicado a las lecturas, falta de interés por parte del productor



PROBLEMÁTICA

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).





IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



ALTERNATIVA

- Una alternativa a la medición directa en campo se encuentra en el uso del índice energético (IE)
- Representa la relación entre la energía utilizada por un sistema de bombeo para producir la cantidad de agua necesaria para riego durante un periodo de referencia (CONUEE, 2011)

$$IE = \frac{\text{Energía total consumida por los equipos } \left(\frac{kWh}{\text{año}}\right)}{\text{Volumen total extraído } (m^3/\text{año})}$$

(kWh/m³)



IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



PROBLEMÁTICA

- El índice puede presentar variaciones a lo largo del tiempo dados los cambios de presión del sistema de distribución del agua hacia la parcela
- Esto afecta 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



IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



PROPUESTA

- Realizar en 2017 cinco estimaciones de índices energéticos y pruebas de eficiencia electromecánica a seis unidades de riego, repartidas en un período de tiempo de dos meses
- Los resultados obtenidos miden 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.



**IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE**
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



Material es y métodos



**IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE**
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



Materiales y Métodos

- **Selección y localización de las unidades de riego**
- **Estimación del índice energético y eficiencia electromecánica**
 - **Medición del gasto**
 - **Medición de corriente, voltaje y factor de potencia**
 - **Registro de parámetros y cálculo de la eficiencia electromecánica**
- **Obtención de estadísticos**



IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



Selección y localización de las unidades de riego

- Se seleccionó el acuífero de Calera, Zacatecas que presenta un alto nivel de sobreexplotación
- Aquí están localizados 32 pozos de los que ya se contaba con información dados proyectos anteriores realizados por el IMTA (80 pozos)
- Se seleccionaron equipos con gastos mayores a 8 litros por segundo, con más de 50 metros de profundidad, un diámetro de 4 y 6 pulgadas en tubería de succión y un medidor volumétrico en buen estado

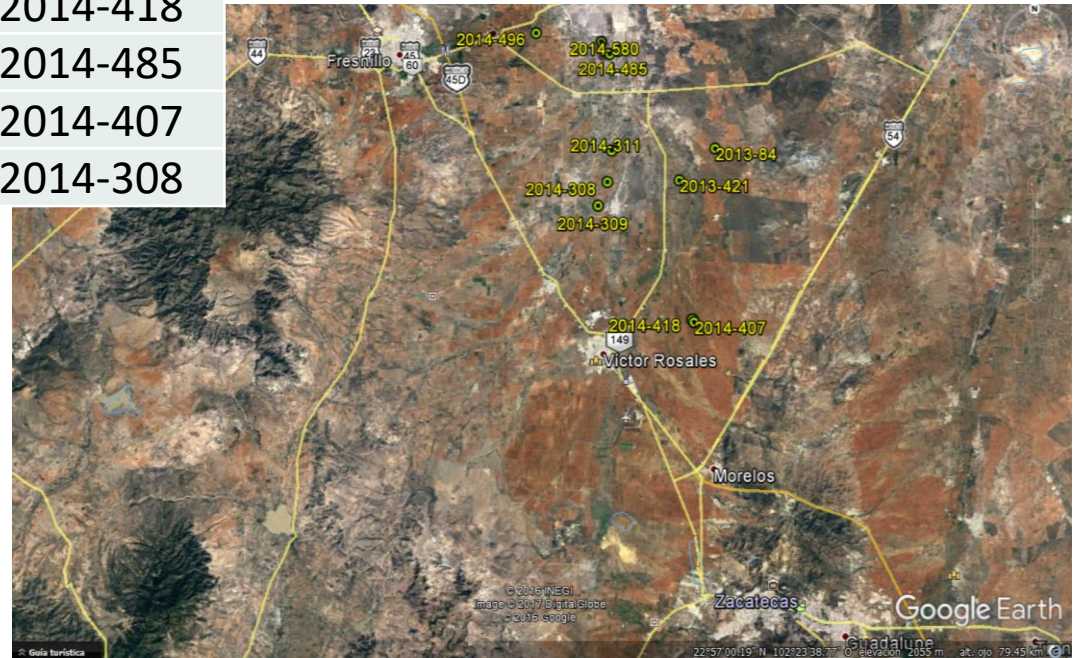


**IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE**
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



Selección y localización de las unidades de riego

No.	Unidad de Riego	Municipio	Folio
1	Casa Blanca	Fresnillo	2014-496
2	El Cedro	Calera	2014-311
3	El Mirador	Calera	2014-418
4	Rancho Angelica	Fresnillo	2014-485
5	San José	Calera	2014-407
6	Toribio 38	Calera	2014-308





IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



Estimación del índice energético y eficiencia electromecánica

- El método utilizado está fundamentado en la Norma Oficial Mexicana NOM-006-ENER-2015
- Establece 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 no alcance una eficiencia mayor al 40% será necesario rehabilitarlo para reducir su consumo de energía, además de evitar pagar por un consumo excesivo e improductivo.



IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



Procedimiento de NOM-006- ENER-2015

- Medición de los niveles de bombeo y presión de carga: requiere 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.
- 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.

Medición de niveles de bombeo, presión de descarga y gasto

- Sonda carrete con cable POT calibre 18 de 200 m de longitud, galvanómetro y switch
- La medición de la presión de descarga se realizó con un manómetro tipo Bourdon
- La medición del gasto se hizo con un medidor ultrasónico.



Medición de corriente, voltaje y factor de potencia

- Se utilizó un analizador de corriente Modelo 3910 marca AEMC Instruments
- 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





IV CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE

Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



Registro de parámetros y cálculo de la eficiencia electromecánica

- Los parámetros eléctricos, niveles de bombeo, presión y el gasto medidos en campo fueron registrados en una hoja de cálculo que tiene programado el procedimiento de estimación de la eficiencia electromecánica (NOM-006- ENER-2015)



SISTEMA DE INFORMACIÓN DE EXTRACCIONES VOLUMÉTRICAS EN ACUÍFEROS (SIEVA)

PRUEBAS DE EFICIENCIA ELECTROMECÁNICA (FORMATO FPEE v2, Página 1)

Unidad de Riego: **PREDIO CASA BLANCA** Folio: **2014-496**
 Título de concesión: **03ZAC102232/37AMGE98** Anexo: **2.1** Número de prueba (1-5): **2**
 Titular: **LEOPOLDO ESCOBEDO CAMACHO** Fecha (dd/mm/aaaa): **27/07/2017**
 Latitud: **23°11' 27.7"** Longitud: **102° 44' 59.1"**

DATOS DE PLACA DE LA BOMBA

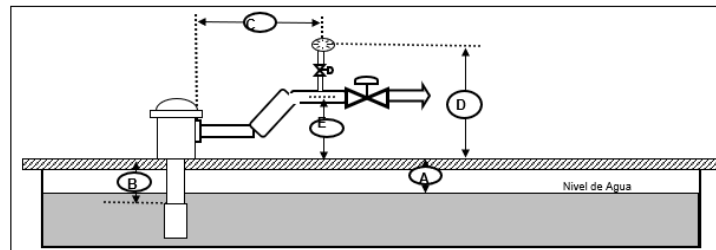
rpm: **n/v** F.S.: **n/v**

MEDICIONES ELECTRICAS

No.	TENSIÓN ENTRE FASES (V)			CORRIENTE POR FASE (I)			FACTOR DE POTENCIA (adim)			Potencia real (Kw)	Potencia aparente (KVA)	Potencia reactiva (KVAR)
	V _{A-B}	V _{B-C}	V _{A-C}	I _A	I _B	I _C	F _{PA}	F _{PB}	F _{PC}			
1	409.00	410.00	480.00	36.70	36.94	36.98	0.86	0.85	0.85	22.53 Kw	26.20 KVA	13.30 KVAR
2	409.00	410.00	480.00	36.71	36.92	36.96	0.86	0.85	0.85	22.64 Kw	26.46 KVA	13.75 KVAR
3	409.00	410.00	480.00	36.78	36.91	36.97	0.86	0.85	0.85	22.65 Kw	26.55 KVA	13.70 KVAR

MEDICIONES DE PARÁMETROS HIDRAULICOS

Nivel Estático(A): **N/D** (m) Longitud de tubería en succión (B): **70.00 m** (m)
 Longitud tubería en descarga (C): **6.15 m** (m) Altura manómetro de descarga (D): **0.12 m** (m)
 Altura tubería en descarga (E): **0.57 m** (m)



Succión:
 Diámetro (m): **0.1016 m**
 Material: **FoFo**

Descarga:
 Diámetro (m): **0.1016 m**
 Material: **FoFo**

Profundidad del pozo: **80**

Carga adicional: **N/A**



**IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE**
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



Fechas de aplicación de las pruebas

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



**IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE**
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



Resultados



**IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE**
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



Variación del índice energético

Folio	2017									
	1ra	2da	3ra	4ta	5ta	Promedio 2017	Desviación estándar	% de variación respecto a la media		
								Desviación	Mínimo	Máximo
2014-496	0.4171	0.4240	0.4188	0.3558	0.3737	0.398	0.0310	7.80	10.58	6.57
2014-311	0.7332	0.6335	0.6550	0.6035	0.6087	0.647	0.0525	8.12	6.70	13.36
2014-418	1.2107	1.1216	1.2220	1.0650	1.0609	1.136	0.0772	6.80	6.61	7.57
2014-485	0.3830	0.4298	0.3946	0.4326	0.4608	0.420	0.0314	7.46	8.84	9.67
2014-407	1.0706	1.0273	1.1862	1.1499	1.0773	1.102	0.0643	5.84	6.80	7.61
2014-308	0.6000	0.6341	0.6304	0.6223	0.5924	0.616	0.0186	3.02	3.80	2.96
						0.72	0.05	6.51	7.22	7.96

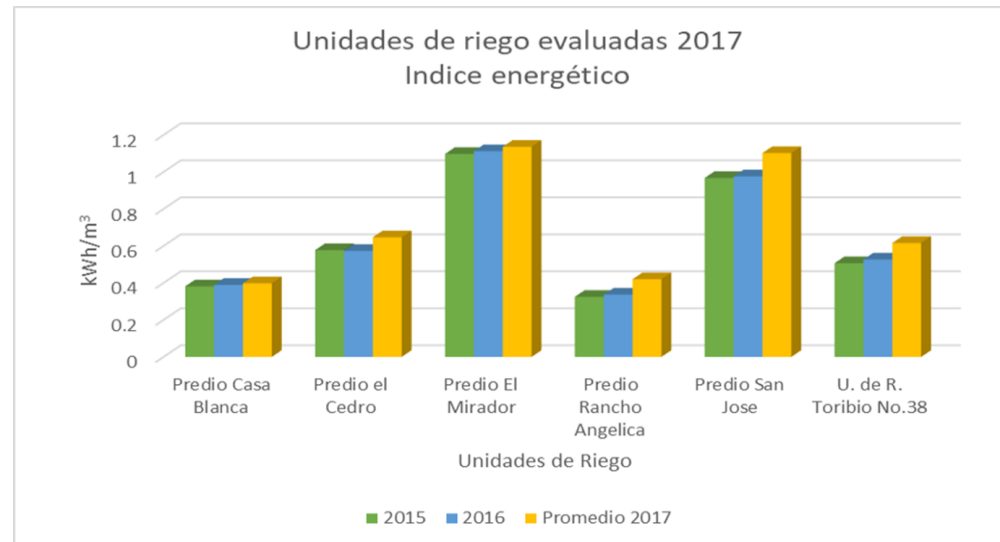


**IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE**
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



Variación del índice energético

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
				6.48





**IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE**
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



Variación de la eficiencia electromecánica

Folio	2017									
	1ra	2da	3ra	4ta	5ta	Promedio 2017	Desviación estándar	% de variación respecto a la media		
								Desviación	Mínimo	Máximo
2014-496	39.84	40.25	43.21	35.99	32.85	38.43	4.04	10.51	14.51	12.45
2014-311	42.36	48.75	48.90	48.17	51.50	47.93	3.37	7.04	11.64	7.44
2014-418	40.81	47.48	40.92	46.23	46.38	44.36	3.23	7.28	8.02	7.02
2014-485	49.66	42.51	38.04	40.55	38.55	41.86	4.70	11.24	9.12	18.63
2014-407	44.48	46.15	40.54	41.72	45.14	43.61	2.38	5.45	7.03	5.84
2014-308	50.22	46.76	47.27	48.78	49.31	48.47	1.43	2.96	3.53	3.61
						44.11	3.19	7.41	8.98	9.16

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
				8.295

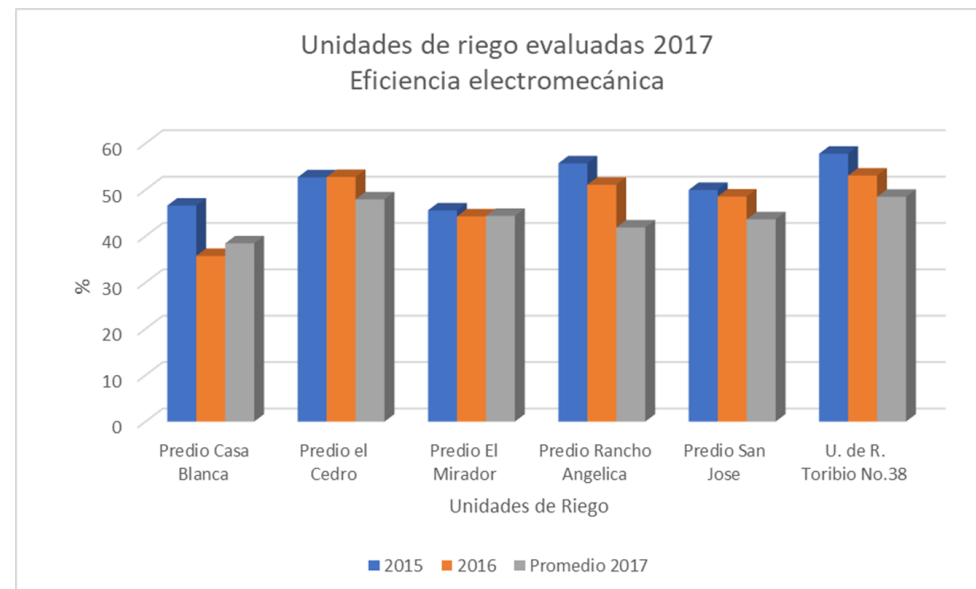


**IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE**
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



Variación de la eficiencia electromecánica

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
				8.295



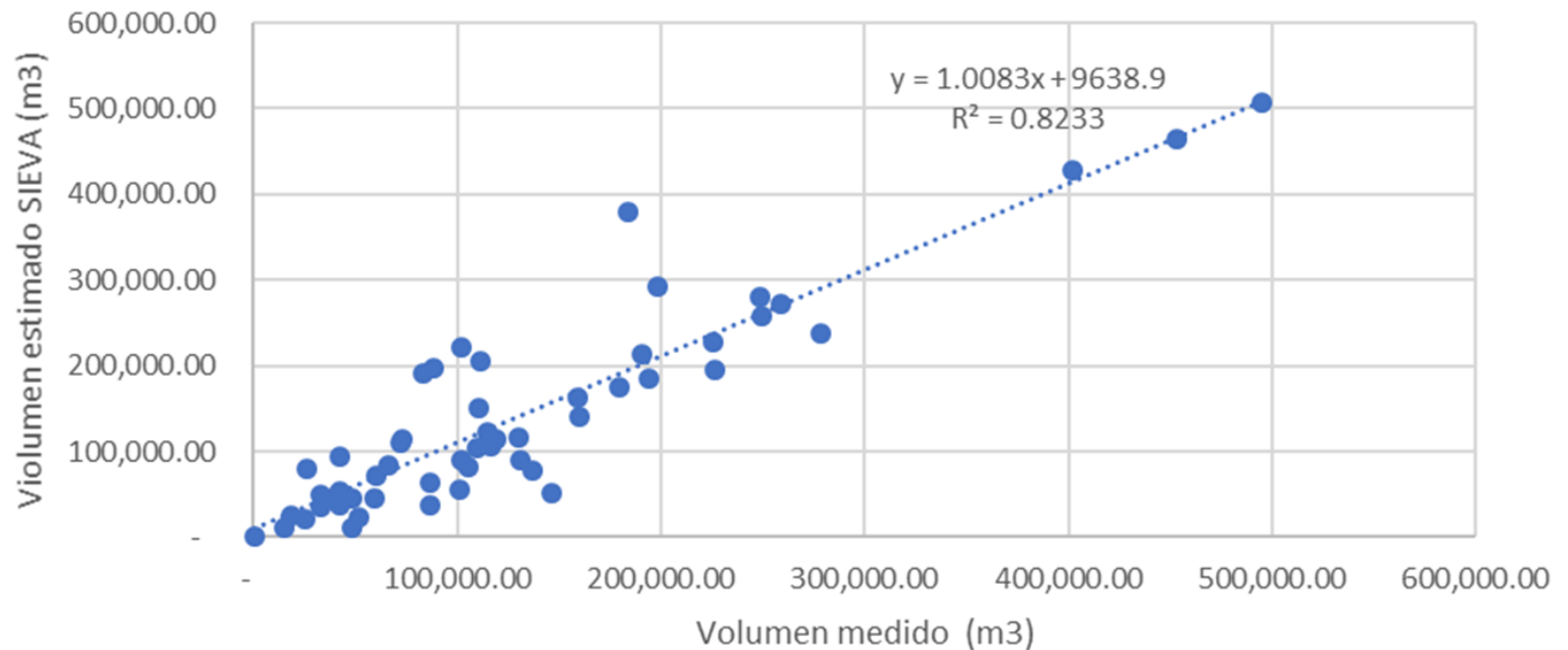


IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



Aplicación

Volumen medido y volumen estimado (períodos de 2015-2016)





IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



Conclusiones

- 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,
 - Condiciones: 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.
- 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



**IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE**
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



Conclusiones

- **Se obtiene información de extracciones de forma más consistente usando el índice energético promedio calculado con datos a lo largo del ciclo agrícola.**
- Los pozos analizados presentan disminuciones en sus gastos promedio en los años 2016 y 2017
 - Requiere un análisis más profundo determinar la causa (sobrexplotación-abatimiento, condiciones ambientales disminución de la eficiencia)
- Se observa una relación lógica con el índice energético, que se ha incrementado, y la eficiencia electromecánica que ha disminuido.

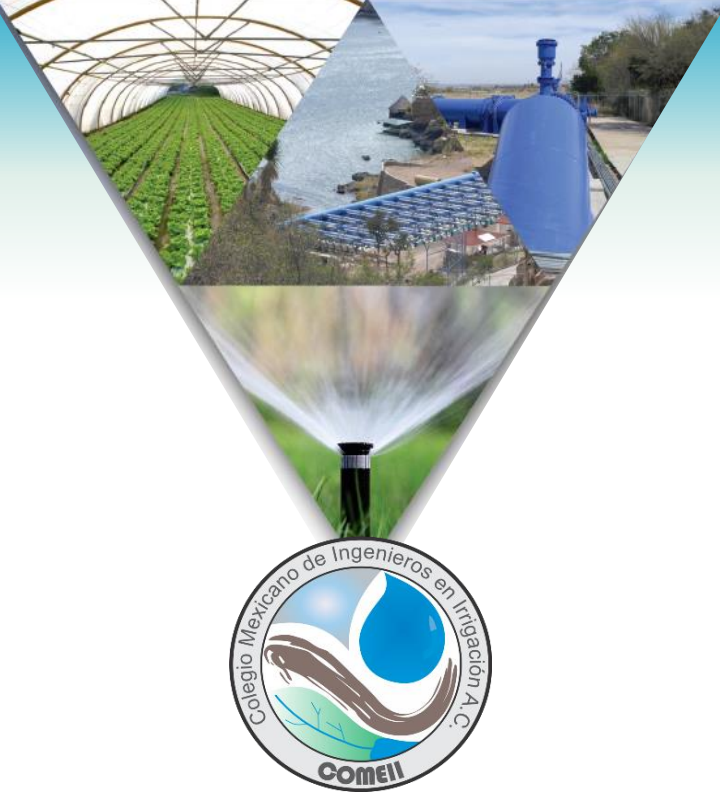


IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



Bibliografía

- 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.



Gracias

ALBERTO GONZÁLEZ SÁNCHEZ
INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
COORDINACIÓN DE RIEGO Y DRENAJE
ALBERTO_GONZALEZ@TLALOC.IMTA.MX

