

Uso de Redes Inteligentes para el Monitoreo de Extracciones en Sistemas de Bombeo Agrícola



RD1717.1

Diciembre 2017

DIRECTORIO

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

Ing. Rafael Pacchiano Alamán

Secretario de Medio Ambiente y Recursos Naturales

INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGIA DEL AGUA

Dr. Felipe I. Arreguín Cortés

Director General

Dr. Nahún Hamed García Villanueva

Coordinador de Riego y Drenaje

Dr. Arturo González Casillas

Subcoordinador de Operación y Mantenimiento de Infraestructura Hidroagrícola

Dr. Alberto González Sánchez

Jefe de Proyecto

M.I. José Ángel Guillén González

Tecnólogo del Agua

M.C. Ramiro Vega Nevares

Tecnólogo del Agua

M.C. Gerardo Ortiz Flores

Tecnólogo del Agua

Ing. Omar Olivar Hernández

Técnico de apoyo

CONTENIDO

1. RESUMEN EJECUTIVO	1
2. INTRODUCCIÓN	4
2.1. Antecedentes	4
2.2. Objetivos	6
2.3. Marco normativo.....	6
3. METODOLOGIA.....	8
3.1. Diseño metodológico	8
3.2. Obtención de información de los pozos, localización geo-referenciada, y volumen concesionado.	8
3.2.1. Selección y localización de las unidades de riego	8
3.2.2. Elaboración de pruebas de eficiencia electromecánica	11
3.2.2.1. Medición de los niveles de bombeo y presión de descarga.....	12
3.2.2.2. Medición del gasto	13
3.2.2.3. Medición de corriente, voltaje y factor de potencia	15
3.2.2.4. Registro de parámetros y cálculo de la eficiencia electromecánica	16
3.2.2.5. Obtención de mediciones volumétricas y consumos de energía en pozos seleccionados	19
3.2.3. Definir el mecanismo de transmisión de datos usando la red inteligente de CFE..	20
4. Resultados	22
4.1. Comportamiento en el tiempo del índice energético y la eficiencia electromecánica de los sistemas de bombeo de seis unidades de riego	22
4.1.1. Descripción de las unidades de riego analizadas	22
4.1.1.1. Unidad de Riego Toribio No. 38 (2014-308).....	22
4.1.1.2. Unidad de Riego Rancho Angélica (2014-485)	26
4.1.1.3. Unidad de Riego El Cedro (2014-311)	30
4.1.1.4. Unidad de Riego el Mirador (2014-418).....	34
4.1.1.5. Unidad de Riego San José (2014-407)	38
4.1.1.6. Unidad de Riego Casa Blanca (2014-496).....	42

4.1.2. Análisis del comportamiento de la eficiencia electromecánica y el índice energético por unidad de riego	46
4.1.2.1. Resultados Unidad de Riego Toribio No. 38 (2014-308)	46
4.1.2.2. Resultados Unidad de Riego Rancho Angélica (2014-485).....	52
4.1.2.3. Resultados Unidad de Riego El Cedro (2014-311).....	58
4.1.2.4. Resultados Unidad de Riego el Mirador (2014-418)	64
4.1.2.5. Resultados Unidad de Riego San José (2014-407).....	70
4.1.2.6. Resultados de la Unidad de Riego Casa Blanca (2014-496)	75
4.1.3. Análisis grupal y comparación con los proyectos 2015 y 2016	80
4.2. Uso de la red de datos de la CFE para la consulta remota de consumos eléctricos de unidades de riego.....	84
5. Conclusiones.....	87
6. Referencias	89
7. Glosario.....	91

ANEXOS

Anexo 1.	Unidades de riego analizadas en los proyectos 2015 y 2016.....	93
Anexo 2.	Volumen extraído y porcentaje de sobre-explotación anuales de unidades de riego analizadas en los proyectos 2015 y 2016.....	96

FIGURAS

Figura 1.1. Acuíferos sobreexplotados	2
Figura 1.2. Disponibilidad de agua en acuíferos.....	2
Figura 3.1. Localización de las unidades de riego seleccionadas para la realización de las pruebas de eficiencia electromecánica.....	10
Figura 3.2 Medición de los niveles de bombeo con sonda eléctrica.....	12
Figura 3.3 Manómetro tipo Bourdon	13
Figura 3.4 Aforo por el método directo.....	14
Figura 3.5 Aforo del gasto por el método de la escuadra	14
Figura 3.6 Medidor de flujo ultrasónico	15
Figura 3.7 a) Analizador de corriente, b) Medición de los parámetros eléctricos	16
Figura 3.8 Formato FPEE v2 P1 Para la realización de pruebas electromecánicas (1ra parte) .	17
Figura 3.9 Formato FPEE v2 P1 Para la realización de pruebas electromecánicas (2da parte)	18
Figura 3.10 Formato FPEE v2 P1 Para la realización de pruebas electromecánicas (última parte)	19
Figura 3.11 Formato FR-C para captura de gastos, consumos volumétricos y consumos de energía.....	20
Figura 4.1. Tren de descarga U. de R. Toribio No. 38.....	23
Figura 4.2. Ubicación del equipo de bombeo y su red de distribución (U. de R Toribio No. 38)	23
Figura 4.3. Tren de descarga del Predio Rancho Angélica.....	27
Figura 4.4. Ubicación del equipo de bombeo y su red de distribución (Predio Rancho Angélica)	27
Figura 4.5. Vista del tren de descarga del Predio el Cedro.....	31
Figura 4.6. Ubicación del equipo de bombeo y su red de distribución (Predio El Cedro).....	31
Figura 4.7. Vista del tren de descarga del Predio el Mirador	35
Figura 4.8. Ubicación del equipo de bombeo y su red de distribución (Predio el Mirador)	35
Figura 4.9. Vista del tren de descarga del Predio San José	39
Figura 4.10. Ubicación del equipo de bombeo y su red de distribución (Predio San José)	39
Figura 4.11. Vista del Tren de descarga del Predio Casa Blanca	43

Figura 4.12. Ubicación del equipo de bombeo y su red de distribución (Predio Casa Blanca) .	43
Figura 4.13. Porcentaje de eficiencia electromecánica en el período 2014- 2017, U. de R. Toribio No.38	49
Figura 4.14. Gasto extraído (lps) en el período 2014- 2017, U. de R. Toribio No.38	49
Figura 4.15. Nivel dinámico obtenido de las pruebas realizadas en los años 2014- 2017, U. de R. Toribio No.38.....	49
Figura 4.16. Presión manométrica medida a la descarga en las pruebas de 2015- 2017, U. de R. Toribio No.38.....	49
Figura 4.17. Factor de potencia obtenido por el analizador de corriente en nueve pruebas realizadas desde el 2014 al 2017, U. de R. Toribio No.38	50
Figura 4.18. Índice energético reportado desde la prueba en 2014 a 2017, U. de R. Toribio No.38	50
Figura 4.19. Potencia promedio medida en siete pruebas de la U. de R. Toribio No.38	50
Figura 4.20. Corriente promedio obtenida en las pruebas realizadas entre 2015 y 2017 U. de R. Toribio No.38.....	50
Figura 4.21. Tensión Promedio para cada una de las pruebas de la U. de R. Toribio No.38....	51
Figura 4.22. Comparación entre el medidor y el medidor ultrasónico del volumen extraído por el aprovechamiento U. de R. Toribio No.38.....	51
Figura 4.23. Porcentaje de eficiencia electromecánica en el período 2014- 2017 Predio Rancho Angélica	55
Figura 4.24. Gasto extraído (lps) en el período 2014- 2017, Predio Rancho Angélica	55
Figura 4.25. Nivel dinámico obtenido de las pruebas realizadas en los años 2014- 2017, Predio Rancho Angélica	55
Figura 4.26. Presión manométrica medida a la descarga en las pruebas de 2015- 2017, Predio Rancho Angélica	55
Figura 4.27. Factor de potencia obtenido por el analizador de corriente en nueve pruebas realizadas desde el 2014 al 2017, Predio Rancho Angélica	56
Figura 4.28. Índice energético reportado desde la prueba en 2014 a 2017, Predio Rancho Angélica.....	56
Figura 4.29. Potencia promedio medida en nueve pruebas, Predio Rancho Angélica	56
Figura 4.30. Corriente promedio obtenida en las pruebas realizadas entre 2015 y 2017, Predio Rancho Angélica	56

Figura 4.31. Tensión promedio medida en las pruebas desde 2015 a 2017, Predio Rancho Angélica	57
Figura 4.32. Comparación entre el medidor instalado y el medidor ultrasónico del volumen extraído por el aprovechamiento, Predio Rancho Angélica.....	57
Figura 4.33. Porcentaje de eficiencia electromecánica en el período 2014- 2017, Predio el Cedro	61
Figura 4.34. Gasto extraído (lps) en el período 2014- 2017, Predio el Cedro	61
Figura 4.35. Nivel dinámico obtenido de las pruebas realizadas en los años 2014- 2017, Predio el Cedro	61
Figura 4.36. Presión manométrica medida a la descarga en las pruebas de 2015- 2017, Predio el Cedro	61
Figura 4.37. Factor de potencia obtenido por el analizador de corriente en nueve pruebas realizadas desde el 2014 al 2017, Predio el Cedro.....	62
Figura 4.38. Índice energético reportado desde la prueba en 2014 a 2017, Predio el Cedro ..	62
Figura 4.39. Potencia promedio medida en siete pruebas, Predio el Cedro.....	62
Figura 4.40. Corriente promedio obtenida en las pruebas realizadas entre 2015 y 2017, Predio el Cedro	62
Figura 4.41. Tensión promedio obtenida en diferentes pruebas, Predio el Cedro	63
Figura 4.42. Comparación entre el medidor instalado y el medidor ultrasónico del volumen extraído por el aprovechamiento, Predio el Cedro.....	63
Figura 4.43. Porcentaje de eficiencia electromecánica en el período 2014- 2017, Predio el Mirador	67
Figura 4.44. Gasto extraído en lps en el período 2014- 2017, Predio el Mirador	67
Figura 4.45. Nivel dinámico obtenido de las pruebas realizadas en los años 2014- 2017, Predio el Mirador.....	67
Figura 4.46. Presión manométrica medida a la descarga en las pruebas de 2015- 2017, Predio el Mirador.....	67
Figura 4.47. Factor de potencia obtenido por el analizador de corriente en nueve pruebas realizadas desde el 2014 al 2017, Predio el Mirador	68
Figura 4.48. Índice energético reportado desde la prueba en 2014 a 2017, Predio el Mirador	68
Figura 4.49. Potencia promedio medida en siete pruebas, Predio el Mirador	68

Figura 4.50. Corriente promedio obtenida en las pruebas realizadas entre 2015 y 2017, Predio el Mirador.....	68
Figura 4.51. Tensión promedio obtenida en diferentes pruebas, Predio el Mirado.....	69
Figura 4.52. Comparación entre el medidor instalado y el medidor ultrasónico del volumen extraído por el aprovechamiento, Predio el Mirador	69
Figura 4.53. Porcentaje de eficiencia electromecánica en el período 2014- 2017, Predio San José.....	72
Figura 4.54. Gasto extraído (lps) en el período 2014- 2017, Predio San José	72
Figura 4.55. Nivel dinámico obtenido de las pruebas realizadas en los años 2014- 2017, Predio San José	72
Figura 4.56. Presión manométrica medida a la descarga en las pruebas de 2015- 2017, Predio San José	72
Figura 4.57. Factor de potencia obtenido por el analizador de corriente en siete pruebas realizadas desde el 2014 al 2017, Predio San José	73
Figura 4.58. Índice energético reportado desde la prueba en 2014 a 2017, Predio San José ..	73
Figura 4.59. Potencia promedio medida en cinco pruebas, Predio San José.....	73
Figura 4.60. Corriente promedio obtenida en las pruebas realizadas entre 2015 y 2017, Predio San José	73
Figura 4.61. Tensión promedio obtenida en diferentes pruebas, Predio San José.....	74
Figura 4.62. Comparación entre el medidor instalado y el medidor ultrasónico del volumen extraído por el aprovechamiento, Predio San José	74
Figura 4.63. Porcentaje de eficiencia electromecánica en el período 2014- 2017, Predio Casa Blanca	77
Figura 4.64. Gasto extraído en lps en el período 2014- 2017, Predio Casa Blanca	77
Figura 4.65. Nivel dinámico obtenido de las pruebas realizadas en los años 2014- 2017, Predio Casa Blanca.....	77
Figura 4.66. Presión manométrica medida a la descarga en las pruebas de 2015- 2017, Predio Casa Blanca.....	77
Figura 4.67. Factor de potencia obtenido por el analizador de corriente en nueve pruebas realizadas desde el 2014 al 2017, Predio Casa Blanca	78
Figura 4.68. Índice energético reportado desde la prueba en 2014 a 2017, Predio Casa Blanca	78
Figura 4.69. Potencia promedio medida en siete pruebas, Predio Casa Blanca	78

Figura 4.70. Corriente promedio obtenida en las pruebas realizadas entre 2015 y 2017, Predio Casa Blanca.....	78
Figura 4.71. Tensión promedio obtenida en diferentes pruebas, Predio Casa Blanca	79
Figura 4.72. Comparación entre el medidor instalado y el medidor ultrasónico del volumen extraído por el aprovechamiento, Predio Casa Blanca	79
Figura 4.73. Porcentajes de sobreexplotación de unidades de riego en los años 2015 y 2016. Los datos se muestran ordenados respecto al año 2015 y sólo se muestran las 29 unidades cuya concesión fue rebasada en dicho año.....	85

TABLAS

Tabla 3.1. Lista preliminar de unidades de riego candidatas a la realización de las pruebas de eficiencia electromecánica.....	9
Tabla 3.2. Lista de unidades de riego seleccionadas para la realización de las pruebas de eficiencia electromecánica.....	10
Tabla 3.3. Fechas de aplicación para la elaboración de cada prueba de eficiencia electromecánica en cada unidad de riego.	12
Tabla 4.1. Características del equipo de bombeo y componentes eléctricos, U. de R. Toribio No.38.....	22
Tabla 4.2. Información adicional de la tubería U. de R. Toribio No. 38	24
Tabla 4.3. Cultivos, costos de Producción y volumen aplicado en la U. de R. Toribio No.38....	25
Tabla 4.4. Características del equipo de bombeo y componentes eléctricos Predio Rancho Angélica.....	26
Tabla 4.5. Información adicional de la tubería Predio Rancho Angélica.....	26
Tabla 4.6. Cultivos, costos de Producción y volumen aplicado en el Predio Rancho Angélica .	29
Tabla 4.7. Características del equipo de bombeo y componentes eléctricos Predio El Cedro .	30
Tabla 4.8. Información adicional de la tubería del predio El Cedro	30
Tabla 4.9. Cultivos, costos de producción y volumen aplicado en el Predio el Cedro	33
Tabla 4.10. Características del equipo de bombeo y componentes eléctricos Predio El Mirador	34
Tabla 4.11. Información adicional de la tubería del predio El Mirador.....	34
Tabla 4.12. Cultivos, costos de producción y volumen aplicado en el Predio el Mirador.....	37
Tabla 4.13. Características del equipo de bombeo y componentes eléctricos Predio San José	38
Tabla 4.14.. Información adicional de la tubería del predio San José	38
Tabla 4.15. Cultivos, costos de producción y volumen aplicado en el Predio San José	41
Tabla 4.16. Características del equipo de bombeo y componentes eléctricos Predio Casa Blanca	42
Tabla 4.17. Información adicional de la tubería del predio Casa Blanca	42
Tabla 4.18. Cultivos, costos de producción y volumen aplicado en el Predio Casa Blanca.....	45
Tabla 4.19. Resumen de los datos hidráulicos de las pruebas realizadas de U. de R. Toribio No.38	48

Tabla 4.20. Volumen acumulado y volumen total extraído en los períodos de prueba de la U. de R. Toribio No.38.....	52
Tabla 4.21 Resumen de los datos hidráulicos de las pruebas realizadas de Predio Rancho Angélica.....	54
Tabla 4.22. Volumen acumulado y volumen total extraído en los períodos de prueba, Predio Rancho Angélica.....	58
Tabla 4.23. Resumen de los datos hidráulicos de las pruebas realizadas de Predio el Cedro ..	64
Tabla 4.24. Volumen acumulado y volumen total extraído en los períodos de prueba Predio el Cedro.....	64
Tabla 4.25. Resumen de los datos hidráulicos de las pruebas realizadas de Predio El Mirador66	
Tabla 4.26. Volumen acumulado y volumen total extraído en los períodos de prueba Predio el Mirador	66
Tabla 4.27. Resumen de los datos hidráulicos de las pruebas realizadas de San José	71
Tabla 4.28. Volumen acumulado y volumen total extraído en los períodos de prueba Predio San José.....	71
Tabla 4.29. Resumen de los datos hidráulicos de las pruebas realizadas de Predio Casa Blanca	76
Tabla 4.30.Volumen acumulado y volumen total extraído en los períodos de prueba Predio Casa Blanca.....	76
Tabla 4.31. Resultados del índice energético y su variación (proyecto 2017)	80
Tabla 4.32. Comparación del promedio del índice energético con las mediciones realizadas en los años 2015 y 2016.....	81
Tabla 4.33. Resultados de la eficiencia electromecánica y su variación (proyecto 2017)	81
Tabla 4.34. Comparación del promedio de la eficiencia electromecánica con las mediciones realizadas en los años 2015 y 2016.....	82
Tabla 4.35. Resultados de la medición del gasto (lps) y su variación (proyecto 2017).....	82
Tabla 4.36. Comparación del promedio del gasto (lps) con las mediciones realizadas en los años 2015 y 2016.....	83
Tabla 4.37. Resultados de la medición de la carga total (m) y su variación (proyecto 2017) ...	84
Tabla 4.38. Comparación del promedio de la carga(m) con las mediciones realizadas en los años 2015 y 2016.....	84
Tabla 4.40. Comparación de la sobre-extracción usando el índice energético en los años 2015 y 2016 para los 80 pozos.....	85

1. RESUMEN EJECUTIVO

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 1.1), 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 (Figura 1.2) 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).

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 (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.

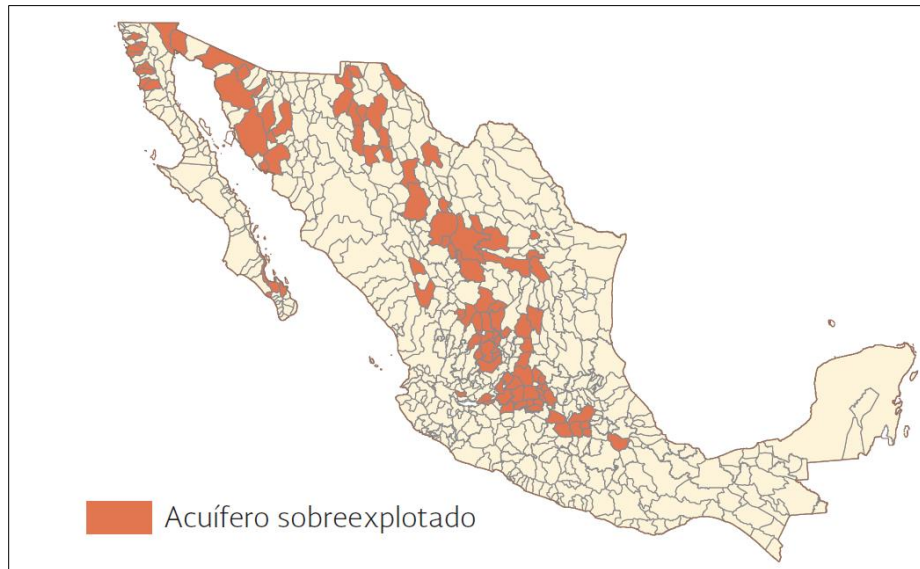


Figura 1.1. Acuíferos sobreexplotados

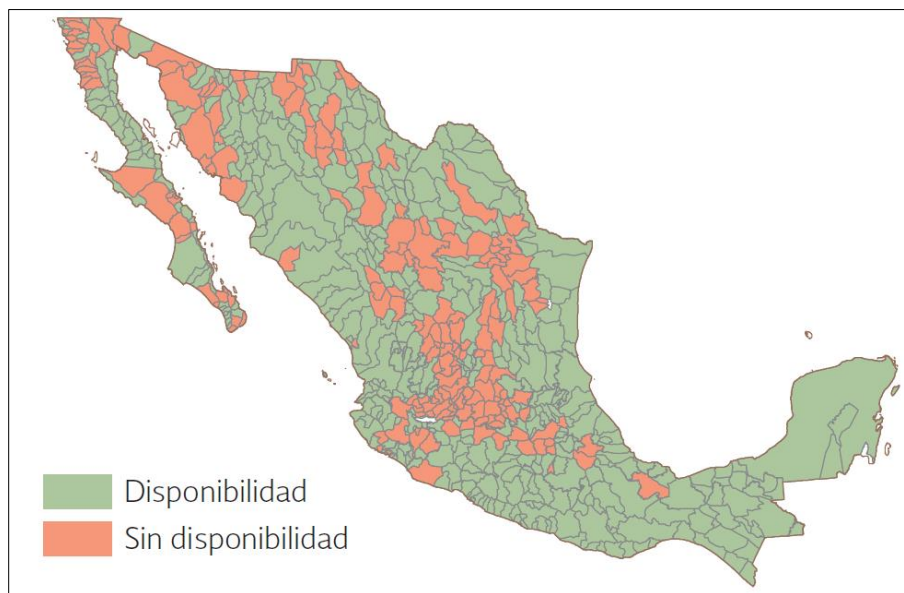


Figura 1.2. Disponibilidad de agua en acuíferos

SIEVA requiere información confiable sobre los consumos de energía eléctrica de los sistemas de bombeo instalados en las unidades de riego. Hoy en día, las redes eléctricas inteligentes pueden ser aprovechadas para tal fin, pues éstas manejan grandes volúmenes de información a partir de una gran infraestructura de comunicación y sistemas de procesamiento de datos. Estos elementos permiten automatizar la adquisición del dato del consumo de energía desde las unidades de riego y agilizan el proceso de estimación y consulta del volumen extraído de los acuíferos.

Con estos antecedentes, se planteó como proyecto 2017 hacer uso de las redes inteligentes para alimentar la base de datos del SIEVA y continuar con el monitoreo de las extracciones en

sistemas de bombeo de las unidades de riego. En adición, también se planteó revisar con una mayor frecuencia la variación del índice energético y la eficiencia electromecánica, pues en los proyectos anteriores dichos parámetros se habían medido con una diferencia de un año, y se apreciaron variaciones importantes en sus valores (ver informe proyecto IMTA RD1608.1).

Por lo anterior, el presente proyecto implicó, entre otras acciones, el seleccionar un conjunto representativo de pozos de un acuífero sobre-explotado para obtener mediciones periódicas del índice energético y su comportamiento en el tiempo, calcular las extracciones volumétricas de los equipos de bombeo monitoreados en dos años y con esto validar el uso de las redes inteligentes para transmitir el consumo energético de los sistemas de bombeo.

Entre los resultados obtenidos, se verificó que fue factible obtener los consumos de energía a partir de la red de datos de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), y con ello complementar la información de años anteriores para monitorear las extracciones anuales de los años 2015 y 2016 de los equipos que están bajo análisis desde el año 2015 (80 pozos). Se observa que en el año 2015 hubieron 29 pozos que excedieron su concesión, mientras que en el año 2016 fueron 36. El volumen extraído aumentó durante el 2016 un 55% respecto al extraído en el año 2015, rebasando en ambos años el volumen total concesionado. Los pozos que rebasan la concesión, sobreexplotaron en promedio un 93% más la concesión durante el año 2015, mientras que para el 2016 el promedio fue de 122%. También se observa que, en su mayoría, dichos pozos fueron los mismos en ambos años, detectando un patrón de reincidencia en 26 de los 80 pozos revisados.

De las seis unidades de riego seleccionadas para las cinco mediciones periódicas de los parámetros energéticos, se observó que, en el lapso de tiempo analizado, el índice energético varió en promedio en las unidades del 3.02% al 8.12%. (respecto a la media). La variación es mayor en la eficiencia electromecánica, pues se observan variaciones promedio de hasta 11.24%. En el caso del gasto, éste se situó entre 4.3% y 8.67%. 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. Algunas de las condiciones que influyen son, por ejemplo, las distancias del pozo a punto de entrega a las parcelas, la superficie por puesta de riego, y en los sistemas de riego presurizados, el número de líneas regantes. Estas características propician que el índice energético y las eficiencias electromecánicas no sean constantes, incluso en lapsos de corto tiempo.

Del trabajo realizado, se concluye que la oportunidad del monitoreo de las extracciones que permite la adquisición de datos utilizando las redes inteligentes pueden hacer del SIEVA una herramienta sumamente útil para la toma de decisiones en la implementación de políticas de operación de los acuíferos. Para hacer más eficiente su aplicación, es necesario transferir esta herramienta a los Comités Técnicos de Aguas Subterráneas (COTAS) en los acuíferos. Esto permitirá a la larga un aprovechamiento sustentable de los recursos hídricos subterráneos para actividades agrícolas bajo riego.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. Antecedentes

El Plan Nacional Hidráulico (PNH) 2014-2018 identifica una problemática en la administración del agua, la cual se concentra en tres aspectos principales: sobreexplotación, la sobre-concesión y contaminación de los recursos hídricos. El PNH indica también establece que estos factores se han convertido en una limitante para el aprovechamiento sustentable de los recursos hídricos, inhibiendo el desarrollo social, económico y ambiental en nuestro país.

La sobreexplotación es un problema que afecta de forma severa a los mantos acuíferos. La importancia del agua subterránea se manifiesta en la magnitud del volumen utilizado por los principales usuarios. Alrededor del 37% (30,374 millones de metros cúbicos por año al 2013) del volumen total concesionado para usos consuntivos, es extraída de los mantos acuíferos (CONAGUA, 2015).

La sobreexplotación y la sobre-concesión se encuentran estrechamente relacionadas con la falta de control sobre los recursos hídricos. Existen aprovechamientos que carecen de títulos de concesión o asignación; la medición del agua extraída y la verificación de los aprovechamientos y descargas son bajas e insuficientes. La situación es compleja en el caso particular de la medición de las extracciones, pues diversos factores interactúan en este problema. Por un lado, los propietarios de los títulos de concesión no están totalmente convencidos de que sus consumos daban ser registrados, por lo que no hay interés de su parte en la instalación y mantenimiento de los medidores volumétricos. Por otro, la cantidad de medidores y de personal disponibles para la captura de las lecturas resultan insuficientes. Incluso, se estima que no se tiene más allá del 10% de los medidores requeridos instalados (González et al., 2014). 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 & Scott, 2000; Oswald, 2011).

En la última década, diversas medidas y políticas a nivel nacional se han desarrollado para abordar el problema. Dado su nivel de responsabilidad, las instancias gubernamentales garantes de la supervisión, seguimiento e implantación de estas políticas deben contar con información actualizada sobre el estado de abatimiento de los acuíferos, así como del comportamiento de las extracciones. En este contexto, la CONAGUA ha realizado desde el año 2007 diversos estudios de disponibilidad y capacidad de recarga en los acuíferos, actualizando por última vez dicha información en el año 2015 (DOF, 20 abril de 2015). Sin embargo, los datos en estas publicaciones se ofrecen en formato tabular, con casi ningún tratamiento para facilitar su visualización o agrupamiento, lo cual dificulta que esta información pueda ser utilizada de forma inmediata para la toma de decisiones a nivel estatal, de acuífero o gerencia regional.

Como parte de los esfuerzos para abordar la problemática de la sobreexplotación y la sobreconcesión en los acuíferos, el IMTA emprendió durante el año 2015 el desarrollo del Sistema de Información de Extracciones Volumétricas en Acuíferos (SIEVA). SIEVA tiene como objetivo el proponer una plataforma informática, con información geo-referenciada, para dar seguimiento a las extracciones y a la disponibilidad de los volúmenes concesionados. Entre sus funciones, el sistema incluye la posibilidad de realizar una estimación indirecta del volumen extraído usando el índice de consumo energético kWh/m³, lo cual permite detectar cuando un pozo se acerca o excede su volumen concesionado. Los parámetros requeridos por el cálculo del índice energético (la potencia activa y el gasto) se obtienen usualmente por medio de una prueba de eficiencia electromecánica. Este método puede dificultar la obtención de dichos parámetros para los 350,000 pozos inscritos en el REPDA. No obstante, la CONAGUA ha impulsado en la última década programas de equipamiento en unidades de riego, como el denominado Programa de Modernización y Tecnificación de Unidades de Riego (PMTUR), dentro del cual es un requisito la elaboración de pruebas de eficiencia al momento de la entrega de la obra modernizada. Tomando esto como base, en el proyecto 2015 se recopilaron los parámetros eléctricos de 1007 expedientes técnicos de obras concluidas en el marco de ejecución del proyecto PMTUR del estado de Zacatecas, lo cual (en potencia) permite el cálculo del índice energético para la misma cantidad de pozos. Para validar esta información, se seleccionaron 80 de los 1007 expedientes, a fin de aplicar nuevamente una prueba de eficiencia, obtener índices energéticos y determinar el volumen extraído de manera indirecta. Los resultados mostraron diferencias significativas entre las eficiencias calculadas a la entrega por parte de la CONAGUA y las determinadas por el IMTA, por lo que únicamente la información de consumos de energía de los 80 pozos fue integrada en la base de datos del SIEVA. Sin embargo, dadas las fechas en las que se ejecutó el proyecto, se dificultó obtener los consumos de energía eléctrica para la estimación de extracciones de un año fiscal completo. Por tal razón, durante el año 2016 se planteó la obtención de los consumos eléctricos que permitieran completar las observaciones de extracciones para el año fiscal de 2015. También, se planteó la necesidad de realizar una nueva serie de pruebas de eficiencia electromecánica a los equipos de bombeo que fueron visitados en el año 2015, a fin de verificar la variación de la eficiencia electromecánica, el gasto y el índice energético. De este último indicador, también es de interés el error estadístico que se puede presentar en su cálculo. Como parte del ciclo de mantenimiento del SIEVA, este presente proyecto también contempló la actualización del sistema, así como la construcción de un portal de acceso institucional para la aplicación.

Entre los resultados obtenidos en el año 2016, 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, lo que produce un sistema de bombeo distinto, dificultando que se pueda aplicar el índice energético determinado antes del cambio. De las unidades de riego que estuvieron en condiciones de ser comparadas, se observó que el 24% presentan sobre-explotación del volumen concesionado, por un valor acumulado total de 1.259 millones de metros cúbicos. Las unidades también han visto

disminuida su eficiencia electromecánica en un promedio del 4.33%, siendo la diferencia mayor en los equipos modernizados en el 2013, con un 7.6%. El gasto en promedio ha disminuido un 6.66%, y el índice energético se ha incrementado un 2.76%. Respecto al índice, también se observa que se puede presentar un error por la estimación del gasto del 4.9%, y otro respecto a la estimación de la potencia activa, del 7.6%. Durante este año, la aplicación del SIEVA fue actualizada, incluyendo la información de consumos eléctricos e índices actualizados para 80 pozos obtenidos durante el año 2016.

Dados estos antecedentes, para el año 2017 se observó que era necesario definir el mecanismo adecuado para transferir la información de los consumos de energía a la base de datos del SIEVA, así como facilitar su consulta a las autoridades responsables del manejo del agua subterránea. También, se detectó que la necesidad de hacer un seguimiento con mayor frecuencia del índice energético y la eficiencia electromecánica de los sistemas de bombeo, pues estos indicadores presentaron diferencias notables en las pruebas realizadas en el año 2015 y en el año 2016. Relacionado con lo anterior, se hizo necesario también continuar con la aplicación del SIEVA en equipos de bombeo con mediciones mensuales de parámetros que integran la medición directa e indirecta, esto con el fin de obtener información más precisa de la confiabilidad del método.

2.2. Objetivos

El objetivo general del presente proyecto fue el siguiente:

“Evaluar las extracciones en un acuífero sobreexplotado mediante el uso de redes inteligentes que colabore en proponer una política de operación enfocada a la sostenibilidad del recurso hídrico subterráneo bajo un esquema de gobernanza y gobernabilidad”

Con los siguientes objetivos específicos:

- Seleccionar un conjunto representativo de pozos de un acuífero sobre-explotado para obtener mediciones periódicas del índice energético y su comportamiento en el tiempo.
- Evaluar el uso de las redes inteligentes para transmitir el consumo energético de los sistemas de bombeo.
- Calcular las extracciones volumétricas de los equipos de bombeo en dos años de referencia completos.

2.3. Marco normativo

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” (DOF, Dic. 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), con el fin de determinar la disponibilidad de las aguas nacionales superficiales y subterráneas, para su explotación, uso o aprovechamiento. En base a lo indicado en esta norma, la CONAGUA ha efectuado varios estudios para estimar y actualizar la disponibilidad en los acuíferos desde el año 2007, realizando La última actualización en abril de 2015 (DOF, 2015).

Por otro lado, la Ley Federal de Derechos 2014, en sus artículos 223 y 231 establece que 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.

3. METODOLOGIA

3.1. Diseño metodológico

La metodología de este proyecto fue organizada en 5 etapas:

- Etapa 1. Obtención de información de los pozos, localización georeferenciada, volumen concesionado.
- Etapa 2. Integrar datos al SIEVA y analizar su comportamiento y resultados para el período que se disponga de información de consumos de energía.
- Etapa 3. Analizar volúmenes extraídos y volúmenes concesionados de los equipos de bombeo. Se comparan los volúmenes extraídos y los calculados por SIEVA contra estimaciones realizadas por personal técnico del IMTA.
- Etapa 4. Analizar y evaluar los resultados del comportamiento de las extracciones en los equipos de bombeo evaluados y la viabilidad de la transmisión de datos usando la red inteligente de la CFE.
- Etapa 5. Elaborar el informe de resultados.

En las siguientes secciones se describen de manera detallada como se llevaron a cabo cada una de las etapas aquí mencionadas.

3.2. Obtención de información de los pozos, localización geo-referenciada, y volumen concesionado.

Esta etapa describe el proceso de selección de unidades de riego y adquisición de información requerida para la evaluación de los sistemas de bombeo localizados en el acuífero sobre-explotado. Incluye el procedimiento utilizado para la elaboración de las pruebas de eficiencia electromecánica y el cálculo del índice energético.

3.2.1. 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. Este acuífero presenta un alto nivel de sobreexplotación, y en él se encuentran localizados 32 de los pozos de los cuales se ha obtenido información en el marco de ejecución de los proyectos previos (ver sección de antecedentes). De la información disponible de los pozos localizados en el acuífero, se realizó una primera selección de 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. La lista preliminar de pozos considerados se muestra en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Lista preliminar de unidades de riego candidatas a la realización de las pruebas de eficiencia electromecánica.

Pri- oridad	Folio	Municipio	Año de modernización PMTEUR	Prof. (m)	Diám. tubería de succión	Gasto IMTA 2016	Modelo
1	2014-308	Calera	2014	140	6	22.34	AZTECA
1	2014-309	Calera	2014	200	6	28.56	AZTECA
1	2014-311	Calera	2014	110	4	11.19	AZTECA
1	2014-407	Calera	2014	178	4	9.16	AZTECA
1	2014-418	Calera	2014	230	4	9.09	AZTECA
1	2014-580	Fresnillo	2014	130	4	14.12	AZTECA
2	2013-421	Calera	2013	180	4	15.51	HIDRONICA
2	2014-485	Fresnillo	2014	100	4	16.27	DOROT
2	2014-496	Fresnillo	2014	80	4	16.53	HIDRONICA
3	2013-178	Fresnillo	2013	103	4	10.48	HIDRONICA
3	2013-201	General Enrique Estrada	2013	200	6	33.55	HIDRONICA
3	2013-84	Fresnillo	2013	150	4	14.41	HIDRONICA

Uno de los intereses de este proyecto estuvo centrado en la adquisición remota de datos en tiempo real. En este sentido, la marca del medidor es importante, pues hay algunas marcas proporcionan mejor compatibilidad para la interconexión con adquirentes remotos de datos (ARD). Los ARD son equipos electrónicos que realizan el registro y envío de datos adquiridos desde los medidores volumétricos. Por dicha razón, se priorizaron las unidades de riego en función del tipo de medidor volumétrico, lo que se puede ver en la primera columna izquierda de la Tabla 3.1 (el valor más bajo implica una mayor preferencia en la selección).

Con el fin de recopilar la información necesaria para el proyecto, 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. De esta etapa resultaron seleccionadas finalmente 6 unidades, las cuales se muestran en la Tabla 3.2. La localización de dichas unidades se muestra en la Figura 3.3.

Tabla 3.2. Lista de unidades de riego seleccionadas para la realización de las pruebas de eficiencia electromecánica.

Folio	Municipio	Nombre	Prof. (m)	Diám. tubería de succión	Gasto IMTA 2016	Latitud	Longitud
2014-308	Calera	Toribio No. 38	140	6	22.34	23°04'27.29"	102°41'31.16"
2014-311	Calera	El Cedro	110	4	11.19	23°05'53.6"	102°4'15.8"
2014-407	Calera	San José	178	4	9.16	22° 58' 05.9"	102°37' 24.9"
2014-418	Calera	El Mirador	230	4	9.09	22° 58' 12.6"	102°37' 29.9"
2014-485	Fresnillo	Rancho Angélica	100	4	16.27	23° 10' 32.2"	102° 40' 45.9"
2014-496	Fresnillo	Casa Blanca	80	4	16.53	23°11' 27.7"	102° 44' 59.1"

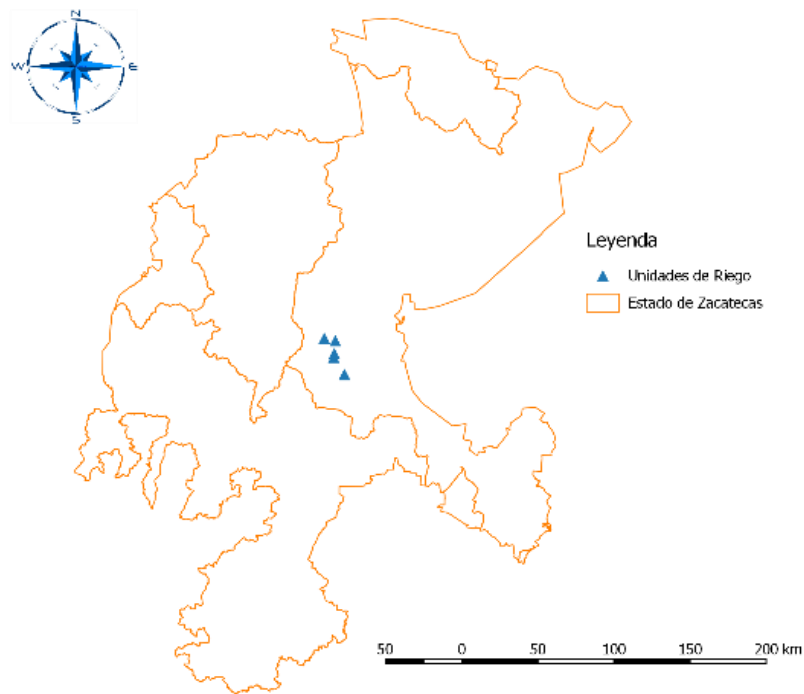


Figura 3.3. Localización de las unidades de riego seleccionadas para la realización de las pruebas de eficiencia electromecánica.

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.

3.2.2. Elaboración de pruebas de 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, método volumétrico (método directo) o por el método de la escuadra.
- 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 (Tabla 3.2), hasta completar 5 pruebas de eficiencia electromecánica. 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 3.3. Fechas de aplicación para la elaboración de cada prueba de eficiencia electromecánica en cada unidad de riego.. En la Tabla 3.3 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 informe para fines de referencia.

Tabla 3.3. 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	02/08/2015	31/08/2016	26/07/2017	11/08/2017	26/08/2017	20/09/2017	05/10/2017
2014-311	03/08/2015	09/09/2016	29/07/2017	12/08/2017	27/08/2017	19/09/2017	02/10/2017
2014-407	11/11/2015	01/09/2016	26/07/2017	10/08/2017	25/08/2017	22/09/2017	06/10/2017
2014-418	11/11/2015	01/09/2016	26/07/2017	10/08/2017	26/08/2017	22/09/2017	05/10/2017
2014-485	02/08/2015	31/08/2016	27/07/2017	12/08/2017	28/08/2017	17/09/2017	07/10/2017
2014-496	04/08/2015	24/08/2016	27/07/2017	11/08/2017	28/08/2017	21/09/2017	06/10/2017

En las siguientes secciones se describe cómo se llevaron a cabo la medición de parámetros requeridos para las pruebas (secciones de la 3.2.2.1, 3.2.2.2 y 3.2.2.3) y el registro y cálculo de las pruebas de eficiencia electromecánica (sección 3.2.2.4).

3.2.2.1. Medición de los 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 3.4).



Figura 3.4 Medición de los niveles de bombeo con sonda eléctrica

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 3.5).



Figura 3.5 Manómetro tipo Bourdon

3.2.2.2. Medición del gasto

El gasto o caudal (Q) se define como el volumen V de agua (litros) que pasa por una sección de un conducto en determinado tiempo t (segundos), acorde a la ecuación 1.

$$Q = \frac{V}{t} \quad (1)$$

Para el proyecto, el caudal se obtuvo por medio de dos métodos:

- i) Por el método directo. Fue aplicado a tuberías con descarga libre (cerca de un 25% de los equipos).
- ii) Con medidor de flujo portátil de tipo ultrasónico (a todos los equipos).

A continuación se describen cada uno de estos métodos.

El método directo

El método volumétrico es el más recomendable, es muy sencillo, requiere de poco equipo y es muy preciso; sin embargo, a veces es difícil de apreciar, resultando útil para gastos pequeños y donde las características físicas lo permitan.

El método es el siguiente: se mide directamente el volumen V con un recipiente (Figura 3.6), y el tiempo t , con un cronómetro. Opcionalmente, se puede medir directamente la velocidad del agua

mediante la presión. El gasto Q del agua en un sistema hidráulico se obtiene entonces de la ecuación (1).



Figura 3.6 Aforo por el método directo

De manera alterna, se puede utilizar como método directo el método de la escuadra. Este método es aplicable a descarga de tuberías a presión, en particular para pruebas de bombeo. Consiste en medir la distancia horizontal X_0 que existe entre el extremo del tubo de la descarga y el punto donde cae el chorro del agua al suelo, y la altura H_0 a la que se encuentra el conducto (Figura 3.7).



Figura 3.7 Aforo del gasto por el método de la escuadra

La principal desventaja de los métodos directos es que no se pueden aplicar en tuberías presurizadas sin descarga libre. Por esta razón, para la medición del gasto se empleó también otro tipo de método: medición con medidor de flujo ultrasónico (se describe a continuación).

Medición con medidor de flujo portátil 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 es similar al de 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 (Figura 3.8).



Figura 3.8 Medidor de flujo ultrasónico

3.2.2.3. Medición de corriente, voltaje y factor de potencia

Estos parámetros se midieron mediante una analizador de corriente Modelo 3910 marca AEMC Instruments (Figura 3.9a), 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 3.9b).

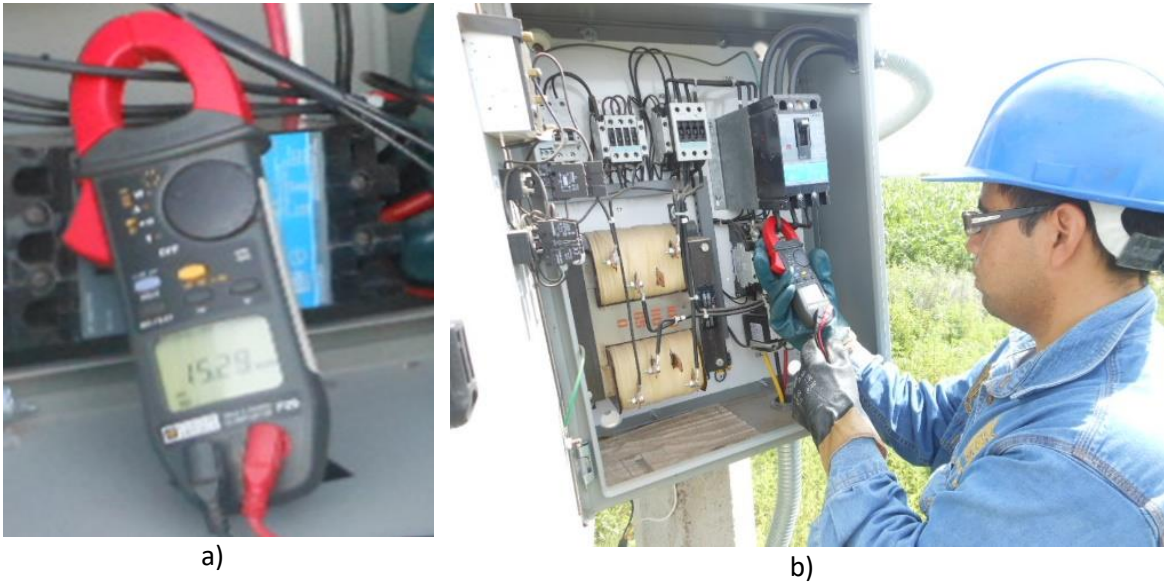


Figura 3.9 a) Analizador de corriente, b) Medición de los parámetros eléctricos

3.2.2.4. 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), y se muestran de forma separada en las figuras 3.8, 3.9 y 3.10. Esta hoja de cálculo también realiza la estimación del índice energético.



SISTEMA DE INFORMACIÓN DE EXTRACCIONES VOLUMÉTRICAS EN ACUÍFEROS (SIEVA)

PRUEBAS DE EFICIENCIA ELECTROMECÁNICA (FORMATO FPEE)

Unidad de Riego: _____ Folio: _____
 Título de concesión: _____ Anexo: _____ Número de prueba (1-3): _____
 Titular: _____ Fecha (dd/mm/aaaa): _____

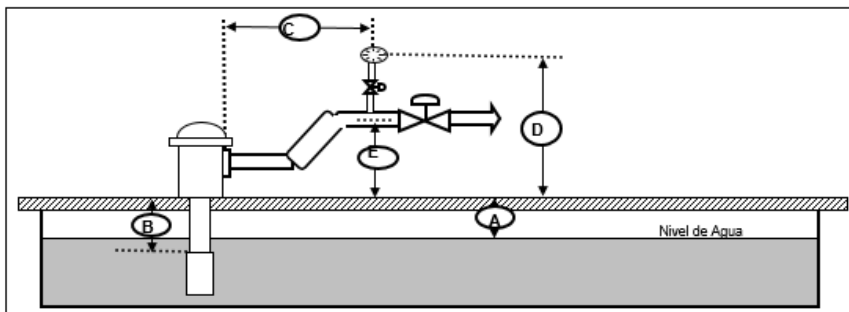
DATOS DE PLACA DE LA BOMBA

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

MEDICIONES ELECTRICAS										Potencia real	Potencia aparente	Potencia reactiva
No.	TENSIÓN ENTRE FASES			CORRIENTE POR FASE			FACTOR DE POTENCIA					
	V_{A-E}	V_{E-C}	V_{A-C}	I_A	I_E	I_C	F_{PA}	F_{PE}	F_{PC}			
1												
2												
3												

MEDICIONES DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS

Nivel Estático(A): _____ Longitud de tubería en succión (B): _____
 Longitud tubería en descarga (C): _____ Altura manómetro de descarga (D): _____
 Altura tubería en descarga (E): _____



Succión:
 Diámetro 0.0000 m
 Material _____

Descarga:
 Diámetro _____
 Material FoFo y PVC

Profundidad del pozo: _____
 Carga adicional: _____

MEDICIONES HIDRÁULICAS				
Prueba	Gasto Q (L/s)	Presión P (kg/cm ²)	Nivel dinámico o (m)	Pérdidas
1				
2				
3				

Figura 3.10 Formato FPEE v2 P1 Para la realización de pruebas electromecánicas (1ra parte)

RESULTADOS						
EFICIENCIA ELECTROMECÁNICA			PRUEBA			OBSERVACIONES
No.	Símbolo	Descripción	1	2	3	
1	D_i	Diámetro interno de la tubería (m)	0.0000	0.0000	0.0000	
2	N	Frecuencia de rotación (RPM)	n/v	n/v	n/v	
3	ND	Nivel dinámico (m)	0.00	0.00	0.00	
4	x	Distancia desde el nivel de referencia a la línea de centros del manómetro (m)	0.00	0.00	0.00	
5	P_r	Lectura del manómetro a la descarga (m)	0.00	0.00	0.00	
6	P_m	Presión a la descarga = [(4) + (5)] (m)	0.00	0.00	0.00	
7	A	Área del tubo a la descarga [3.141592*(1)²/4](m²)	0.000	0.000	0.000	
8	q_v	Gasto (m³/s)	0.0000	0.0000	0.0000	
9	h_v	Carga de velocidad={[(8)/(7)]²/19.613.3}	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
10	h_f	Perdidas de fricción en la columna (m)	0.00	0.00	0.00	
11	h_d	Carga a la descarga=[(6)+(9)+(10)] (m)	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
12	H	Carga total=[(9)+(11)] (m)	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
13	I_A	Corriente Línea A	0.00	0.00	0.00	
	I_B	Corriente Línea B	0.00	0.00	0.00	
	I_C	Corriente Línea C	0.00	0.00	0.00	
	I	Corriente promedio (A)=[(I _A +I _B +I _C)/3]	0.00	0.00	0.00	
14	V_{A-B}	Tensión fase AB	0.00	0.00	0.00	
	V_{B-C}	Tensión fase BC	0.00	0.00	0.00	
	V_{A-C}	Tensión fase AC	0.00	0.00	0.00	
	V	Tensión promedio (V)=[(V _{AB} +V _{BC} +V _{AC})/3]	0.00	0.00	0.00	
15	F_{pA}	Factor de potencia línea A	0.00	0.00	0.00	
	F_{pB}	Factor de potencia línea B	0.00	0.00	0.00	
	F_{pC}	Factor de potencia línea C	0.00	0.00	0.00	
	F_p	Factor de potencia promedio (%)	0.00	0.00	0.00	
16	P_e	Potencia de entrada al motor (kW) [(1.732*(13)*(14)*(15)*10 ⁻³)]	0.00	0.00	0.00	
17	P_s	Potencia de salida de la bomba (kW) [(8) * (12) * 9.806.65]	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
18	η	Eficiencia electromecánica (%) [(17) / (16) * 100]	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
19	IE	Índice de energía (KWh/M3)	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
Eficiencia electromecánica promedio			#DIV/0!			

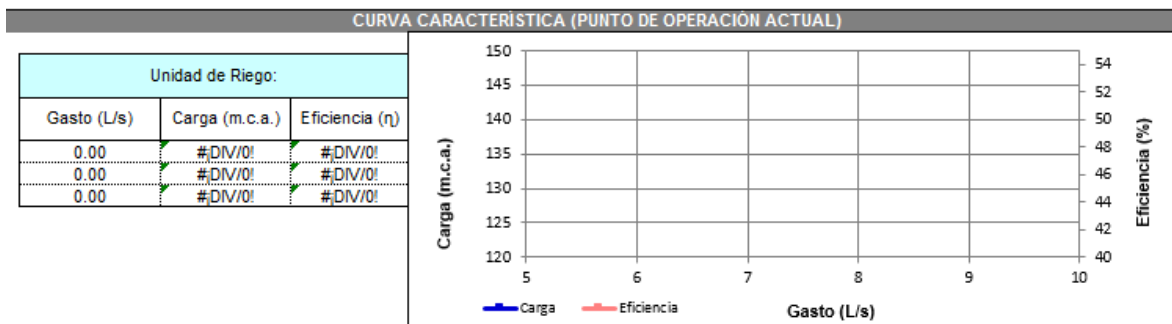


Figura 3.11 Formato FPEE v2 P1 Para la realización de pruebas electromecánicas (2da parte)

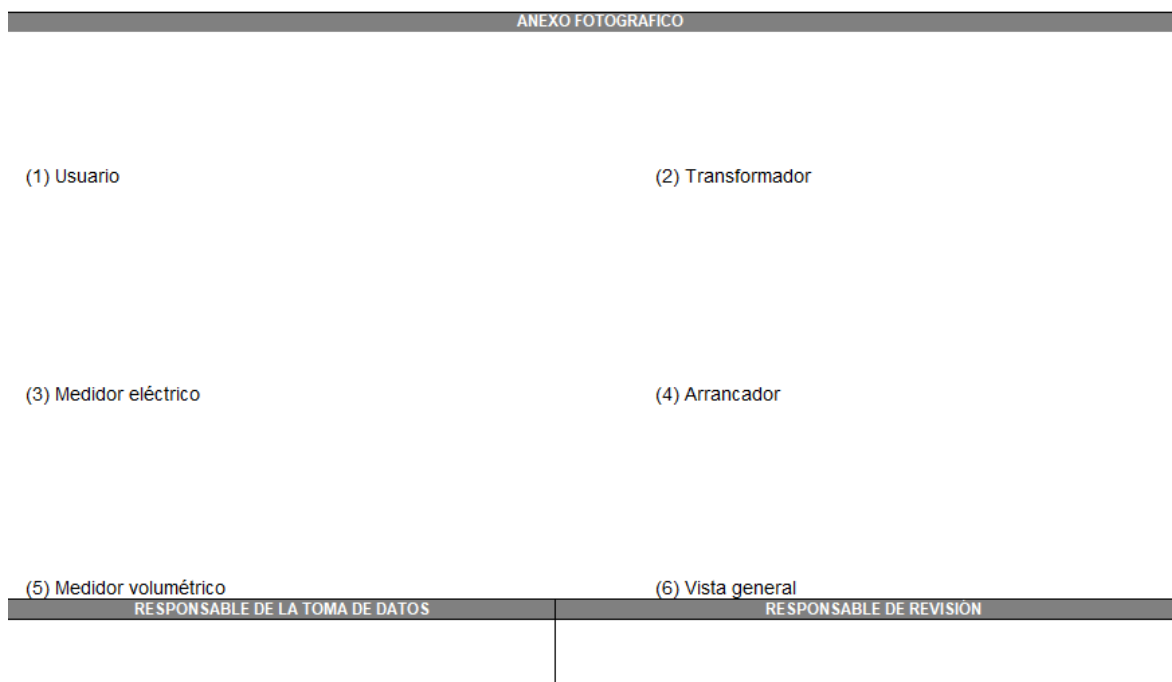


Figura 3.12 Formato FPEE v2 P1 Para la realización de pruebas electromecánicas (última parte)

De igual forma, se tomaron en campo seis fotografías digitales por aprovechamiento, las cuales se muestran en el formato de captura “FPEE v2 P1”. Cada una de las fotografías con las siguientes características:

- Primera imagen. Al usuario
- Segunda imagen. Transformador
- Tercera imagen. Acercamiento al medidor de luz
- Cuarta imagen. Acercamiento al arrancador
- Quinta imagen. Acercamiento al medidor de agua
- Sexta imagen. Vista general del tren de descarga.

Con la información recabada en campo en el formato FPE, se calculó la eficiencia energética electromecánica para cada una de las unidades de riego seleccionadas.

3.2.2.5. Obtención de mediciones volumétricas y consumos de energía en pozos seleccionados

Para la obtención de la información de las extracciones volumétricas y el consumo de energía se utilizó el formato FR-C que es mostrado en la Figura 3.13. El método empleado para medir el gasto fue el ultrasónico con un 100 % de ocurrencia (ver sección 3.2.2.2). Respecto al estado físico de los medidores volumétricos, todos ellos estaban funcionando. La lectura fue registrada en cada una de las visitas en campo realizadas. El consumo energético acumulado fue leído desde los medidores CFE y fue capturado en las celdas correspondientes. Al finalizar el ciclo de pruebas, se

tuvieron 5 lecturas de volúmenes acumulados en el medidor, cinco mediciones de gasto (métodos ultrasónico y volumétrico o escuadra) y cinco registros de consumos energéticos acumulados a la fecha de cada visita (Tabla 3.3). También se obtuvieron los consumos mensuales reportados por CFE en el recibo de energía proporcionado por el usuario obtenido en la última visita.


 TEMA DE INFORMACIÓN DE EXTRACCIONES VOLUMÉTRICAS EN ACUÍFEROS (SIEVA) FORMATO DE CAPTURA DE GASTO Y CONSUMO DE ENERGÍA (FR-C)									
Título de						Folio SIEVA:			
CUANTIFICACIÓN DEL GASTO									
Medición	Volumen acumulado en el medidor instalado			Anotar según el método empleado para medir el volumen					
	Hora	Gasto (l/s)	Volumen (m ³)	Método volumétrico		Método ultrasónico		Método escuadra	
				Hora	Gasto (l/s)	Hora	Gasto (l/s)	Hora	Gasto (l/s)
1									
Sistema de riego									
CUANTIFICACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO									
Consumos en los últimos 12 meses									
Recibo CFE									
Año	Mes	Consumo mensual (kWh)							
2016	Junio								
	Julio								
	Agosto								
	Septiembre								
	Octubre								
	Noviembre								
2017	Diciembre								
	Enero								
	Febrero								
	Marzo								
	Abril								
	Mayo								
Anotar el consumo acumulado en la fila del mes que corresponda (kWh)									
		1	2	3	4	5			
PRODUCCIÓN AGRÍCOLA (SECCIÓN QUE SE LLENA CON INFORMACIÓN DE LA VISITA A LA UNIDAD EN CAMPO)									
Anotar los datos respecto al último año ciclo agrícola									
Año agrícola:	Superficie regable (Producción (ton):	0.00		
	Usuarios (num):					Precio medio rural (\$/ton):			
	Sistema de riego:					Valor de la producción (\$)	0.00		
Ciclo:	Cultivo representati					Costo de producción (\$/ha):			
	Superficie cosechac					Costo total de producción	0.00		
	Rendimiento (ton/h					Utilidad total (\$):	0.00		

Figura 3.13 Formato FR-C para captura de gastos, consumos volumétricos y consumos de energía

3.2.3. Definir el mecanismo de transmisión de datos usando la red inteligente de CFE.

Uno de los intereses del presente proyecto era validar si la red de datos de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) facilitaba la consulta masiva de los consumos energéticos para realizar la estimación indirecta del volumen extraído. La CFE pone a disposición del usuario contratante del servicio la consulta de su recibo de consumo energético a través de su red de datos, haciendo uso de la aplicación “Mi Cuenta” (<https://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Recibos/Consulta>).

Utilizando dicha aplicación, se realizó la consulta de los consumos energéticos para los 80 pozos en seguimiento desde el año 2015, lo cual incluye a los pozos analizados durante el presente proyecto (Tabla 3.2). Cabe señalar, que los usuarios de dichos pozos dieron su consentimiento para la consulta de dicha información durante la ejecución del proyecto 2015.

Este procedimiento permitió obtener los consumos de energía de los 80 pozos desde el mes de julio del año 2015 hasta el mes de agosto 2017 (fecha de la consulta), complementando los registros de los consumos de energía mensuales de los años 2015 y 2016, así como parte del año 2017. Esta información fue introducida a la base de datos del SIEVA, el cual calculó el volumen extraído con el índice energético actualizado durante el proyecto 2016. Esto permitió comparar el volumen extraído total anual de los años 2015 y 2016 contra el volumen concesionado, y estimar con esto la sobre-extracción (volumen extraído que excede la concesión), así como validar el funcionamiento de la red de datos de CFE para la consulta masiva de consumos energéticos de sistemas de bombeo en unidades de riego.

4. Resultados

4.1. Comportamiento en el tiempo del índice energético y la eficiencia electromecánica de los sistemas de bombeo de seis unidades de riego

4.1.1. Descripción de las unidades de riego analizadas

4.1.1.1. Unidad de Riego Toribio No. 38 (2014-308)

Características generales de la unidad de riego y del equipo de bombeo. Está ubicada en las coordenadas latitud 23°04'27.29" y longitud 102°41'31.16" en la comunidad de Ramón López Velarde, Calera, Zac. La representante es la Sra. Azucena Aguilar Ortiz, cuenta con un volumen concesionado de 294,000.00 m³ anuales, una superficie de riego autorizada de 41 hectáreas con seis beneficiarios de tenencia tipo ejidal; utiliza riego por goteo, los cultivos más representativos son chile y ajo, en menor proporción maíz y frijol.

A continuación se presentan las características del equipo de bombeo y sus componentes eléctricos (Tabla 4.1).

Tabla 4.1. Características del equipo de bombeo y componentes eléctricos, U. de R. Toribio No.38

Característica	Valor
Capacidad de Transformador	75 (KVA)
Tensión del Transformador	13200/440
Potencia de Motor	75 hp
Tipo de Bomba	Sumergible
Marca del Medidor	Azteca
Medidor Tipo	Propela
Capacidad del arrancador	50- 200 Amp

El aprovechamiento cuenta con diámetro de succión y de descarga de seis pulgadas, una longitud de tubería de succión de 110 metros y una profundidad de perforación de 140 metros. En la Figura 4.1 se aprecia el tren de descarga del aprovechamiento.



Figura 4.1. Tren de descarga U. de R. Toribio No. 38

La Figura 4.2 muestra el croquis de ubicación y de la red de distribución de la U. de R. Toribio No. 38; la línea azul representa la red de distribución de seis pulgadas de diámetro y las líneas amarillas indican la delimitación de las parcelas a las que da servicio el pozo. Cabe señalar que los usuarios indicaron que parte de la red de distribución ha sido instalada por ellos.



Figura 4.2. Ubicación del equipo de bombeo y su red de distribución (U. de R Toribio No. 38)

Tabla 4.2. Información adicional de la tubería U. de R. Toribio No. 38

Material de tubería de dist.	Diámetro de tubería (in)	No. De usos cintilla	Volumen concesionado (m ³)	Coef. de Riego (lps/ha)
PVC	6	2	249,000	0.45

En la Tabla 4.2 se observa información complementaria sobre el número de usos que se le da a la cintilla en esta unidad de riego, además de presentar el coeficiente de riego el cual se calculó como el cociente del promedio de los gastos aforados en las cinco pruebas y la superficie total de riego.

Producción agrícola Unidad de Riego Toribio No. 38 (2014-308)

La Tabla 4.3 muestra la información de la producción agrícola de la unidad de riego Toribio No. 38 durante el ciclo agrícola 2016. Como se puede observar, el ajo es el cultivo más rentable con 156,000 pesos por hectárea, seguido del chile, razón por la cual ambos cultivos predominan en la siembra.

Tabla 4.3. Cultivos, costos de Producción y volumen aplicado en la U. de R. Toribio No.38

Cultivo	Sup. cosechada (ha)	Rendimiento (ton/ha)	Precio medio rural (\$/ton)	Costo producción (\$/ha)	Producción (ton)	Valor de la producción (\$)	Costo total de la producción (\$)	Utilidad (\$)	Lámina (cm)	Volumen (m ³)
Chile	18.00	2.00	44,000.00	30,000.00	36.00	1,584,000.00	540,000.00	1,044,000.00	41.00	73,800
Frijol	12.00	3.00	15,000.00	15,000.00	36.00	540,000.00	180,000.00	360,000.00	27.00	32,400
Ajo	12.00	16.00	16,000.00	100,000.00	192.00	3,072,000.00	1,200,000.00	1,872,000.00	47.00	56,400
Maíz	10.00	10.00	4,000.00	10,000.00	100.00	400,000.00	100,000.00	300,000.00	51.00	51,000
Total	52.00			155,000.00	364.00	5,596,000.00	2,020,000.00	3,576,000.00	166.00	213,600

4.1.1.2. Unidad de Riego Rancho Angélica (2014-485)

Descripción general de la unidad de riego y del equipo de bombeo. Se encuentra situada en las coordenadas geográficas 23 °10 '32.2" Latitud y 102° 40' 45.9" Longitud, en la localidad de Pardillo II en Fresnillo, Zacatecas. Su Representante legal es el C. José Martínez Arteaga siendo único usuario. Con una superficie de 10 hectárea, tenencia de tipo pequeña propiedad y un volumen concesionado de 30,000.00 m³. El sistema de riego utilizado es de multicompuerta y el cultivo más representativo es la alfalfa y en menor proporción el maíz. En la Tabla 4.4 se muestran las características del equipo de bombeo y sus componentes eléctricos.

Tabla 4.4. Características del equipo de bombeo y componentes eléctricos Predio Rancho Angélica

Característica	Valor
Capacidad de transformador	45 (KVA)
Tensión del transformador	13200/440
Potencia de motor	30 hp
Tipo de bomba	Sumergible
Marca del medidor	Dorot
Medidor tipo	Propela
Capacidad del arrancador	N/V Amp

N/V = no visible

El equipo de bombeo cuenta con diámetro de succión y de descarga de cuatro pulgadas, una longitud de tubería de succión de 80 metros y una profundidad de perforación de 100 metros. En la Figura 4.3 se aprecia el tren de descarga del aprovechamiento, el cual en la prueba realizada en 2016 (IMTA 2016) se cambió de orientación, este cambio obedeció para el mejor manejo del aprovechamiento según del usuario (cuestión de espacio). Por comentarios del Sr. José Martínez, el arrancador está formado por varias partes de otros arrancadores de marcas como WESTINHOUSE, SIEMENS entre otras, ya que al momento de su modernización no se contaba con recurso económico para cambiarlo e instalar uno nuevo.

Tabla 4.5. Información adicional de la tubería Predio Rancho Angélica

Material de tubería de dist.	Diámetro de tubería (in)	No. de usos cintilla	Volumen concesionado (m³)	Coef. de Riego (lps/ha)
PVC	6	NA	30,000	1.25

El uso que se le da a la cintilla es de no aplicable (NA), por que el sistema de riego empleado es multicompuerta. El coeficiente de riego es de 1.25 lps/ha (Tabla 4.5).



Figura 4.3. Tren de descarga del Predio Rancho Angélica

La Figura 4.4 muestra el croquis de ubicación y red de distribución de la unidad de riego Predio Rancho Angélica; la línea azul representa la tubería de distribución de seis pulgadas de diámetro, y las líneas amarillas y rojas indican la delimitación de las parcelas a las que da servicio el pozo.



Figura 4.4. Ubicación del equipo de bombeo y su red de distribución (Predio Rancho Angélica)

Producción agrícola Unidad de Riego Rancho Angélica

En la Tabla 4.6 se muestra la producción agrícola de la unidad de riego Rancho Angélica para el ciclo agrícola 2016. Como se aprecia, el cultivo de la alfalfa es el más rentable para esta unidad de riego, sin embargo, el usuario la utiliza para el auto consumo ya cuenta con ganado vacuno, de igual forma es utilizado el maíz cosechado.

Tabla 4.6. Cultivos, costos de Producción y volumen aplicado en el Predio Rancho Angélica

Cultivo	Sup. cosechada (ha)	Rendimiento (ton/ha)	Precio medio rural (\$/ton)	Costo producción (\$/ha)	Producción (ton)	Valor de la producción (\$)	Costo total de la producción (\$)	Utilidad (\$)	Lámina (cm)	Volumen (m ³)
Maíz	5.00	7.00	4,000.00	10,000.00	35.00	140,000.00	50,000.00	90,000.00	33.00	16,500
Alfalfa	5.00	30.00	2,500.00	15,000.00	150.00	375,000.00	75,000.00	300,000.00	147.00	73,500
Total	10.00			25,000.00	185.00	515,000.00	125,000.00	390,000.00	180.00	90,000

4.1.1.3. Unidad de Riego El Cedro (2014-311)

Descripción general de la unidad de riego y del equipo de bombeo. El titular de esta unidad de riego es el C. Isaías Murillo Meza siendo el único usuario, ubicada en las coordenadas latitud 23°05'53.6" y longitud 102°4'15.8", en el Municipio de Calera de Víctor Rosales, Zac; los cultivos predominantes son chile y ajo, en menor proporción alfalfa y maíz, cuenta con una superficie de 10 hectáreas, tenencia es pequeña propiedad, tiene un volumen concesionado de 60,000.00 m³, el sistema de riego utilizado es la cintilla. En la Tabla 4.7 se presentan algunas de las características de los componentes eléctricos, tipo y potencia del motor.

Tabla 4.7. Características del equipo de bombeo y componentes eléctricos Predio El Cedro

Característica	Valor
Capacidad de Transformador	30 (KVA)
Tensión del Transformador	13200/440
Potencia de Motor	30 hp
Tipo de Bomba	Sumergible
Marca del Medidor	Medidores Azteca
Medidor Tipo	Propela
Capacidad del arrancador	36-45 Amp

El aprovechamiento cuenta con diámetro de succión y de descarga de cuatro pulgadas, una longitud de tubería de succión de 110 metros y una profundidad de perforación de 120 metros. En la Figura 4.5 se aprecia el tren de descarga del aprovechamiento. Cabe señalar que el transformador se encuentra a una distancia menor de 40 m de la bomba y que en el cuarto destinado al arrancador se tiene una aglomeración de cintilla usada.

Tabla 4.8. Información adicional de la tubería del predio El Cedro

Material de tubería de dist.	Diámetro de tubería (in)	No. De usos cintilla	Volumen concesionado (m ³)	Coef. de riego (lps/ha)
PVC	4	2	60,000	1.04

El coeficiente de riego para predio El Cedro es de 1.04 lps/ha, el cual fue calculado en base al promedio de los gastos aforados obtenidos en un total de cinco pruebas y dividido entre la superficie regable (Tabla 4.8).



Figura 4.5. Vista del tren de descarga del Predio el Cedro

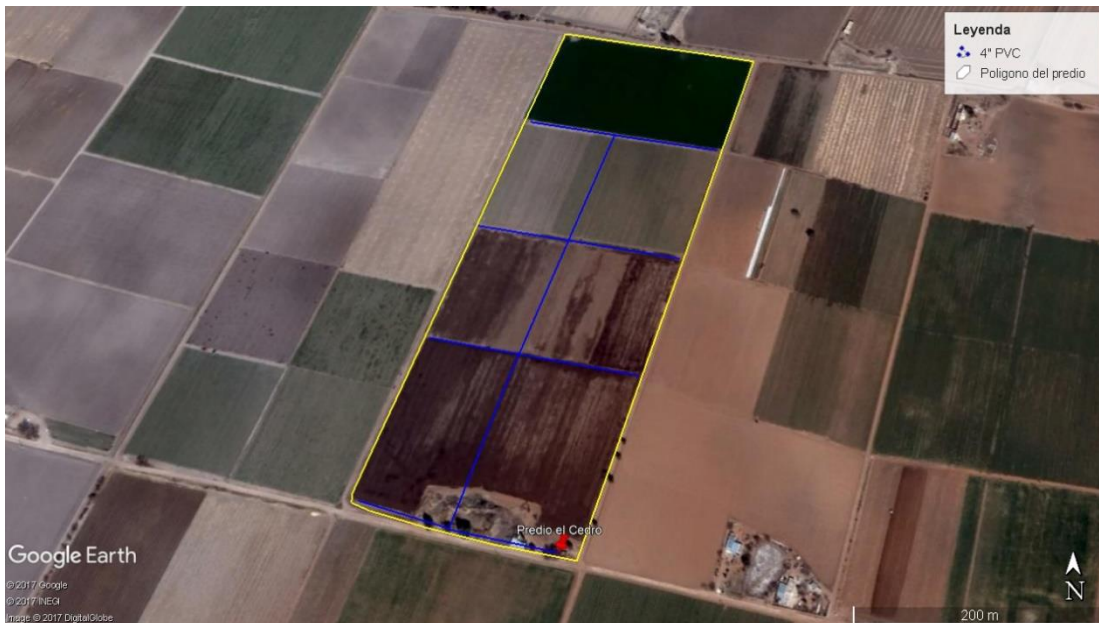


Figura 4.6. Ubicación del equipo de bombeo y su red de distribución (Predio El Cedro)

La Figura 4.6 muestra el croquis de ubicación y de la red de distribución de la unidad de riego Predio el Cedro; la línea azul representa la red de distribución de cuatro pulgadas de diámetro y las líneas amarillas indican la delimitación de las parcelas a las que da servicio el pozo.

Producción agrícola de la Unidad de Riego El Cedro

La Tabla 4.9 muestra la producción agrícola de la unidad de riego El Cedro en el ciclo agrícola 2016. Como puede observarse, el cultivo de ajo seguido del chile son los que presentan una mayor remuneración para el usuario de esta unidad de riego, mientras que el frijol cuenta con la menor utilidad.

Tabla 4.9. Cultivos, costos de producción y volumen aplicado en el Predio el Cedro

Cultivo	Sup. cosechada (ha)	Rendimiento (ton/ha)	Precio medio rural (\$/ton)	Costo producción (\$/ha)	Producción (ton)	Valor de la producción (\$)	Costo total de la producción (\$)	Utilidad (\$)	Lámina (cm)	Volumen (m ³)
Chile	6.00	2.00	40,000.00	35,000.00	12.00	480,000.00	210,000.00	270,000.00	41.00	24,600
Frijol	1.50	2.00	12,000.00	6,000.00	3.00	36,000.00	9,000.00	27,000.00	29.00	4,350
Alfalfa	2.50	25.00	2,700.00	16,000.00	62.50	168,750.00	40,000.00	128,750.00	210.00	52,500
Ajo	5.00	13.00	14,000.00	90,000.00	65.00	910,000.00	450,000.00	460,000.00	40.00	20,000
Total	15.00	42.00	68,700.00	147,000.00	142.50	1,594,750.00	709,000.00	885,750.00	320.00	101,450

4.1.1.4. Unidad de Riego el Mirador (2014-418)

Descripción general de la unidad de riego y equipo de bombeo. El representante legal de esta unidad de riego es el Sr. Humberto Félix Martínez, la unidad de riego se encuentra ubicada en el municipio de Calera de Víctor Rosales Zac. en las coordenadas geográficas 22°58'12.6" Latitud y 102°37'29.9" longitud. Los principales cultivos de esta unidad de riego son chile y ajo, en menor proporción el maíz y frijol; el sistema de riego existente es cintilla; cuenta con un volumen concesionado de 90,000.00 m³ y una superficie regable de 17.5 hectáreas, con tenencia de tipo pequeña propiedad; además de estar interconectado con el pozo Predio San José. En la Tabla 4.10 se muestran las características del equipo de bombeo y sus componentes eléctricos; en la Figura 4.8 se muestra el tren de descarga de este aprovechamiento.

Tabla 4.10. Características del equipo de bombeo y componentes eléctricos Predio El Mirador

Característica	Valor
Capacidad de Transformador	45 (KVA)
Tensión del Transformador	13200/440
Potencia de Motor	50 hp
Tipo de Bomba	Sumergible
Marca del Medidor	Medidores Azteca
Medidor Tipo	Propela
Capacidad del arrancador	57-75 Amp

Según lo reportado en la literatura para la potencia del motor dada en la Tabla 4.10, la capacidad del transformador debería ser 75 KVa.

Tabla 4.11. Información adicional de la tubería del predio El Mirador

Material de tubería de dist.	Diámetro de tubería (pulgadas)	No. De usos cintilla	Volumen concesionado (m ³)	Coef. de Riego (lps/ha)
PVC	4,6, 8 y 14	2	90,000	0.52

La información mostrada en la Tabla 4.11 hace referencia al coeficiente de riego el cual resultó de 0.52 lps/ha, el cálculo de este parámetro se realizó utilizando un promedio de los gastos aforados en las cinco pruebas. El uso que se le da a la cintilla es de dos, utilizándola primeramente en cultivos como ajo y chile y en segundo en el maíz o frijol.



Figura 4.7. Vista del tren de descarga del Predio el Mirador



Figura 4.8. Ubicación del equipo de bombeo y su red de distribución (Predio el Mirador)

La Figura 4.8 muestra el croquis de ubicación y de la red de distribución de la unidad de riego Predio el Mirador; las líneas azules representa la red de distribución de seis pulgadas de diámetro, las líneas rosa son tubería de 14 pulgadas de diámetro, las rojas 8 pulgadas de diámetro, las azules de 6 pulgadas de diámetro y las verdes de cuatro pulgadas de diámetro, mientras que las líneas amarillas indican la delimitación de las parcelas a las que da servicio el pozo.

Producción de la Unidad de Riego Predio el Mirador (2014-418)

La Tabla 4.12 muestra los cultivos, costos de producción y volumen aplicado en el Predio el Mirador. De la Tabla 4.12, se tiene que el ajo es el cultivo más rentable para el productor seguido del chile, aun y cuando sus costos de producción son mayores a los cultivos restantes. Los rendimientos se consideran aceptables ya que se utilizan buenas prácticas agrícolas.

Tabla 4.12. Cultivos, costos de producción y volumen aplicado en el Predio el Mirador

Cultivo	Sup. cosechada (ha)	Rendimiento (ton/ha)	Precio medio rural (\$/ton)	Costo producción (\$/ha)	Producción (ton)	Valor de la producción (\$)	Costo total de la producción (\$)	Utilidad (\$)	Lámina (cm)	Volumen (m ³)
Chile	14.00	14.00	6,500.00	35,000.00	196.00	1,274,000.00	490,000.00	784,000.00	30.38	42,532
Frijol	12.00	3.00	10,000.00	20,000.00	36.00	360,000.00	240,000.00	120,000.00	16.00	19,200
Ajo	12.00	15.00	15,000.00	70,000.00	180.00	2,700,000.00	840,000.00	1,860,000.00	36.00	43,200
Total	38.00	32.00	31,500.00	125,000.00	412.00	4,334,000.00	1,570,000.00	2,764,000.00	82.38	104,932

4.1.1.5. Unidad de Riego San José (2014-407)

Características generales de la unidad de riego y del equipo de bombeo. El predio San José se encuentra ubicado en el municipio de Calera de Víctor Rosales, Zac., en las coordenadas geográficas 22°58'05.9" Latitud y 102°37'24.9" longitud. El titular es el Sr. Humberto Félix Martínez.

El chile y ajo son los principales cultivos de esta unidad de riego y en menor proporción el maíz y frijol. El único sistema de riego existente es la cintilla, cuenta con un volumen concesionado de 90,000.00 m³ y una superficie de riego de 17.5 hectáreas, con tenencia de tipo pequeña propiedad. En la Tabla 4.13 se muestran las características del equipo de bombeo y sus componentes eléctricos.

Tabla 4.13. Características del equipo de bombeo y componentes eléctricos Predio San José

Característica	Valor
Capacidad de Transformador	45 (KVA)
Tensión del Transformador	13200/440
Potencia de Motor	40 hp
Tipo de Bomba	Sumergible
Marca del Medidor	Medidores Azteca
Medidor Tipo	Propela
Capacidad del arrancador	45- 63 Amp

El aprovechamiento cuenta con diámetro de succión y de descarga de cuatro pulgadas, una longitud de tubería de succión de 172.80 metros y una profundidad de perforación de 178 metros. En la Figura 4.9 se aprecia el tren de descarga del aprovechamiento.

Tabla 4.14.. Información adicional de la tubería del predio San José

Material de tubería de dist.	Diámetro de tubería (in)	No. De usos cintilla	Volumen concesionado (m ³)	Coef. de Riego (lps/ha)
PVC	4,6, 8 y 14	2	90,000	0.48

Esta unidad de riego cuenta con cuatro distintos diámetros de tubería de distribución (Tabla 4.14); su coeficiente de riego es de 0.48 lps/ha, este fue calculado considerando el promedio de los gastos aforados por el medidor de flujo ultrasónico de las cinco pruebas realizadas.



Figura 4.9. Vista del tren de descarga del Predio San José



Figura 4.10. Ubicación del equipo de bombeo y su red de distribución (Predio San José)

La Figura 4.10 muestra el croquis de ubicación y de la red de distribución de la unidad de riego Predio el San José; las líneas azules representan la red de distribución de seis pulgadas de diámetro; las líneas rosa son tubería de 14 pulgadas de diámetro; las rojas 8 pulgadas de diámetro y las verdes de cuatro pulgadas de diámetro, mientras que las líneas amarillas indican la delimitación de las parcelas a las que da servicio el pozo.

Producción agrícola de la Unidad de Riego San José (2014-407)

La Tabla 4.15 muestra la producción agrícola de la unidad de riego San José para el ciclo agrícola 2016. Como se puede observar en dicha tabla, los cultivos más rentables en la unidad son el ajo y chile. Aunque los costos de producción de estos cultivos son elevados comparados con el frijol, la utilidad es superior a la obtenida en el frijol. Cabe aclarar que el rendimiento y precio medio rural del chile es en verde.

Tabla 4.15. Cultivos, costos de producción y volumen aplicado en el Predio San José

Cultivo	Sup. cosechada (ha)	Rendimiento (ton/ha)	Precio medio rural (\$/ton)	Costo producción (\$/ha)	Producción (ton)	Valor de la producción (\$)	Costo total de la producción (\$)	Utilidad (\$)	Lámina (cm)	Volumen (m3)
Chile	14.00	14.00	6,500.00	35,000.00	196.00	1,274,000.00	490,000.00	784,000.00	30.38	42,532
Frijol	12.00	3.00	10,000.00	20,000.00	36.00	360,000.00	240,000.00	120,000.00	16.00	19,200
Ajo	12.00	15.00	15,000.00	70,000.00	180.00	2,700,000.00	840,000.00	1,860,000.00	36.00	43,200
Total	38.00	32.00	31,500.00	125,000.00	412.00	4,334,000.00	1,570,000.00	2,764,000.00	82.38	104,932

4.1.1.6. Unidad de Riego Casa Blanca (2014-496)

Características generales de la unidad de riego y del equipo de bombeo. En la comunidad de Pardillo I municipio de Fresnillo de González Echeverría estado de Zacatecas se encuentra la unidad de riego Predio Casa Blanca, en las coordenadas geográficas latitud 23°11' 27.7" y 102°44' 59.1" longitud.

La tenencia de la tierra es pequeña propiedad, el representante legal es el Sr. Leopoldo Escobedo; él y su padre son los usuarios del pozo. Esta unidad tiene un volumen concesionado anual de 150,000.00 m³ para regar una superficie de 27 hectáreas. El sistema de riego utilizado es cintilla y el patrón de cultivos varía en orden de importancia: chile, maíz, avena, tomate, tomate verde y pepino; según el usuario los cultivos de avena y maíz son utilizados para auto consumo ya que cuentan con ganado vacuno. En la Tabla 4.16 se presentan las características del equipo electromecánico. La Figura 4.11 muestra la panorámica del aprovechamiento.

Tabla 4.16. Características del equipo de bombeo y componentes eléctricos Predio Casa Blanca

Característica	Valor
Capacidad de Transformador	30 (KVA)
Tensión del Transformador	13200/440
Potencia de Motor	30 hp
Tipo de Bomba	Sumergible
Marca del Medidor	Hidráulica
Medidor Tipo	Propela
Capacidad del arrancador	36-45 Amp

Tabla 4.17. Información adicional de la tubería del predio Casa Blanca

Material de tubería de dist.	Diámetro de tubería (in)	No. De usos cintilla	Volumen concesionado (m ³)	Coef. de Riego
PVC	6	2	150,000	0.60

La tubería de distribución de este aprovechamiento es de PVC de seis pulgadas de diámetro, cabe señalar que el usuario la instaló de manera superficial, el coeficiente de riego para esta unidad de riego es de 0.60, el cual fue calculado con el promedio de los gastos aforados en un total de cinco pruebas (Tabla 4.17).



Figura 4.11. Vista del Tren de descarga del Predio Casa Blanca



Figura 4.12. Ubicación del equipo de bombeo y su red de distribución (Predio Casa Blanca)

La Figura 4.12 muestra el croquis de ubicación parcelaria, además de la red de conducción y distribución de la unidad de riego Predio Casa Blanca; la línea azul representa la tubería de seis pulgadas de diámetro y las líneas amarillas indican la delimitación de las parcelas a las que da servicio el pozo.

Producción agrícola de la Unidad de Riego Casa Blanca (2014-496)

La Tabla 4.18 muestra la producción agrícola de la unidad de riego Casa Blanca en el ciclo agrícola 2016. Como se puede observar, en esta unidad de riego el cultivo de chile predomina en superficie y utilidad, aunque el tomatillo y pepino como son de ciclo corto favorecen a tener ingresos más inmediatos.

Tabla 4.18. Cultivos, costos de producción y volumen aplicado en el Predio Casa Blanca

Cultivo	Sup. cosechada (ha)	Rendimiento (ton/ha)	Precio medio rural (\$/ton)	Costo producción (\$/ha)	Producción (ton)	Valor de la producción (\$)	Costo total de la producción (\$)	Utilidad (\$)	Lámina (cm)	Volumen (m ³)
Chile	13.00	1.00	37,000.00	30,000.00	13.00	481,000.00	390,000.00	91,000.00	39.00	50,700
Pepino	6.00	40.00	5,000.00	20,000.00	25.00	125,000.00	120,000.00	5,000.00	14.00	8,400
Tomatillo	8.00	30.00	3,000.00	15,000.00	30.00	140,000.00	120,000.00	20,000.00	14.00	11,200
Total	27.00	71.00	46,000.00	65,000.00	73.00	746,000.00	630,000.00	116,000.00	67.00	70,300

4.1.2. Análisis del comportamiento de la eficiencia electromecánica y el índice energético por unidad de riego

4.1.2.1. Resultados Unidad de Riego Toribio No. 38 (2014-308)

Eficiencia electromecánica. Para la realización de la prueba se siguió la metodología descrita en el apartado 3.2.2. En las Figuras 4.13 a 4.22 se presentan los resultados de la eficiencia electromecánica a través del tiempo desde la prueba diagnóstica realizada en 2014 y las cinco pruebas en 2017.

En la Figura 4.13 se observa la variación de la eficiencia electromecánica realizada en nueve ocasiones, las cuales presentan valores por debajo de los establecidos a partir del año 2016 según la NOM-006-ENER-2015. En la prueba PMTEUR 2014 presenta el valor más alto, sin embargo, al calcular nuevamente con los valores de gasto, nivel dinámico y presión manométrica medida a la descarga, y al ser procesados en una hoja de cálculo de Excel programada para obtener la eficiencia electromecánica, se presentó un valor menor al reportado de 61.5 %; mientras que los resultados para los años 2015 y 2016 su tendencia es a la baja.

En el año 2017 el promedio en las pruebas 1-A IMTA 2017 a 5-A IMTA 2017 es de 48.47 %. Continuando la tendencia a la baja hasta la prueba 2-A IMTA 2017 y presentando una recuperación en las últimas tres.

La eficiencia en la prueba 1A –IMTA 2017 es mayor que las demás (Figura 4.13), en esta prueba la presión manométrica a la descarga fue mayor, debido a la cercanía donde se estaba proporcionando el servicio de riego con respecto al equipo de bombeo (en puntos más lejanos donde se establece el servicio de riego la presión manométrica disminuye por el aumento de las pérdidas por fricción) (Figura 11), lo que favoreció a que la eficiencia electromecánica aumentará.

Gasto. En las últimas cinco pruebas de eficiencia los gastos de extracción presentan un promedio de 18.04 lps. En la Figura 4.14 el gasto en la medición diagnóstica es de 36 lps, en ésta no se realizó aforo y se tomó el valor del gasto concesionado según el informe del expediente técnico. Aún cuando el gasto de 20 lps es menor en la PMTEUR 2014 que en las IMTA 2015 y 2016, la eficiencia electromecánica es mayor (Figura 8), esto debido a la poca veracidad de los datos obtenidos en dicho estudio. De la prueba IMTA 2015 y 2016 el gasto tiende a bajar muy poco (1.56 lps) sin embargo, la eficiencia electromecánica varía 4.71 en puntos porcentuales.

Nivel dinámico. Los niveles dinámicos presentan una tendencia a incrementarse a partir de la prueba IMTA 2015, aunque en 1A –IMTA 2017 e 2A–IMTA 2017 se mantuvieron casi constante al pasar de 100.90 a 100.91 m (Figura 4.15).

Factor de Potencia. Desde la prueba PMTEUR 2014 el factor de potencia (FP) (Figura 4.17), ha incrementado significativamente de 0.83 hasta 0.87 y manteniéndose constante en 2A–IMTA, 3A–

IMTA y 5A-IMTA 2017. Presentando un promedio de 0.86 en las cinco pruebas de eficiencia electromecánica realizadas en 2017.

Potencia Real. La potencia real cuenta con el valor más bajo en la prueba 1A-IMTA 2017 (37.73 kW) y máximo en 5A-IMTA 2017 (41.33 kW) como se muestra en la Figura 4.19.

Corriente. Esta alcanzó un amperaje superior en la prueba 2A-IMTA 2017 y el menor en la 4A-IMTA 2017, como se presenta en la Figura 15.

Respecto a la variación en los parámetros eléctricos posiblemente se deba a la operación de la gran cantidad de equipos de bombeo conectados a las líneas de distribución de energía eléctrica.

Índice energético. La fluctuación del índice energético (IE) ha sido mínima en las cinco pruebas del 2017, con un valor muy similar de 0.59 a 0.63 KWh/m³. En los años IMTA 2015 y 2016 el índice energético es menor (Figura 13) debido a que el gasto extraído por la bomba en esos años es superior al reportado en 2017, mientras que la potencia real para esos mismos fue de 43.60 y 41.33 kW.

Tensión. El voltaje se elevó en la prueba IMTA 2016 lo que conlleva a que la eficiencia disminuyera ya que lo ideal sería que el motor trabajara a una tensión 5% menor o igual a 440 volts, mientras que en la 3A- IMTA sufrió un descenso, cuyo valor también se encuentra fuera del rango del 5% de la tensión nominal (Figura 4.21).

Tabla 4.19. Resumen de los datos hidráulicos de las pruebas realizadas de U. de R. Toribio No.38

Prueba	Q (lps)	H total (m)	Potencia salida	Potencia de entrada	Eficiencia Electro- mecánica (%)	IE (Kwh/m ³)	H a la descarga (m)	Presión a la descarga (m)
IMTA 2015	23.90	107.78	25.26	43.73	57.76	0.51	11.64	10.43
IMTA 2016	22.34	104.06	22.80	42.92	53.05	0.53	7.03	5.26
1A-IMTA 2017	17.47	116.33	19.93	39.69	50.20	0.60	15.43	15.38
2A-IMTA 2017	18.02	108.75	19.22	41.10	46.76	0.63	7.85	7.59
3A-IMTA 2017	17.64	110.15	19.06	40.28	47.30	0.63	8.37	8.33
4A-IMTA 2017	17.69	111.04	19.26	39.49	48.78	0.62	10.48	10.43
5A-IMTA 2017	19.38	107.31	20.39	41.36	49.31	0.59	6.35	5.52

H total= Carga total, H a la descarga=Carga a la descarga

La Tabla 4.19 muestra un compendio de los datos hidráulicos resultados de la realización de las pruebas; en ella se puede observar como la carga total ha variado de 116 a 107.31 metros. Estos cambios son debidos principalmente a la presión medida en el manómetro la cual es influenciada por el manejo del sistema de riego, además de la localización del punto de entrega del servicio de riego con respecto a la fuente de abastecimiento.

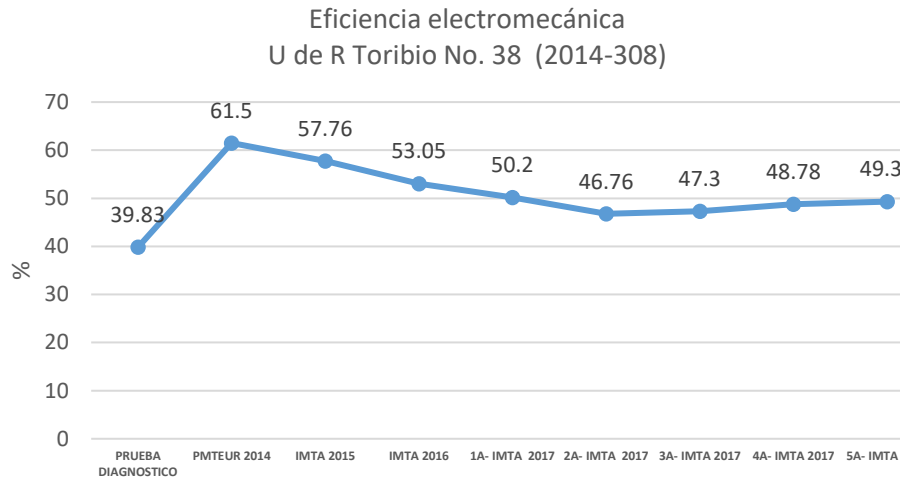


Figura 4.13. Porcentaje de eficiencia electromecánica en el período 2014- 2017, U. de R. Toribio No.38

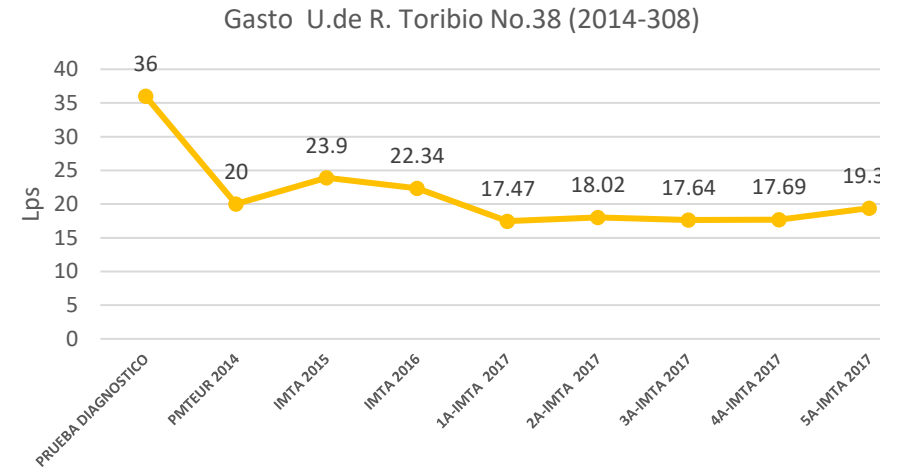


Figura 4.14. Gasto extraído (lps) en el período 2014- 2017, U. de R. Toribio No.38

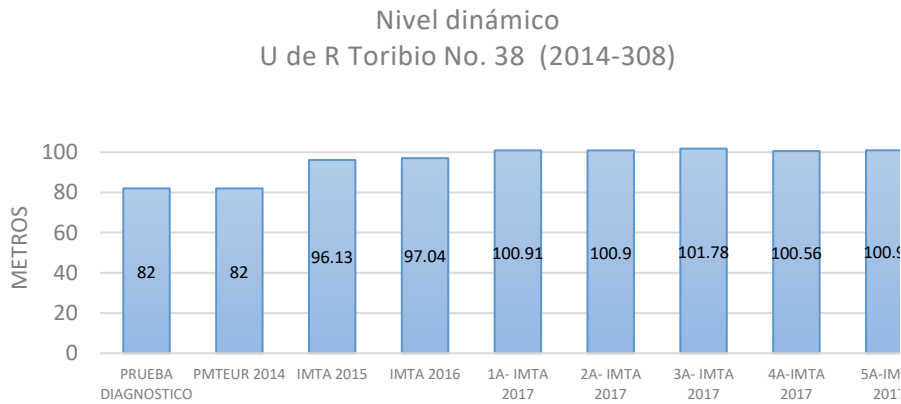


Figura 4.15. Nivel dinámico obtenido de las pruebas realizadas en los años 2014- 2017, U. de R. Toribio No.38

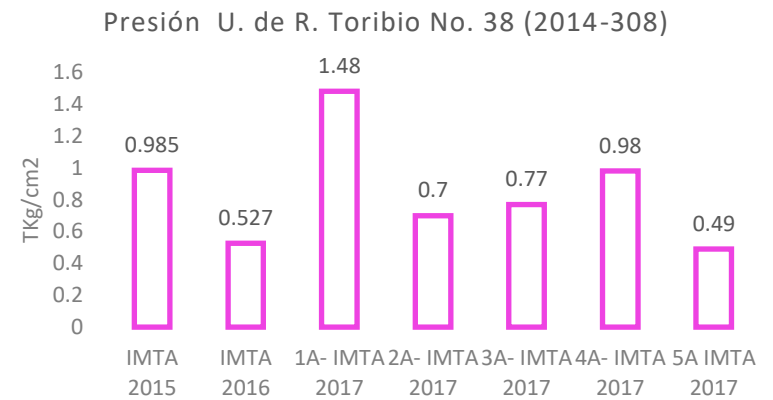


Figura 4.16. Presión manométrica medida a la descarga en las pruebas de 2015- 2017, U. de R. Toribio No.38

F.P. U DE R TORIBIO NO. 38 (2014-308)

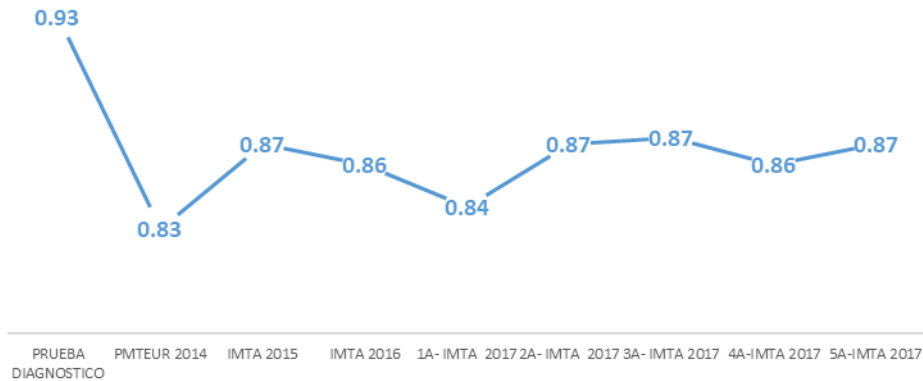


Figura 4.17. Factor de potencia obtenido por el analizador de corriente en nueve pruebas realizadas desde el 2014 al 2017, U. de R. Toribio No.38

IE U DE R TORIBIO NO. 38 (2014-308)

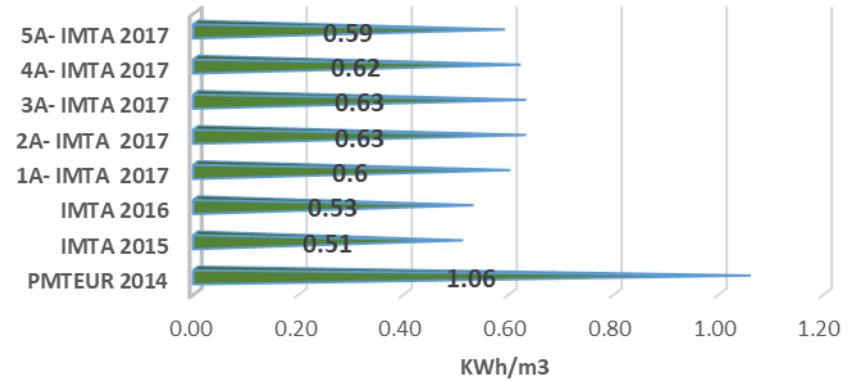


Figura 4.18. Índice energético reportado desde la prueba en 2014 a 2017, U. de R. Toribio No.38

Promedio Potencia Real U de R No. 38 (2014-308)

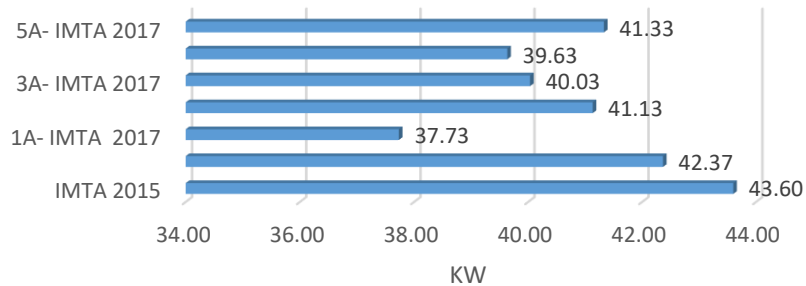


Figura 4.19. Potencia promedio medida en siete pruebas de la U. de R. Toribio No.38

Corriente Promedio U. de R. Toribio o. 38 (2014-308)

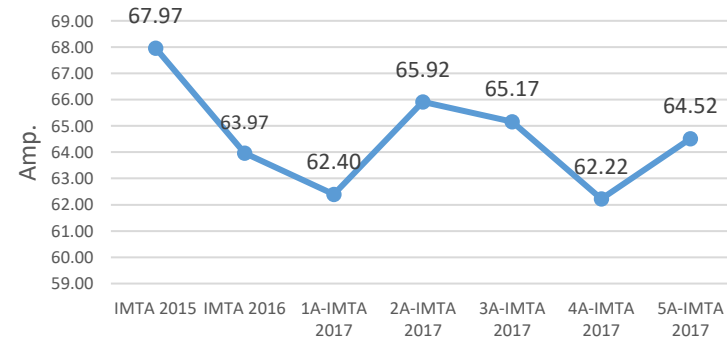


Figura 4.20. Corriente promedio obtenida en las pruebas realizadas entre 2015 y 2017 U. de R. Toribio No.38

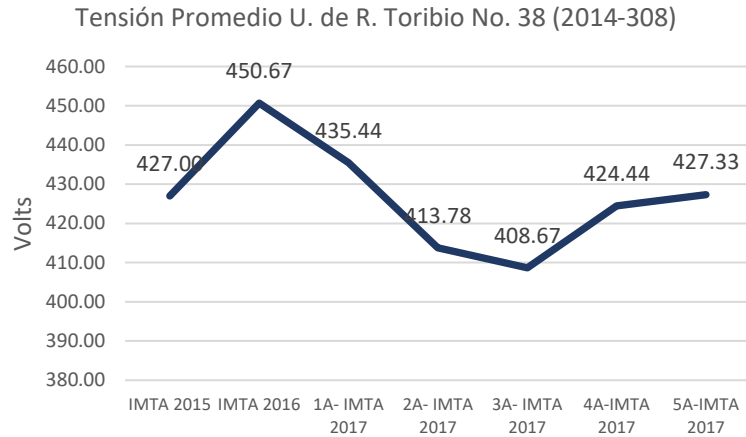


Figura 4.21. Tensión Promedio para cada una de las pruebas de la U. de R. Toribio No.38

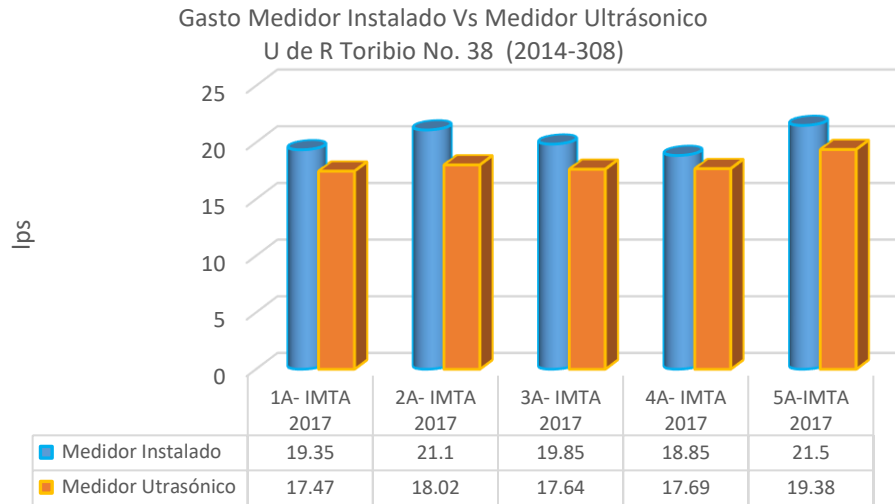


Figura 4.22. Comparación entre el medidor y el medidor ultrasónico del volumen extraído por el aprovechamiento U. de R. Toribio No.38

En cuanto al gasto extraído reportado por el medidor volumétrico totalizador y el medidor de flujo ultrasónico portátil, presentan una diferencia promedio del 11% con respecto al ultrasónico (Figura 4.22). Las diferencias de los gastos aforados es probable que sean debidas a la falta de mantenimiento del pozo y del medidor.

Tabla 4.20. Volumen acumulado y volumen total extraído en los períodos de prueba de la U. de R. Toribio No.38

Prueba	Volumen acumulado (m ³)	Prueba	Volumen acumulado (m ³)
1A- IMTA 2017	1,138,083.00	IMTA 2015	281,074.20
2A- IMTA 2017	1,176,232.00	IMTA 2016	752,543.90
3A- IMTA 2017	1,204,244.00		
4A- IMTA 2017	1,247,275.00		
5A- IMTA 2017	1,266,969.00		
Volumen total extraído (diferencia última menos primera)	128,886		471,469.70

La Tabla 4.20 describe que el total de volumen extraído en el período 2015-2016 es de 471,469.70 m³ mientras que en el período 2016 a octubre 2017 (5A- IMTA) lleva una extracción de 514,426.00 m³. En las cinco pruebas de 2017 (junio-octubre) el volumen extraído es 128,886.00 m³. Esta unidad de riego cuenta con un volumen anual concesionado de 249, 000 m³ a la fecha se ha extraído el 107 % más del volumen asignado para la unidad de riego.

4.1.2.2. Resultados Unidad de Riego Rancho Angélica (2014-485)

Eficiencia electromecánica. Los resultados de las pruebas de eficiencia muestran una tendencia a la baja derivado de la disminución del gasto extraído en cada una de las pruebas (Figura 4.23). La variación del gasto aforado puede deberse al tiempo de horas trabajadas del equipo de bombeo al momento de la realización de la prueba y a la ubicación de la descarga, ya que por comentarios del Sr. José Martínez después de dos o más días se estabiliza el gasto.

Gasto. En las pruebas de aforo del año 2017 su tendencia es a bajar de 13.93 a 11.96 lps, presentando un promedio de 12.5 lps como se muestra en la Figura 4.24. El gasto en la prueba diagnóstico es de 17 lps. La variación del gasto se debe al número de horas trabajadas por el equipo de bombeo. Cuando el equipo lleva varios días funcionando los gastos aforados (1A-IMTA y 4A-IMTA 2017) son un poco mayores con respecto a los gastos cuando el equipo se enciende y en el transcurso de la prueba se realiza el aforo. En adición, el gasto es influenciado por la cercanía donde se proporciona el riego con respecto a la fuente de abastecimiento (entre más cerca de la fuente de abastecimiento se proporcione el riego el gasto tiende a aumentar).

Nivel dinámico. En las pruebas realizadas en 2017, se observa que el nivel dinámico varía con respecto a las horas de bombeo (Figura 4.25), ya que en 1A – IMTA tenía cuatro días funcionando

y en 2A – IMTA y 3A – IMTA solo se encendió para la realizar el estudio de eficiencia electromecánica por espacio de una hora.

Factor de potencia. El factor de potencia se tiene un promedio de 0.84 para las pruebas de 2017. En las pruebas realizadas IMTA 2015, IMTA 2016 y 1A- IMTA 2017 tiene un valor igual de 0.83. Presentado un incremento a 0.85 en las pruebas restantes (Figura 4.27).

Potencia Real. Prácticamente se ha mantenido constante en las pruebas de 2015 a 2A-IMTA 2017 y 4A-IMTA 2017 con un promedio de 19.69 kW y con una disminución no muy significativa en el resto de las pruebas.

Corriente. A partir de la prueba IMTA 2016 se presenta una tendencia a incrementarse (2.28 Amp), excepto en la 5A-IMTA 2017. Esta tendencia puede deberse a las variaciones del suministro de energía por la gran cantidad de equipos que operan al mismo tiempo (Figura 4.30).

Índice energético. El índice manifiesta una ligera diferencia en las pruebas IMTA 2015 e IMTA 2016 (0.32 y 0.34 respectivamente) aun cuando la diferencia de gasto en estas pruebas fue de 0.88 lps y su potencia real vario 0.78 kW; sin embargo, en las pruebas subsecuentes el índice aumentó de 0.38 a 0.43 kwh/m³, este aumentó originado por la reducción del caudal extraído aun cuando la potencia real promedio del aprovechamiento no sufrió serias alteraciones exceptuando la prueba (3 A-IMTA 2017, con un descenso de 3.86 kW), Figura 4.28.

Tensión. La tensión nominal es muy cercana a la tensión del motor (220 V) ya que la literatura recomienda que no exista una desviación máxima del 5 %, por lo que las variaciones de tensión para este caso no afectan significativamente a la eficiencia (Figura 4.31). El usuario manifiesta que en breve hará el cambio a 440 V para que trabaje más eficiente el equipo.

Presión manométrica. Se ha encontrado que la presión manométrica varía de acuerdo al sistema de riego empleado y el punto donde se proporciona el servicio de riego con respecto a la fuente de abastecimiento. Para este caso en lo que respecta a las pruebas 2A – IMTA y 3A – IMTA la presión es igual debido a que la descarga estaba ubicada en el mismo punto; mientras que en 1A – IMTA, se encontraba regando más alejado a la fuente de abastecimiento. En las pruebas 4A – IMTA y 5A – IMTA 2017 la presión es aún menor por que el riego se proporcionó en parcelas muy cerca de la fuente de abastecimiento (Figura 4.26). Cabe aclarar que en esta unidad de riego el sistema es multicompuerta, haciendo buen manejo del mismo.

Tabla 4.21 Resumen de los datos hidráulicos de las pruebas realizadas de Predio Rancho Angélica

Prueba	Q (lps)	H total (m)	Potencia salida	Potencia de entrada	Eficiencia electro- mecánica (%)	IE (Kwh/ m ³)	H a la descarga (m)	Presión a la descarga (m)
IMTA 2015	17.15	66.40	11.16	20.05	53.29	0.32	8.83	2.46
IMTA 2016	16.27	62.86	10.03	19.66	51.08	0.34	4.70	1.53
1A-IMTA 2017	13.93	71.35	9.75	19.63	49.65	0.383	10.92	8.54
2A-IMTA 2017	12.71	66.28	8.26	19.42	42.51	0.43	7.03	5.02
3A-IMTA 2017	11.17	65.7	7.20	38.04	38.04	0.393	6.62	5.03
4A-IMTA 2017	12.74	64.49	8.06	40.57	40.55	0.43	4.42	2.40
5A-IMTA 2017	11.96	65.31	7.66	38.55	39.30	0.41	5.71	2.19

H total= Carga total, H a la descarga = Carga a la descarga

En la Tabla 4.21 se observa la variación de la presión a la descarga, dicho parámetro se vio influenciado por la lectura del manómetro a la descarga, estos cambios son debidos a la operación del sistema de riego, además de la localización de entrega del riego con respecto a la fuente de abastecimiento.

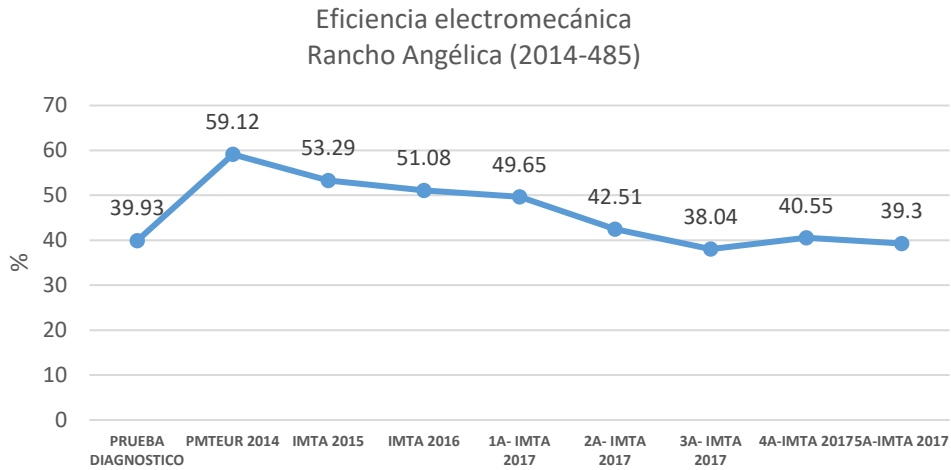


Figura 4.23. Porcentaje de eficiencia electromecánica en el período 2014- 2017 Predio Rancho Angélica

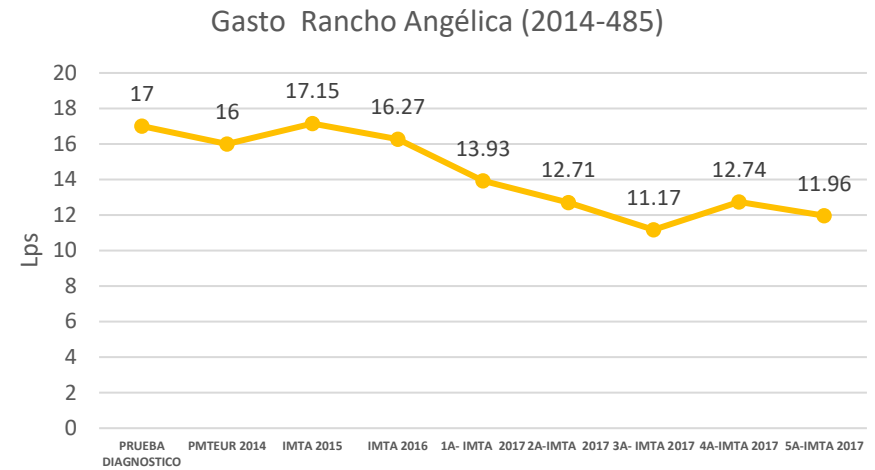


Figura 4.24. Gasto extraído (lps) en el período 2014- 2017, Predio Rancho Angélica

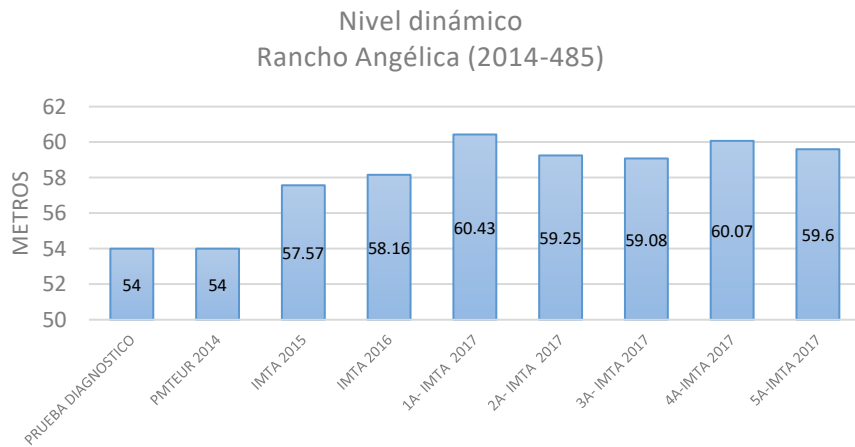


Figura 4.25. Nivel dinámico obtenido de las pruebas realizadas en los años 2014- 2017, Predio Rancho Angélica

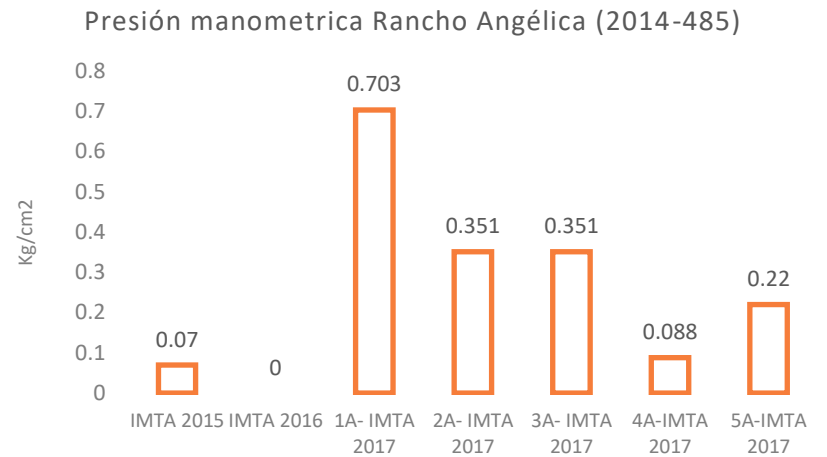


Figura 4.26. Presión manométrica medida a la descarga en las pruebas de 2015- 2017, Predio Rancho Angélica

F.P RANCHO ANGÉLICA (2014-485)

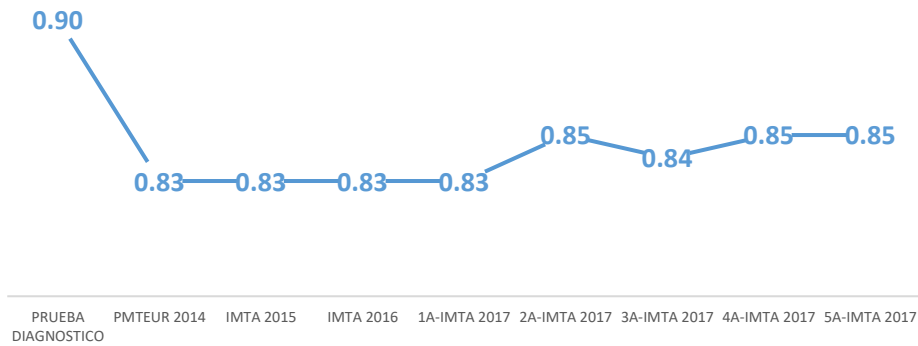


Figura 4.27. Factor de potencia obtenido por el analizador de corriente en nueve pruebas realizadas desde el 2014 al 2017, Predio Rancho Angélica

IE RANCHO ANGÉLICA (2014-485)

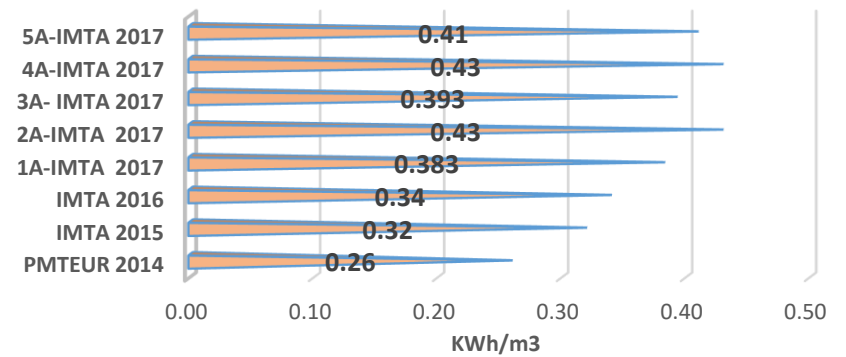


Figura 4.28. Índice energético reportado desde la prueba en 2014 a 2017, Predio Rancho Angélica

Promedio Potencia Real Rancho Angélica (2014-485)

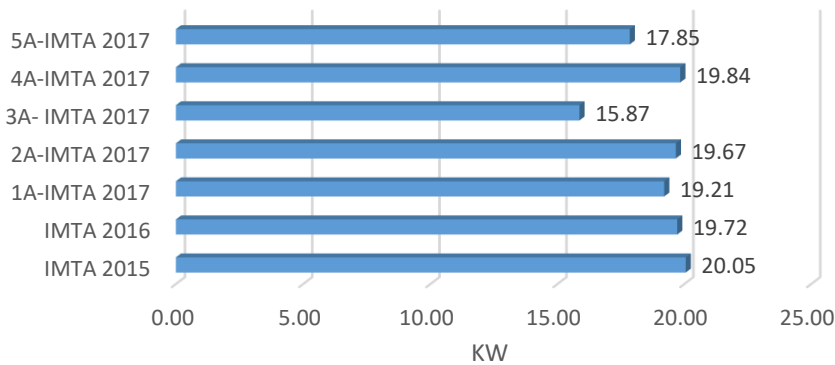


Figura 4.29. Potencia promedio medida en nueve pruebas, Predio Rancho Angélica

Corriente Promedio Rancho Angélica (2014-485)

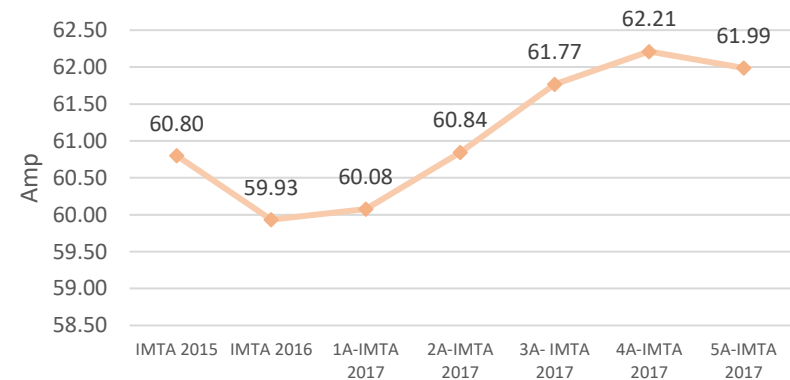


Figura 4.30. Corriente promedio obtenida en las pruebas realizadas entre 2015 y 2017, Predio Rancho Angélica

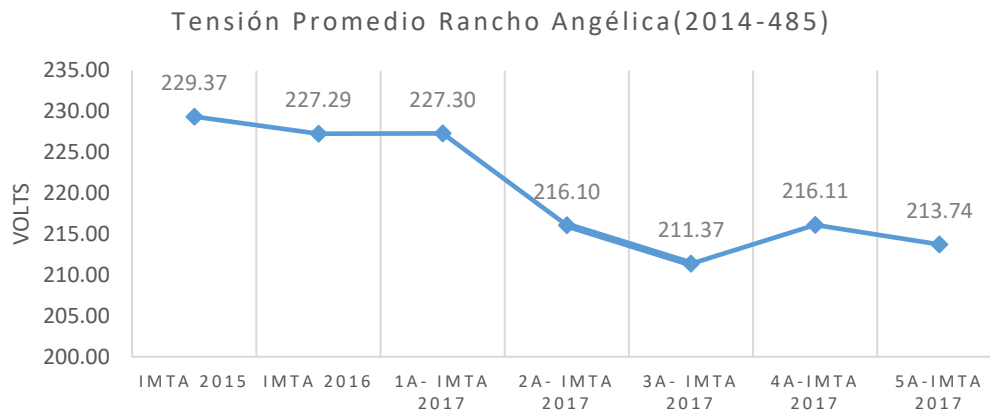


Figura 4.31. Tensión promedio medida en las pruebas desde 2015 a 2017, Predio Rancho Angélica

Los valores de los gastos aforados tanto por el medidor volumétrico totalizador y el medidor de flujo ultrasónico portátil observan una diferencia promedio con respecto al medidor ultrasónico de 19.6 % (Figura 4.32) debido probablemente a la falta de mantenimiento y posible desgaste de las partes mecánicas del medidor instalado en el tren de descarga (hélice o propela).

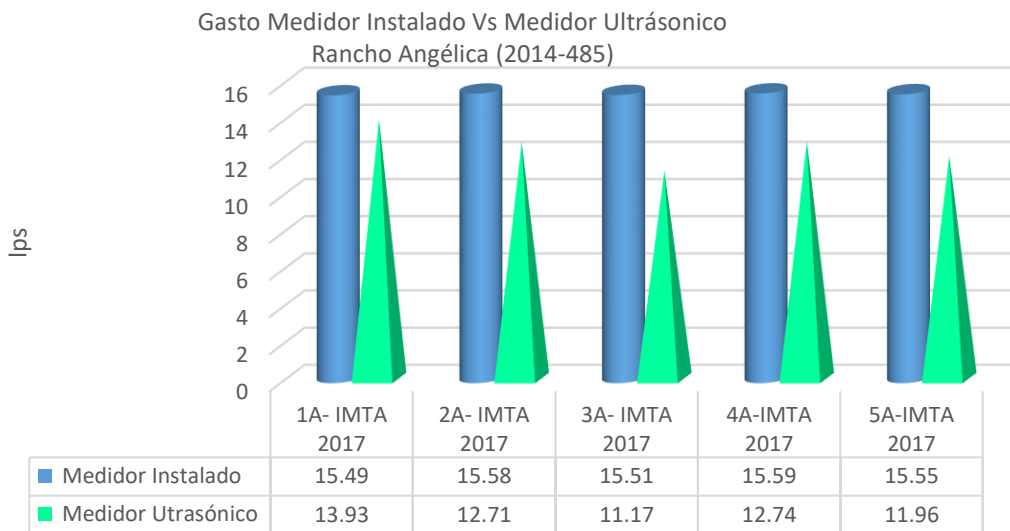


Figura 4.32. Comparación entre el medidor instalado y el medidor ultrasónico del volumen extraído por el aprovechamiento, Predio Rancho Angélica

Tabla 4.22. Volumen acumulado y volumen total extraído en los períodos de prueba, Predio Rancho Angélica

Prueba	Volumen acumulado (m ³)	Prueba	Volumen acumulado (m ³)
1A- IMTA 2017	279,263.00	IMTA 2015	53,181.00
2A- IMTA 2017	297,440.00	IMTA 2016	168,100.00
3A- IMTA 2017	301,992.00		
4A- IMTA 2017	315,088.00		
5A- IMTA 2017	336,096.00		
Volumen total extraído	56,833.00		114,919.00

En la Tabla 4.22 se visualiza el volumen total extraído en el período anual de 2015 a 2016 con un valor de 114,919.00 m³, mientras que para los meses de junio a octubre del presente se ha extraído la cantidad de 56,833.00 m³, cabe señalar que esta unidad de riego cuenta con un volumen concesionado de 30,000 m³ y que en lo que va del período 2016 a la fecha de la 5A- IMTA 2017 ha sustraído 167,996.00 m³, teniendo como resultado que ha incrementado en de un 460 % más de su volumen permitido.

4.1.2.3. Resultados Unidad de Riego El Cedro (2014-311)

Eficiencia electromecánica. La tendencia de los resultados de las pruebas de eficiencias realizadas desde 2014 a 2017 es a la baja, presentándose el mayor descenso en la 1A-IMTA 2017 (Figura 4.33) con 42.36 %. De acuerdo a la norma antes mencionada la eficiencia electromecánica en un motor de 21 a 50 hp debe ser 47 %, siendo la prueba anteriormente mencionada la única de las realizadas en donde esta condición no es cumplida; es ineludible señalar que al llevarse a cabo las pruebas 2A-IMTA a 5A-IMTA 2017 el equipo de bombeo tenía unas cuantas horas de funcionamiento, no así para la prueba 1A-IMTA 2017 que ya llevaba días trabajando. Siendo este equipo de bombeo el único que se mantiene afín a la normatividad.

Gasto. En cuanto al gasto extraído aforado con el medidor de flujo ultrasónico portátil se tiene una disminución en el caudal, el cual es más notorio en la prueba 1A-IMTA 2017 que en las anteriores y posteriores. Con un promedio 10.45 lps para las cinco últimas pruebas del 2017 (Figura 4.34).

Nivel dinámico. Ha variado de 96.38 a 101.71 metros en pruebas realizadas en 2017 con un promedio de 100.30 metros, como se observa en la Figura 4.35. Aun cuando se tiene a una distancia de menos de 100 metros, otro pozo profundo equipado y que opera en ocasiones al mismo tiempo

que este equipo de la unidad de El Cedro, lo cual es muy probable que tenga influencia en los parámetros hidráulicos.

Factor de potencia. Muestra un ascenso en la prueba 3A-IMTA 2017 de 0.90, mientras que en pruebas 1A-IMTA 2017 y 2A-IMTA 2017 con un valor igual a 0.8, para la prueba 5A-IMTA 2017 se obtuvo un de 0.84 siendo este el menor de todas mediciones; en promedio factor de potencia en las cinco pruebas es 0.88, teniendo esta unidad de todas las analizadas el mejor factor de potencia (Figura 4.37).

Potencia real. En la pruebas IMTA 2016, 2A – IMTA 2017 y 3A – IMTA 2017 se registraron los valores más bajos de potencia real con un promedio de 23.6 kW, y el mayor valor en la prueba 1A – IMTA 2017 de 24.52 kW (Figura 4.39).

Corriente. Muestra un valor promedio de 37.69 amp desde la 1A-IMTA a 5A-IMTA 2017, teniendo un máximo de 38.67 amp en la prueba 4A-IMTA 2017 (Figura 4.40).

Índice energético. En las pruebas IMTA 2015 e IMTA 2016 se registró los valores menores de IE (0.58 y 0.56 KWh/m³) debido a un aumento en el gasto extraído. Según la Figura 4.38 se tiene un valor de 0.73 KWh/m³ en la prueba 1 A-IMTA 2017 en la cual el gasto extraído para esta prueba fue menor que en las anteriores y posteriores.

Tensión. Los valores de tensión promedio presentados en la Figura 40, respetan lo estipulado por las normas de funcionar en un rango de $\pm 5\%$ de la tensión nominal, exceptuando las pruebas 2 A-IMTA y 3 A-IMTA.

Presión manométrica. Tiene un promedio 0.912 kg/cm² en las últimas cinco pruebas realizadas (Figura 4.36), teniendo un valor superior cuando se riega el cultivo de alfalfa ya que según el usuario lleva tres años con la cintilla en el subsuelo y las raíces del cultivo han obstruido el flujo en los emisores, además la superficie por puesta de riego es menor que en los otros cultivos.

La comparación del gasto extraído medido por los medidores de flujo tanto instalado totalizador como ultrasónico portátil, presenta una diferencia promedio de 9.14 % con respecto al medidor ultrasónico en las pruebas 1A-IMTA a 5A-IMTA 2017, debido probablemente a la falta de mantenimiento y posible desgaste de las partes mecánicas del medidor instalado en el tren de descarga (Figura 4.42).

En la Tabla 4.23 se observan los valores de la Carga total (H total) obtenida en las diferentes pruebas de eficiencias electromecánicas; los cuales varían de 116.68 a 107.44 metros presentándose la mayor carga en la prueba 3A-IMTA 2017. La presión a la descarga está influenciada por la lectura del manómetro a la descarga estos cambios son debidos al manejo del sistema de riego, además de la localización de entrega del riego con respecto a la fuente de abastecimiento.

En la Tabla 4.24 se muestran los volúmenes extraídos en el período agosto 2015 a septiembre 2016, el cual fue de 116,585.60 m³, y en lo reportado desde septiembre 2016 hasta octubre 2017 se tiene un volumen total extraído de 118,318.1 m³. El volumen concesionado por la CONAGUA para esta unidad de riego de 60,000 m³/año, superándolo en un 107 %. En el período de junio–octubre 2017 se tiene sustraído la cantidad de 27,017.80 m³.

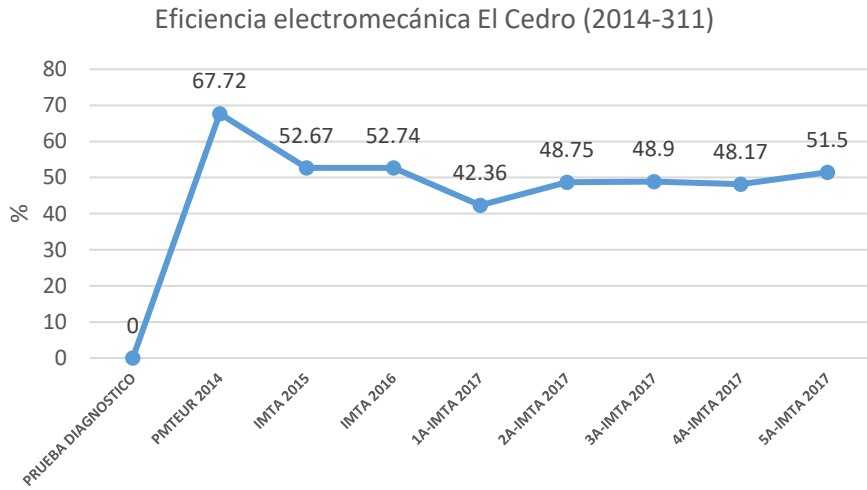


Figura 4.33. Porcentaje de eficiencia electromecánica en el período 2014- 2017, Predio el Cedro

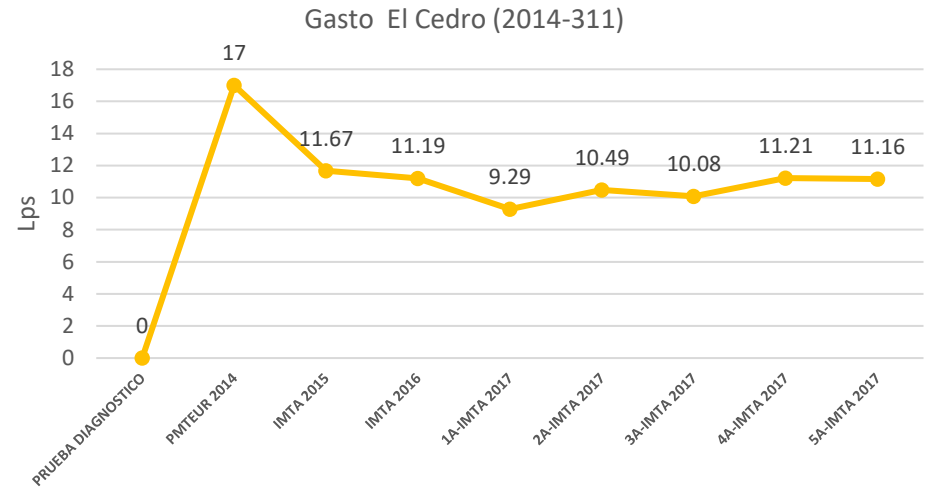


Figura 4.34. Gasto extraído (lps) en el período 2014- 2017, Predio el Cedro

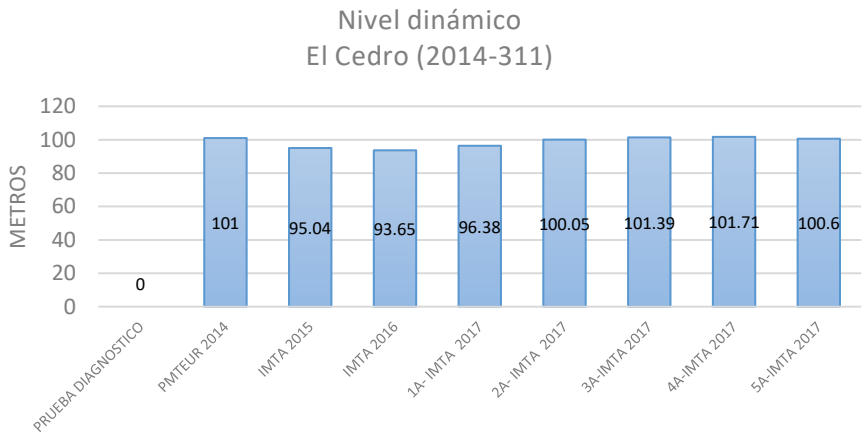


Figura 4.35. Nivel dinámico obtenido de las pruebas realizadas en los años 2014- 2017, Predio el Cedro

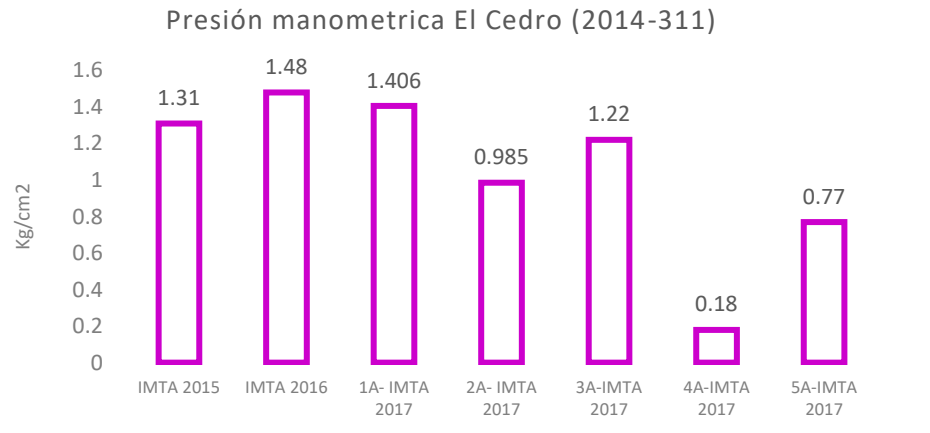


Figura 4.36. Presión manométrica medida a la descarga en las pruebas de 2015- 2017, Predio el Cedro

F.P EL CEDRO (2014-311)

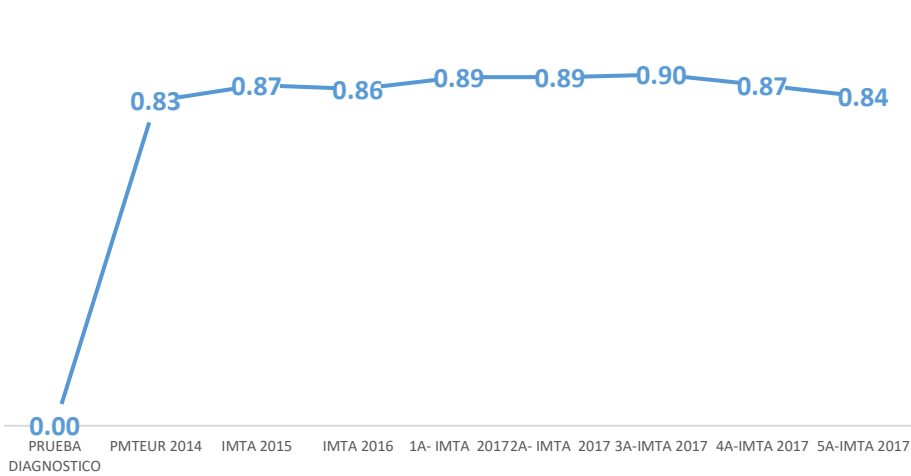


Figura 4.37. Factor de potencia obtenido por el analizador de corriente en nueve pruebas realizadas desde el 2014 al 2017, Predio el Cedro

IE El Cedro (2014-311)

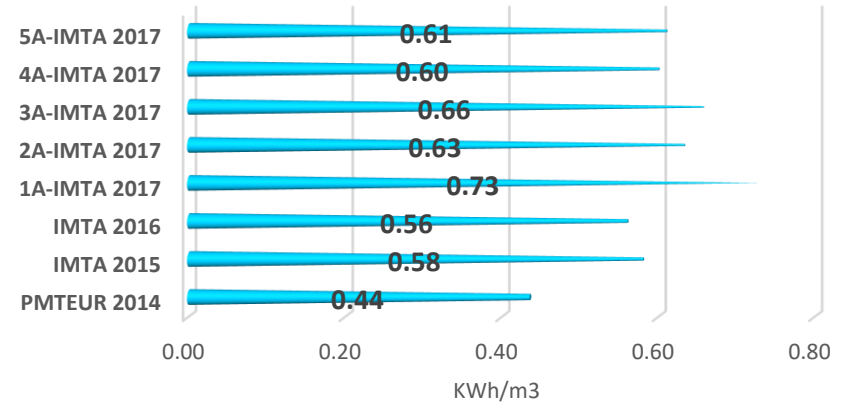


Figura 4.38. Índice energético reportado desde la prueba en 2014 a 2017, Predio el Cedro

PROMEDIO POTENCIA REAL EL CEDRO (2014-311)

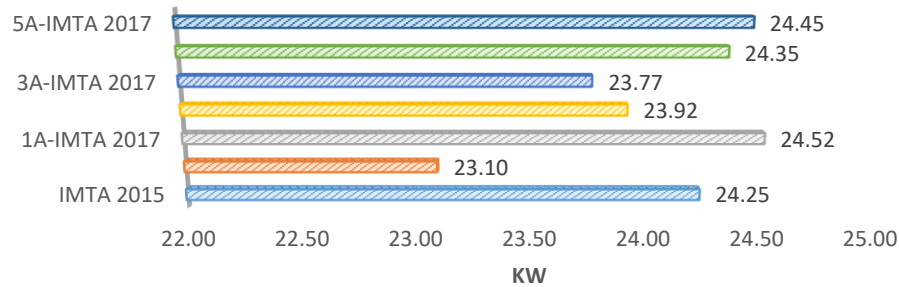


Figura 4.39. Potencia promedio medida en siete pruebas, Predio el Cedro

CORRIENTE PROMEDIO EL CEDRO (2014-311)

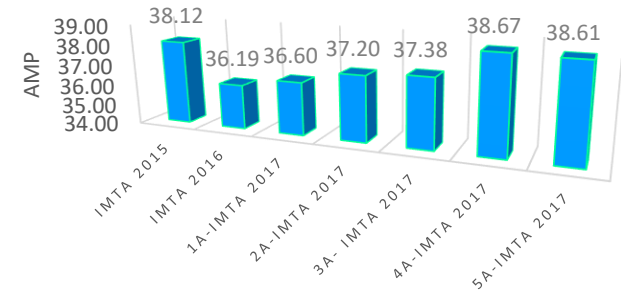


Figura 4.40. Corriente promedio obtenida en las pruebas realizadas entre 2015 y 2017, Predio el Cedro

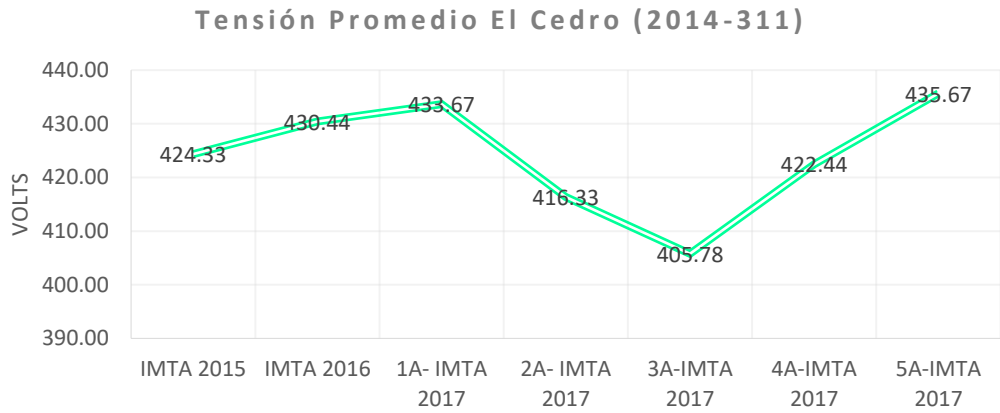


Figura 4.41. Tensión promedio obtenida en diferentes pruebas, Predio el Cedro

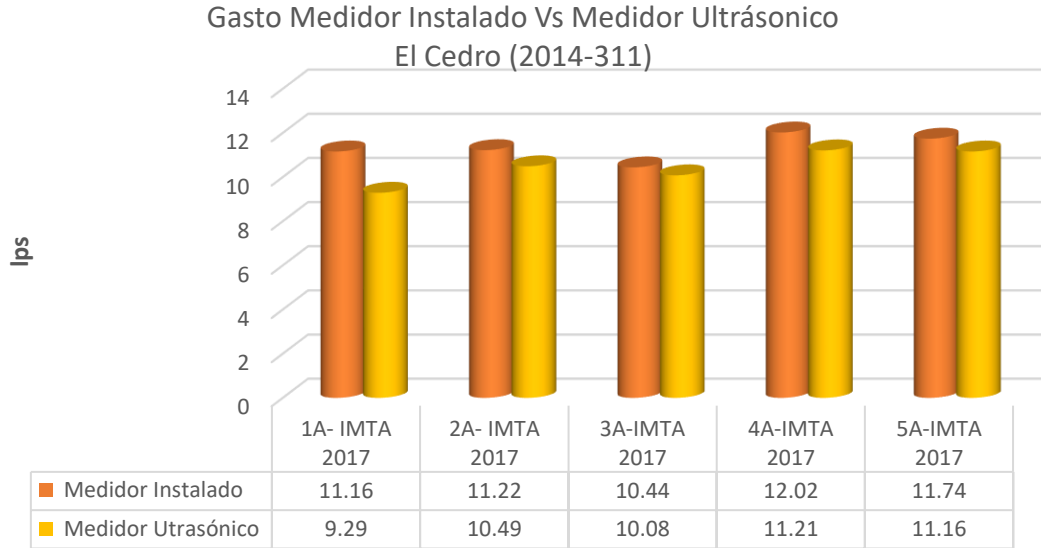


Figura 4.42. Comparación entre el medidor instalado y el medidor ultrasónico del volumen extraído por el aprovechamiento, Predio el Cedro

Tabla 4.23. Resumen de los datos hidráulicos de las pruebas realizadas de Predio el Cedro

Prueba	Q (lps)	H total (m)	Poten- cia salida	Poten- cia de entrada	Eficiencia Electro- mecánica (%)	IE (Kwh/ m ³)	H a la descar- ga (m)	Presión a la descarga (m)
IMTA 2015	11.67	111.77	12.79	24.28	52.67	0.58	16.73	13.05
IMTA 2016	11.19	111.92	12.28	23.30	52.74	0.56	18.28	16.13
1A-IMTA 2017	9.29	113.32	10.32	24.38	42.36	0.73	16.95	15.43
2A-IMTA 2017	10.49	113.14	11.64	23.88	48.75	0.63	13.09	11.18
3A-IMTA 2017	10.08	116.68	11.53	23.59	48.90	0.66	15.30	13.53
4A-IMTA 2017	11.21	107.04	11.77	24.43	48.17	0.60	5.33	3.18
5A-IMTA 2017	11.16	111.81	12.24	24.55	51.50	0.61	11.21	9.08

H total= Carga total, H a la descarga=Carga a la descarga

Tabla 4.24. Volumen acumulado y volumen total extraído en los períodos de prueba Predio el Cedro

Prueba	Volumen acumulado (m ³)	Prueba	Volumen acumulado (m ³)
1A- IMTA 2017	328,046.60	IMTA 2015	120,160.70
2A- IMTA 2017	334,808.00	IMTA 2016	236,746.30
3A- IMTA 2017	337,290.80		
4A- IMTA 2017	349,121.00		
5A- IMTA 2017	355,064.40		
Volumen total extraído	27,017.80		116,585.60

4.1.2.4. Resultados Unidad de Riego el Mirador (2014-418)

Eficiencia electromecánica. En la prueba 1A-IMTA y 3A-IMTA la eficiencia electromecánica es muy similar (40.81–40.92 %) Figura 4.43; ya que en ambas pruebas el equipo de bombeo tenía días funcionando, mientras que en 2A-IMTA 2017 llevaba solo pocas horas; en las eficiencias 4A-IMTA y 5A-IMTA 2017 el porcentaje es muy similar (46.23 y 46.38% respectivamente) ya que las condiciones en las que se encontró operando el sistema de riego fueron casi equivalentes (el punto de entrega del riego desde la fuente de abastecimiento y la superficie regada).

Gasto. Los gastos aforados con el medidor de flujo ultrasónico no presentan variación significativa en las pruebas 1A-IMTA y 3A-IMTA 2017; sin embargo, en la prueba 2A-IMTA el gasto se eleva considerablemente (Figura 4.44), debido a que aún no se estabilizaba el nivel dinámico favoreciendo el incremento de la eficiencia electromecánica. Por comentarios del usuario después de días el gasto se mantiene constante además de que cuando los pozos cercanos a esta unidad de

riego se encuentran apagados el gasto extraído suele aumentar. En las pruebas 4A-IMTA y 5A-IMTA 2017 los gastos aforados se obtuvieron con valores superiores a todas las pruebas anteriores.

Nivel dinámico. Como se mencionó en el párrafo anterior la prueba 2A-IMTA 2017 el nivel dinámico aún no se estabilizaba completamente, mientras que en los ensayos 3A-IMTA 2017 hasta 5A-IMTA 2017, se ha mantenido prácticamente constante con un promedio de 174.59 metros.

Factor de potencia. Oscila entre 0.81 y 0.84 en las cinco pruebas del 2017, con un valor promedio de 0.83 (Figura 4.47). Manteniéndose constante en las dos últimas.

Potencia real. Se observa muy variable al pasar de una prueba a otra, teniendo su valor más bajo en el ensayo 3A-IMTA 2017 y el mayor en la prueba 2A-IMTA 2017 (35.77 a 37.83 kW respectivamente). Con un promedio de 36.71 kW en las cinco pruebas realizadas en 2017 (Figura 4.49).

Corriente. El amperaje mínimo reportado para esta unidad de riego se indica en la prueba IMTA 2015 de 48.43 amp. Mientras que en las pruebas posteriores se presenta con una tendencia a la alza exceptuando la prueba 3A-IMTA 2017 tal como se observa en la Figura 4.50.

Índice energético. Para esta unidad de riego tiene un promedio de 1.14 kWh/m³ notándose una disminución de 13.11 % de 2A-IMTA y 5A-IMTA 2017 (Figura 4.48), siendo que en los ensayos 4A-IMTA y 5A-IMTA se obtuvo un mayor gasto extraído aun cuando la potencia real promedio vario de 36.5 a 37.47 kW respectivamente.

Tensión. No presentan variación significativa, pero si una tendencia al aumento a partir de la prueba 1A-IMTA 2017; teniendo un promedio de 433.16 volts, esta tendencia se observa en la Figura 4.51. En todos los casos la tensión promedio se ha mantenido en el margen de los $\pm 5\%$ del valor nominal.

Presión manométrica. Presenta un aumentó en la prueba 3A-IMTA 2017, debido a que el punto de descarga se encontraba cerca del pozo (Figura 4.46). Las condiciones de operación de los sistemas de riego, superficie regada al momento de la prueba y distancia de la fuente de abastecimiento a la descarga influyen determinantemente en este parámetro por lo que en esta unidad se tienen variaciones en cada una de las pruebas.

En el aforo de los gastos mediante el medidor ultrasónico portátil y el instalado in situ (propela) se encontró que el de propela en todas las mediciones realizadas el gasto fue mayor con respecto al ultrasónico, pudiéndose deber a la falta de mantenimiento y conservación del medidor instalado; obteniendo la máxima diferencia en la prueba 2A-IMTA 2017 (Figura 4.52).

Los datos hidráulicos obtenidos en las distintas pruebas de eficiencia electromecánica se muestran en la Tabla 4.25; la presión a la descarga se observa variable esta situación es propiciada

a la lectura del manómetro, el cual se modifica a razón de la distancia de entrega del riego con respecto a la fuente de abastecimiento y a la cantidad de superficie regada al momento de realizar la prueba.

Los volúmenes acumulados y el volumen total extraído por el equipo de bombeo se pueden observar en la Tabla 4.26, de ella se puede concluir que en el período noviembre 2015 a septiembre 2016 se ha extraído un total de 127,037.70 m³, y 160,234.70 m³ en el periodo de septiembre 2016 a octubre 2017. Superando en ambos periodos el volumen anual concesionado. En las cinco pruebas realizadas en 2017 el volumen extraído es de 45,311.70 m³.

Tabla 4.25. Resumen de los datos hidráulicos de las pruebas realizadas de Predio El Mirador

Prueba	Q (lps)	H total (m)	Potencia salida	Potencia de entrada	Eficiencia Electro-mecánica (%)	IE (Kwh/m ³)	H a la descarga (m)	Presión a la descarga (m)
IMTA 2015	9.62	184.84	17.44	38.28	45.55	1.09	6.06	1.41
IMTA 2016	9.09	181.72	16.20	36.80	44.07	1.10	7.87	5.21
1A-IMTA 2017	8.26	180.53	14.62	35.84	40.81	1.21	5.69	3.44
2A-IMTA 2017	9.37	182.27	16.75	35.28	47.48	1.12	6.27	3.46
3A-IMTA 2017	8.13	184.00	14.67	35.85	40.92	1.22	9.46	7.29
4A-IMTA 2017	9.52	182.47	17.04	35.85	46.23	1.07	7.97	5.07
5A-IMTA 2017	9.81	183.13	17.62	39.02	46.38	1.06	8.61	5.56

H total= Carga total, H a la descarga=Carga a la descarga

Tabla 4.26. Volumen acumulado y volumen total extraído en los períodos de prueba Predio el Mirador

Prueba	Volumen acumulado (m ³)	Prueba	Volumen acumulado (m ³)
1A- IMTA 2017	392,578.20	IMTA 2015	150,617.50
2A- IMTA 2017	404,863.20	IMTA 2016	277,655.20
3A- IMTA 2017	415,279.90		
4A- IMTA 2017	429,564.80		
5A- IMTA 2017	437,889.90		
Volumen total extraído	45,311.70		127,037.70

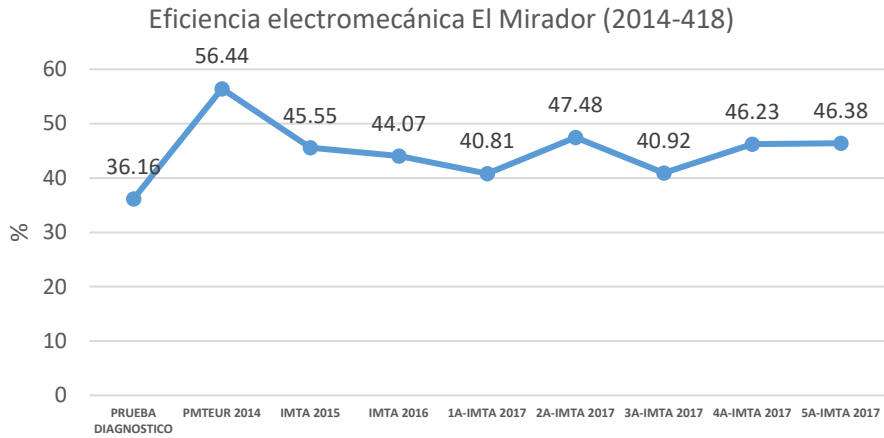


Figura 4.43. Porcentaje de eficiencia electromecánica en el período 2014- 2017, Predio el Mirador

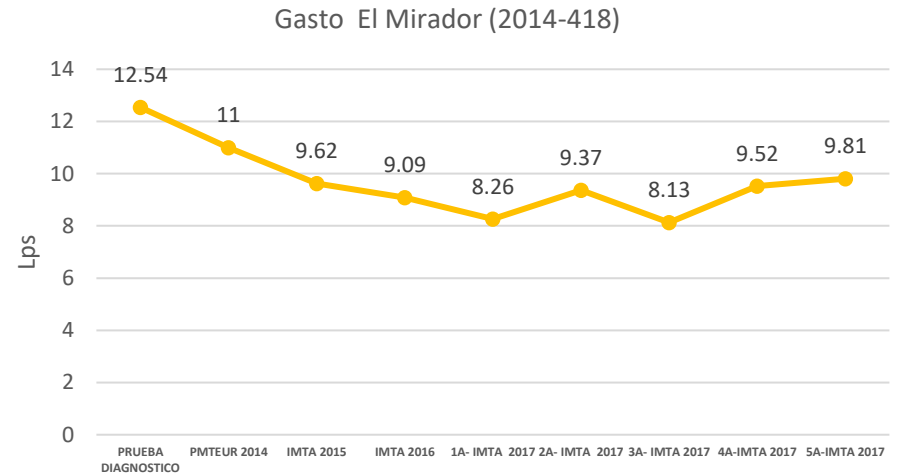


Figura 4.44. Gasto extraído en lps en el período 2014- 2017, Predio el Mirador

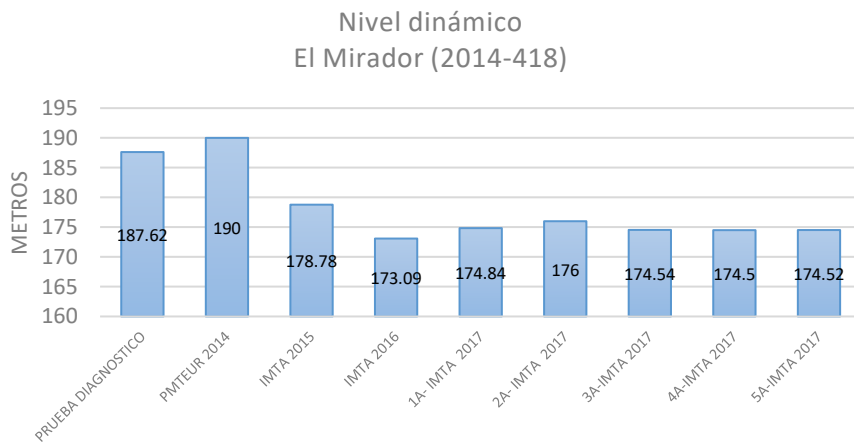


Figura 4.45. Nivel dinámico obtenido de las pruebas realizadas en los años 2014- 2017, Predio el Mirador

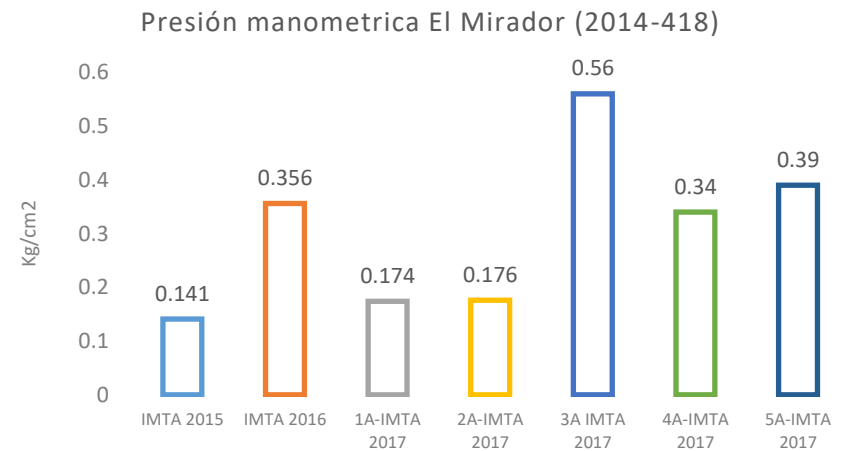


Figura 4.46. Presión manométrica medida a la descarga en las pruebas de 2015- 2017, Predio el Mirador

F.P EL MIRADOR (2014-418)

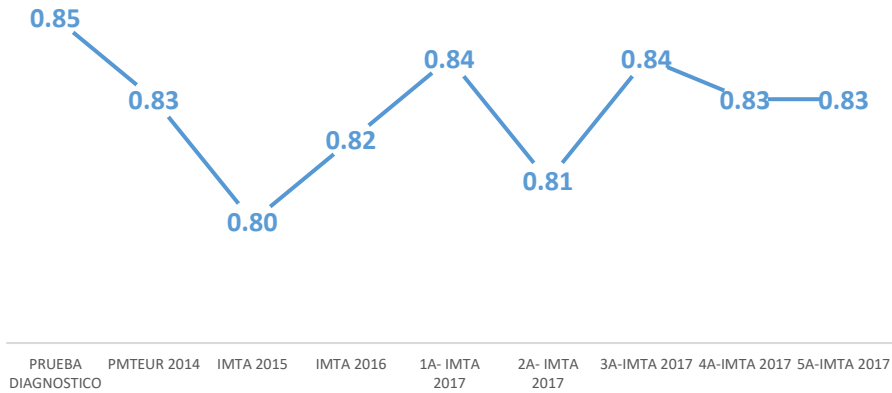


Figura 4.47. Factor de potencia obtenido por el analizador de corriente en nueve pruebas realizadas desde el 2014 al 2017, Predio el Mirador

IE El Mirador (2014-418)

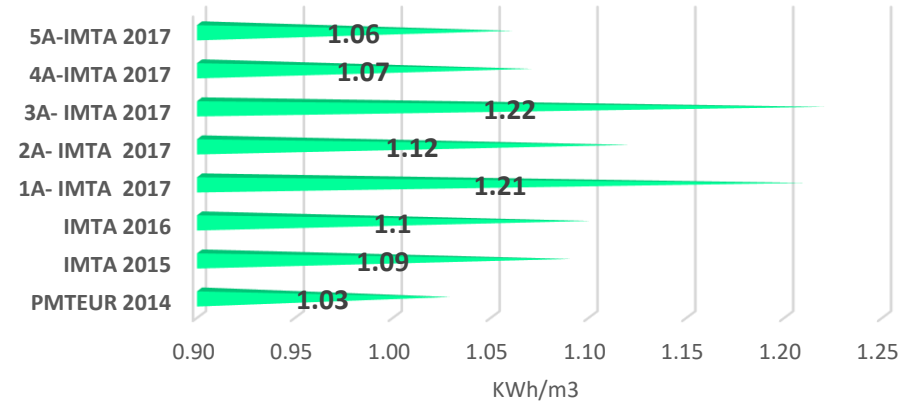


Figura 4.48. Índice energético reportado desde la prueba en 2014 a 2017, Predio el Mirador

Promedio Potencia Real El Mirador (2014-418)

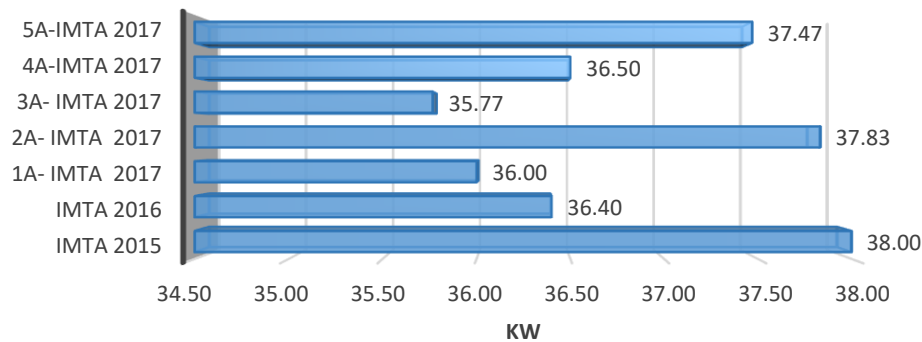


Figura 4.49. Potencia promedio medida en siete pruebas, Predio el Mirador

CORRIENTE PROMEDIO EL MIRADOR (2014-418)

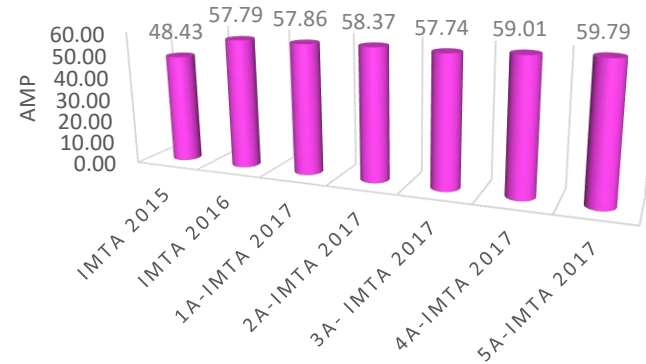


Figura 4.50. Corriente promedio obtenida en las pruebas realizadas entre 2015 y 2017, Predio el Mirador

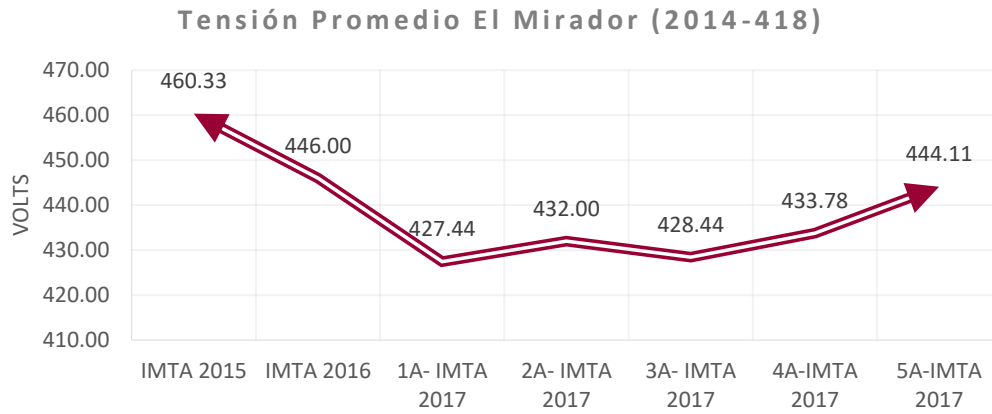


Figura 4.51. Tensión promedio obtenida en diferentes pruebas, Predio el Mirado

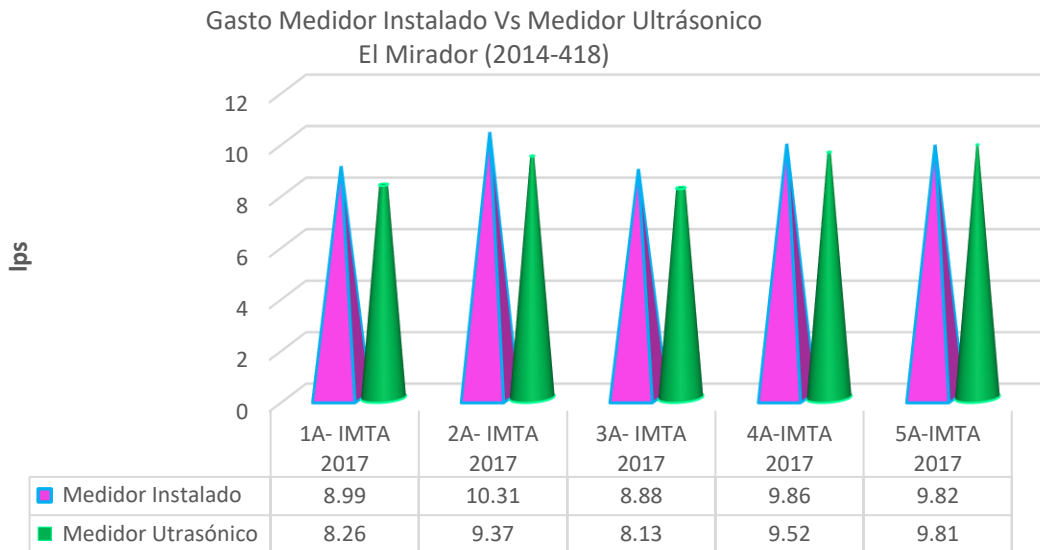


Figura 4.52. Comparación entre el medidor instalado y el medidor ultrasónico del volumen extraído por el aprovechamiento, Predio el Mirador

4.1.2.5. Resultados Unidad de Riego San José (2014-407)

Eficiencia electromecánica. La Eficiencia electromecánica tiene una tendencia a la baja desde la prueba PMTEUR 2014 hasta 2017. Obteniendo un promedio en las cinco últimas pruebas de 43.6 (Figura 4.53), lo anterior debido a la reducción en el gasto de extracción. Al igual que el pozo el Mirador, la eficiencia en la prueba 2A- IMTA 2017 se realizó cuando tenía pocas horas de encendido el equipo de bombeo favoreciendo a un aumentó en el gasto pues no se dio el tiempo necesario para su estabilización presentando un incrementó en la eficiencia.

Aunque la presión aumentó más del doble para la prueba 3 A-IMTA 2017 con respecto a la prueba 1A-IMTA y 2A-IMTA debido a la cercanía de la descarga con la fuente de abastecimiento (Figura 4.56); el decremento del gasto influyó más que el aumento de presión para que la eficiencia electromecánica tuviera un descenso con respecto a la prueba 2A-IMTA; mientras que en las pruebas 4A-IMTA y 5A-IMTA 2017 la presión manométrica vario en 0.02 kg/cm², obteniendo una mayor eficiencia en esta última debido al aumento del caudal.

Gasto. Al comparar los gastos obtenidos con el medidor volumétrico totalizador instalado, ultrasónico y método volumétrico (Figura 4.54), estos presentan caudales menores en las pruebas 1 A-IMTA y 3 A-IMTA 2017 en comparación a la 2A-IMTA 2017; la disminución es propiciada por la diferencia de horas de haberse encendido el equipo de bombeo al momento de la toma de parámetros hidráulicos y eléctricos.

Nivel dinámico. El nivel dinámico se presenta invariable en las pruebas realizadas en 2017 (Figura 4.55) probablemente a las condiciones actuales del pozo y del acuífero.

Tensión. En lo referente a los parámetros eléctricos, la tensión tiene una tendencia ascendente en las cinco pruebas de 2017, teniendo un promedio de 440.3 volts (Figura 4.61), esta variación es propia de la carga en las líneas de distribución de energía de la CFE.

Factor de Potencia. En las pruebas realizadas en 2017 el factor de potencia presenta un promedio de 0.87, manteniéndose constante en las pruebas 2A-IMTA a 4A-IMTA 2017, registrando un descenso en la 1A-IMTA y 5A-IMTA 2017 (Figura 4.57).

Índice energético. El índice energético presenta un aumento de 0.1 kWh/m³ respecto a los ensayos realizados en 2015 y 2016, debiéndose a la disminución del gasto (0.85 lps); sin embargo, aun cuando el gasto fue mayor para la 2 A-IMTA 2017 la potencia real promedio para esta prueba reportó el mayor valor 34.28 kW (Figuras 57 y 62), dando así las condiciones para que el índice energético no disminuyera. En la prueba 5A-IMTA 2017 se obtuvo un valor de 1.08kWh/m³ ya que el gasto aumentó en 0.8 lps respecto a la 4A-IMTA 2017 (Figura 4.58).

Presión manométrica. La presión manométrica en el tren de descarga depende de las condiciones de operación de los sistemas de riego, así como de la cercanía de la descarga a la fuente

de abastecimiento; por lo que en esta unidad de riego se presentan variaciones desde 0.16 a 0.47 kg/cm² (Figura 4.56), presentando la mayor en la prueba 3A- IMTA 2017 por encontrarse muy cerca a la descarga respecto al aprovechamiento.

La Tabla 4.27 muestra un resumen de los datos hidráulicos obtenidos en la realización de las pruebas de eficiencia electromecánica; la presión a la descarga registrada muestra una variación relacionada con el uso del sistema de riego, así como también a la localización de entrega del riego respecto al pozo.

La Tabla 4.28 se puede observar el volumen total consumido durante la realización de las cinco pruebas el cual es de 34,536.40 m³; además del volumen bombeado total por esta unidad de riego en el período 2015-2016.

Tabla 4.27. Resumen de los datos hidráulicos de las pruebas realizadas de San José

Prueba	Q (lps)	H total (m)	Potencia salida	Potencia de entrada	Eficiencia electro- mecánica (%)	IE (Kwh/m ³)	H a la descarga (m)	Presión a la descarga (m)
IMTA 2015	9.62	177.66	16.53	33.08	49.96	1.09	6.66	4.21
IMTA 2016	9.09	174.40	15.67	32.30	48.54	1.1	5.07	2.80
1A-IMTA 2017	8.26	174.26	14.20	31.92	44.48	1.21	4.26	2.35
2A-IMTA 2017	9.37	174.68	15.88	34.41	46.15	1.12	4.68	2.35
3A-IMTA 2017	8.13	174.96	12.95	31.90	40.54	1.22	6.96	5.40
4A-IMTA 2017	9.52	176.04	13.67	32.77	41.72	1.07	5.96	4.21
5A-IMTA 2017	9.81	176.49	15.09	33.43	45.14	1.06	6.43	4.34

H total= Carga total, H a la descarga=Carga a la descarga

Tabla 4.28. Volumen acumulado y volumen total extraído en los períodos de prueba Predio San José

Prueba	Volumen acumulado (m ³)	Prueba	Volumen acumulado (m ³)
1A- IMTA 2017	371,479.50	IMTA 2015	262,581.90
2A- IMTA 2017	375,693.90	IMTA 2016	371,479.50
3A- IMTA 2017	385,102.80		
4A- IMTA 2017	398,390.00		
5A- IMTA 2017	406,015.90		
Volumen total extraído	34,536.40		108,897.60

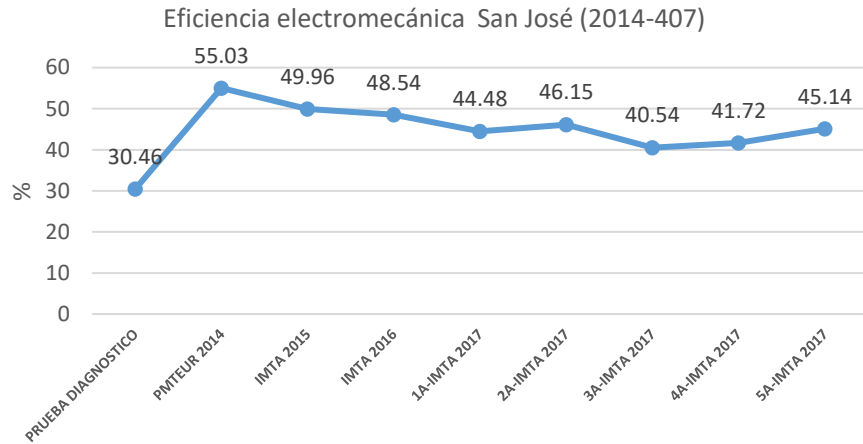


Figura 4.53. Porcentaje de eficiencia electromecánica en el período 2014- 2017, Predio San José

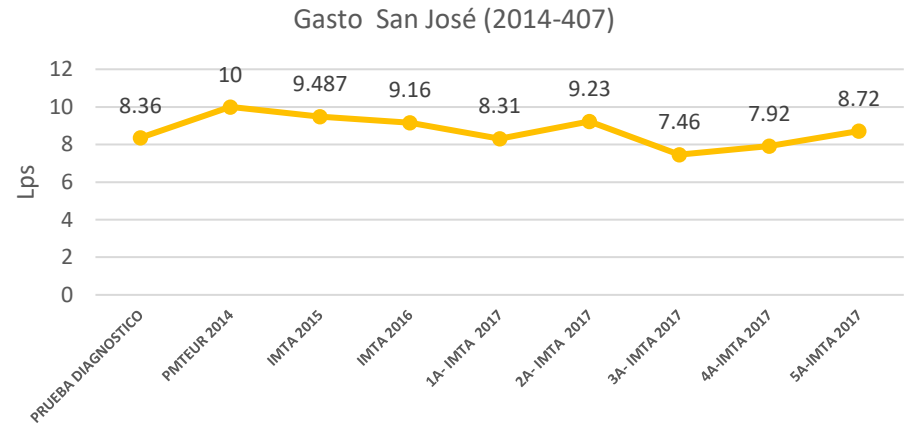


Figura 4.54. Gasto extraído (lps) en el período 2014- 2017, Predio San José

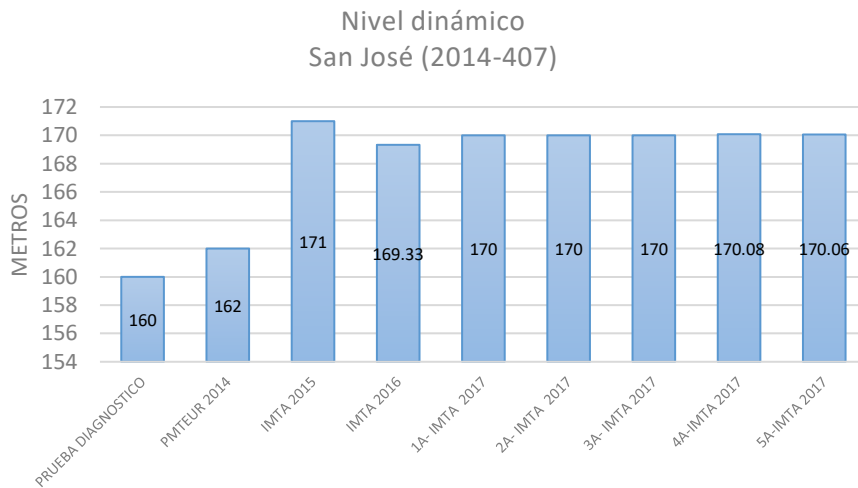


Figura 4.55. Nivel dinámico obtenido de las pruebas realizadas en los años 2014- 2017, Predio San José

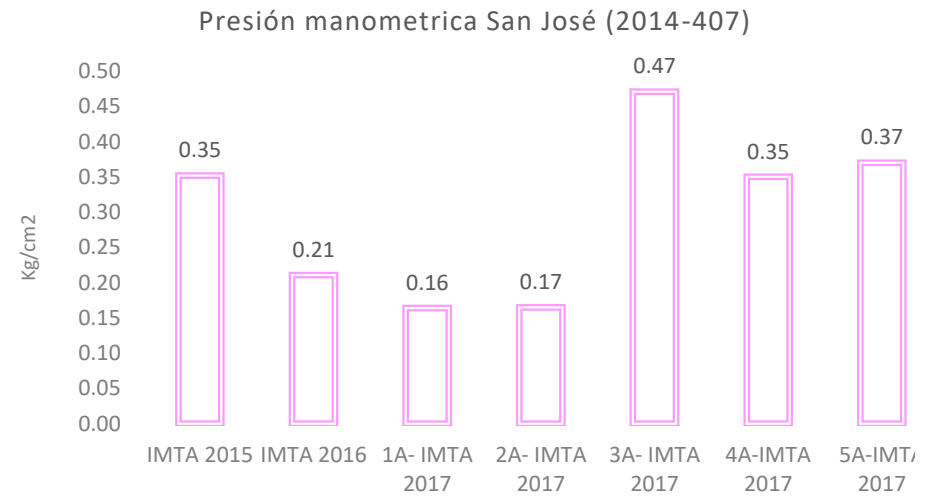


Figura 4.56. Presión manométrica medida a la descarga en las pruebas de 2015- 2017, Predio San José

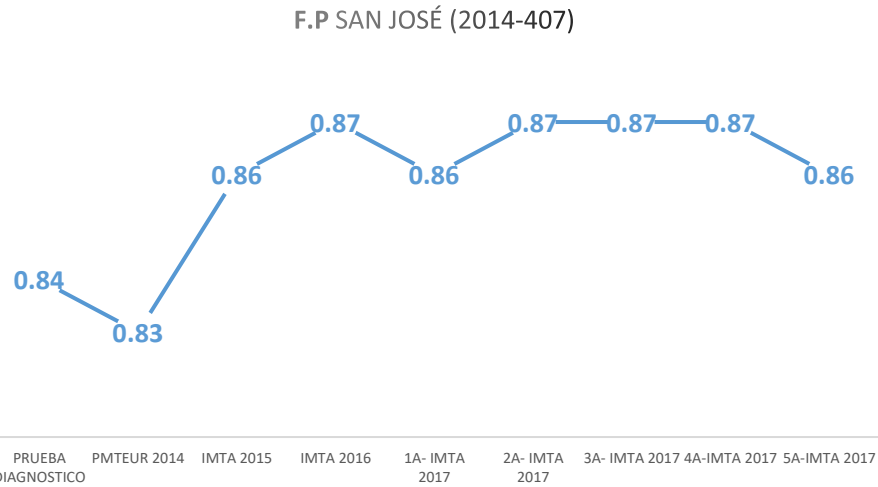


Figura 4.57. Factor de potencia obtenido por el analizador de corriente en siete pruebas realizadas desde el 2014 al 2017, Predio San José

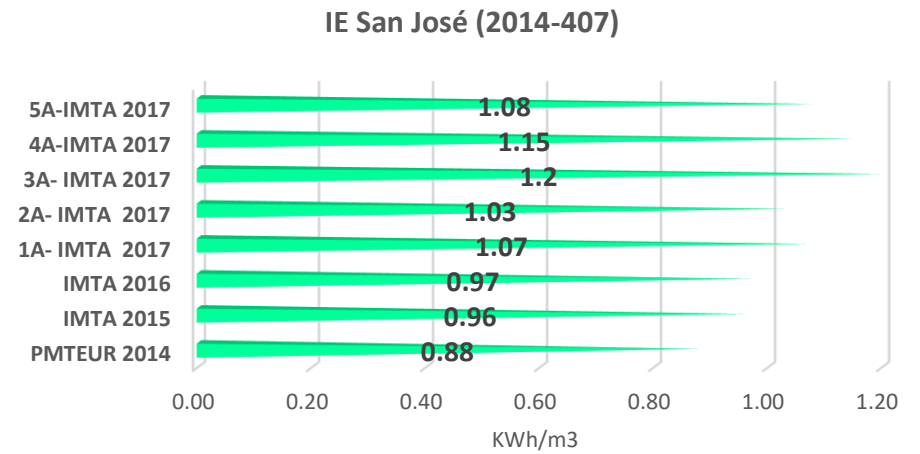


Figura 4.58. Índice energético reportado desde la prueba en 2014 a 2017, Predio San José

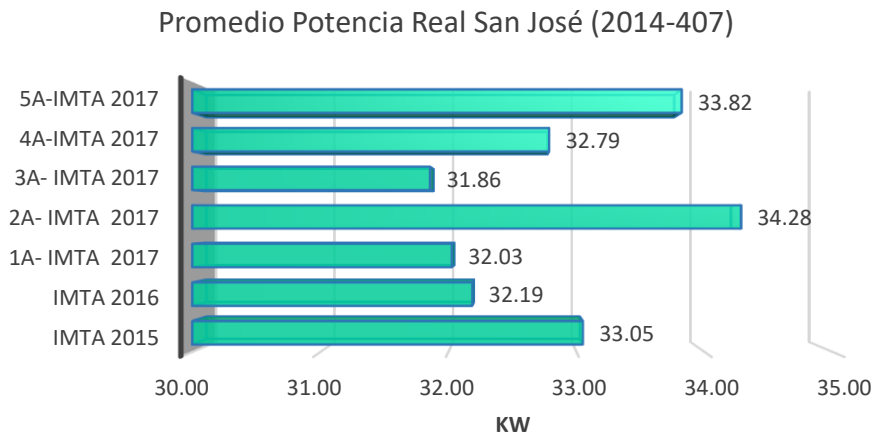


Figura 4.59. Potencia promedio medida en cinco pruebas, Predio San José

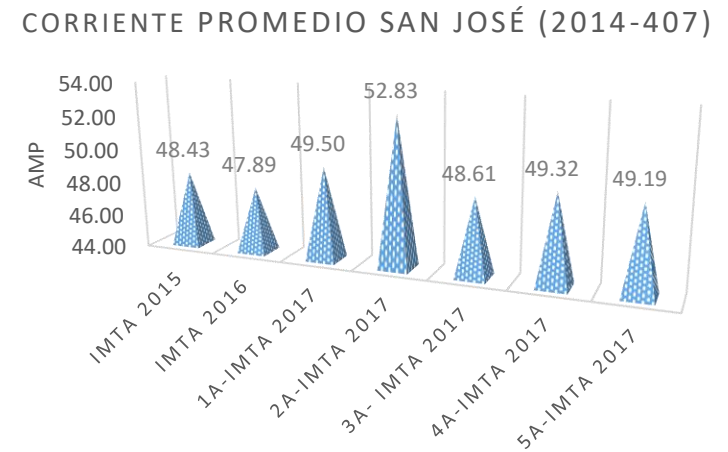


Figura 4.60. Corriente promedio obtenida en las pruebas realizadas entre 2015 y 2017, Predio San José

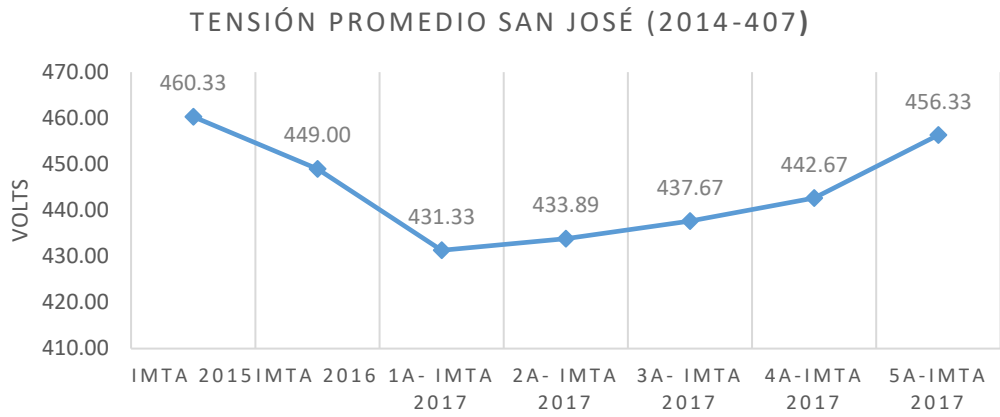


Figura 4.61. Tensión promedio obtenida en diferentes pruebas, Predio San José

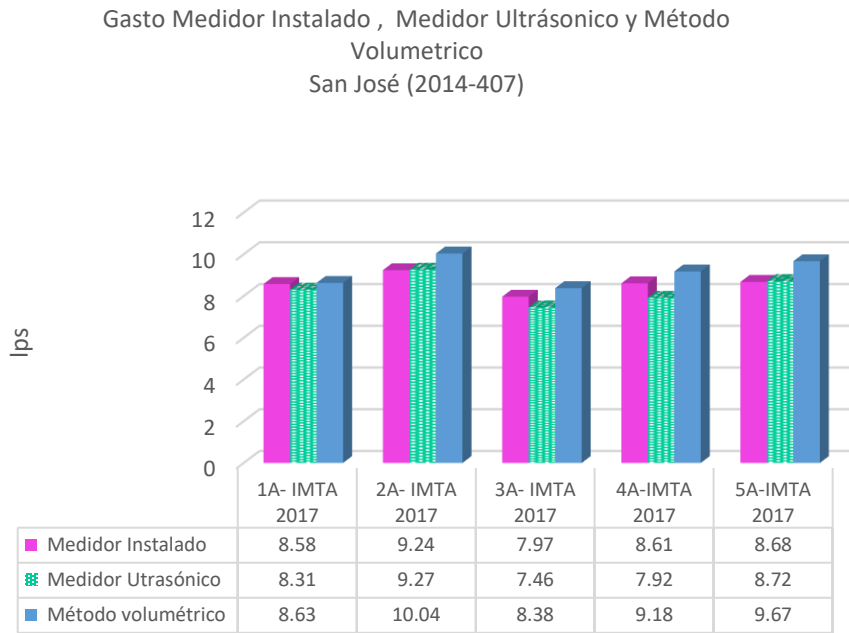


Figura 4.62. Comparación entre el medidor instalado y el medidor ultrasónico del volumen extraído por el aprovechamiento, Predio San José

4.1.2.6. Resultados de la Unidad de Riego Casa Blanca (2014-496)

Eficiencia electromecánica. La eficiencia electromecánica a partir de la IMTA 2016 ha mostrado un comportamiento a la alza hasta la prueba 3A-IMTA (Figura 4.63), aun cuando el gasto extraído ha disminuido desde esa misma prueba; el aumento de la eficiencia puede ser atribuido al incremento en la presión manométrica como se muestra en la Figura 4.66. Sin embargo, en las últimas dos pruebas la eficiencia presentó una tendencia a la baja debido a la disminución de la presión manométrica (descarga a una pila de almacenamiento) y a la operación del sistema de riego (aumento en la superficie por puesta de riego) respectivamente.

Gasto. En la Figura 4.64 se puede observar que a partir de la prueba PMTEUR 2014 hasta 2A-IMTA 2017 el caudal promedio de extracción presenta una tendencia a la baja derivado de las variaciones en la operación del sistema de riego y a la influencia por la interferencia de los pozos circundantes en operación. Sin embargo, en las dos últimas pruebas se tiene un incremento en el mismo, probablemente a que los cultivos se encuentran en la etapa de maduración y cosecha por lo que varios pozos dejan de operar. En las cinco pruebas realizadas en 2015 el gasto promedio es de 16.09 lps.

Nivel dinámico. El nivel dinámico a partir de la prueba IMTA 2016 presenta una variación no muy significativa, aunque en la prueba 3A IMTA 2017 mostró un menor abatimiento del nivel debido a las lluvias. El nivel dinámico mantiene un promedio de 43.43 m desde el año 2016 (Figura 4.65).

Tensión. La tensión en la prueba 3 A-IMTA 2017 se encuentra debajo de la nominal marcada por la regla de $\pm 5\%$ (Figura 4.70); esta última depende del suministro de energía en las líneas dado por la CFE.

Factor de potencia. En lo que respecta al factor de potencia, se puede apreciar en la Figura 4.67 que en las pruebas realizadas en 2017 presenta un valor constante de 0.85, excepto de la última prueba, donde disminuye a 0.84.

Potencia Real. A partir de la prueba IMTA 2016 hasta la 5A-IMTA 2017 muestra valores muy similares (23.03 a 23.38 KV). Sin embargo en las pruebas 2A-IMTA 2017 y 3A-IMTA 2017 presenta una baja a 22.6 KV.

Índice energético. El índice energético se ha mantenido constante (0.42 KWh/m^3) desde la 1 A-IMTA hasta la 3 A-IMTA 2017, siendo su nivel más bajo en la prueba entrega recepción (PMTEUR 2014) de 0.31 KWh/m^3 (Figura 4.68).

Corriente. La corriente en las pruebas realizadas en 2017 presenta una leve variación, mostrando un pequeño incremento en las dos últimas pruebas, tal y como se muestra en la Figura 4.70. La corriente promedio en todas las mediciones es de 36.97 Amp.

Presión manométrica. La presión manométrica más baja (Figura 4.66) se han presentado cuando el pozo está descargando libremente a una pila de almacenamiento, donde la presión indicada en el manómetro es la diferencia de cotas entre la descarga en la pila y el brocal del pozo, exceptuando la última prueba donde se estaba regando el doble de la superficie que normalmente se riega con cintilla.

En la Tabla 4.30 se puede observar que en el período de tiempo de 2015-2016 el volumen total extraído fue 190,319.50 m³. El volumen concesionado para esta unidad de riego es 150,000.00 m³ y en el lapso de tiempo de agosto 2016 a octubre 2017 fue de 136,496.90 m³, por lo que no excedió el volumen anual concesionado.

Tabla 4.29. Resumen de los datos hidráulicos de las pruebas realizadas de Predio Casa Blanca

Pruebas	Q (lps)	H total (m)	Potencia de salida	Potencia de entrada	Eficiencia Electro- mecánica (%)	IE (Kwh/ m ³)	H a la descarga (m)	Presión a la descarga (m)
IMTA 2015	17.82	65.11	11.38	24.43	46.58	0.38	7.66	4.33
IMTA 2016	16.53	50.77	8.23	23.03	35.73	0.39	7.22	4.33
1A-IMTA 2017	15.57	59.73	9.12	22.89	39.84	0.42	15.38	12.79
2A-IMTA 2017	14.81	65.39	9.50	23.60	40.25	0.42	21.74	19.38
3A-IMTA 2017	14.99	64.95	9.55	22.09	43.21	0.42	19.02	16.60
4A-IMTA 2017	17.98	46.79	8.25	22.92	35.99	0.36	5.26	1.88
5A-IMTA 2017	17.14	44.77	7.52	22.90	32.85	0.38	3.22	0.12

H total= Carga total, H a la descarga=Carga a la descarga

Tabla 4.30. Volumen acumulado y volumen total extraído en los períodos de prueba Predio Casa Blanca

No. de prueba	Volumen acumulado (m ³)	Prueba	Volumen acumulado (m ³)
1A- IMTA 2017	344,385.70	IMTA 2015	85,495.70
2A- IMTA 2017	393,453.80	IMTA 2016	275,815.20
3A- IMTA 2017	412,311.40		
4A- IMTA 2017	435,118.20		
5A- IMTA 2017	436,983.30		
volumen total extraído	32,904.40		190,319.50

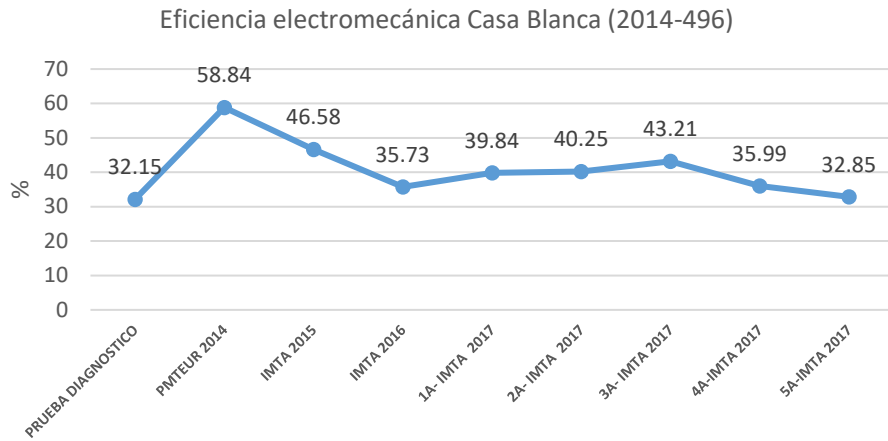


Figura 4.63. Porcentaje de eficiencia electromecánica en el período 2014- 2017, Predio Casa Blanca

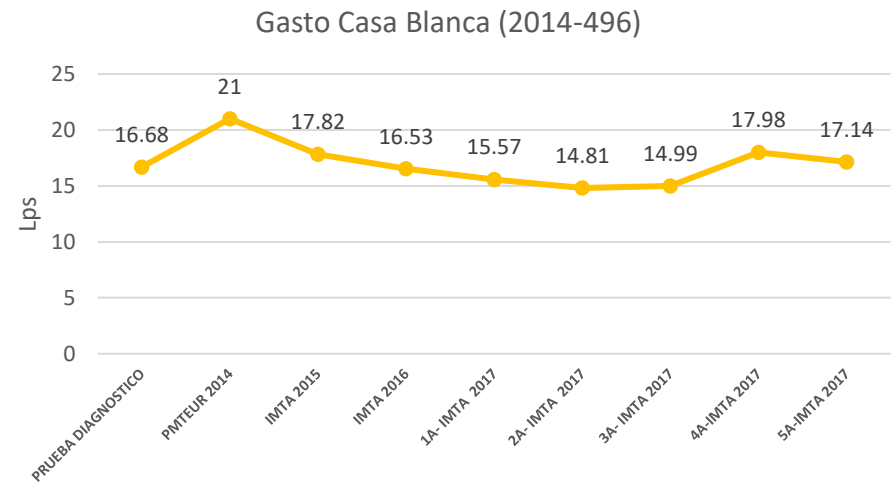


Figura 4.64. Gasto extraído en lps en el período 2014- 2017, Predio Casa Blanca

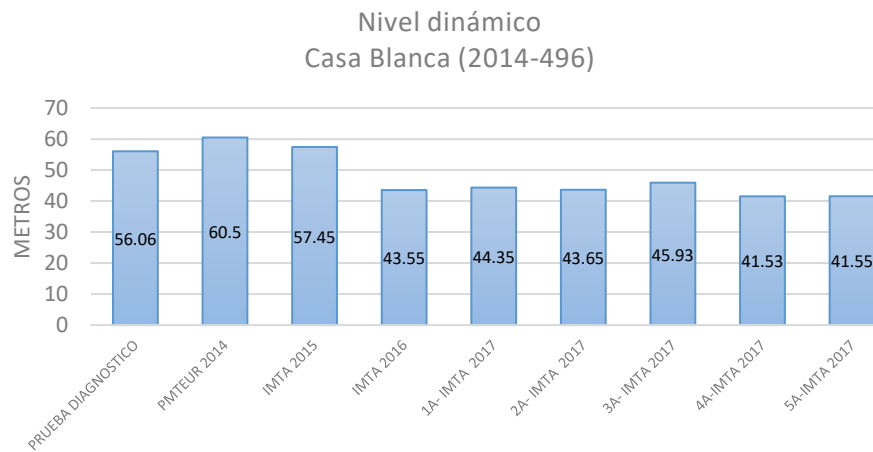


Figura 4.65. Nivel dinámico obtenido de las pruebas realizadas en los años 2014- 2017, Predio Casa Blanca

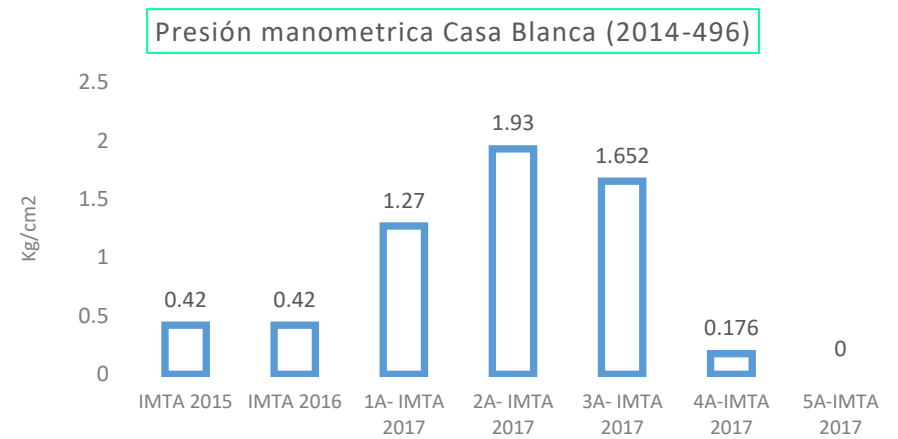


Figura 4.66. Presión manométrica medida a la descarga en las pruebas de 2015- 2017, Predio Casa Blanca

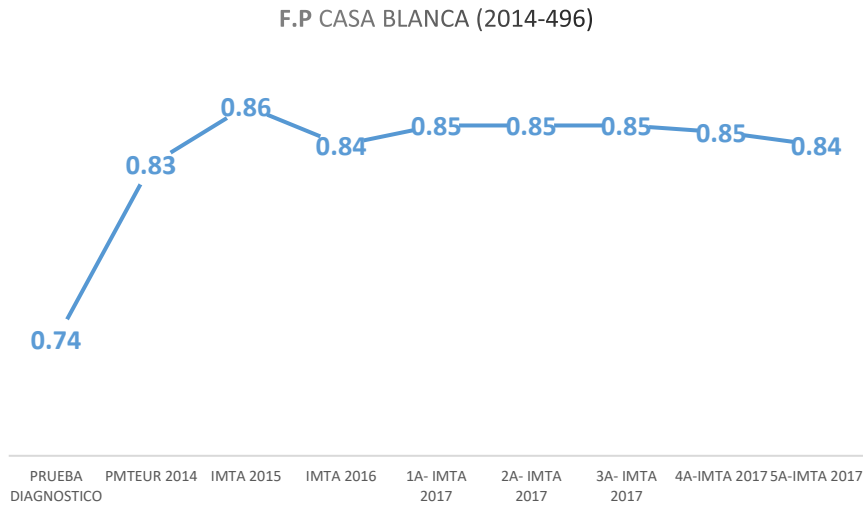


Figura 4.67. Factor de potencia obtenido por el analizador de corriente en nueve pruebas realizadas desde el 2014 al 2017, Predio Casa Blanca

Promedio Potencia Real Casa Blanca (2014-496)

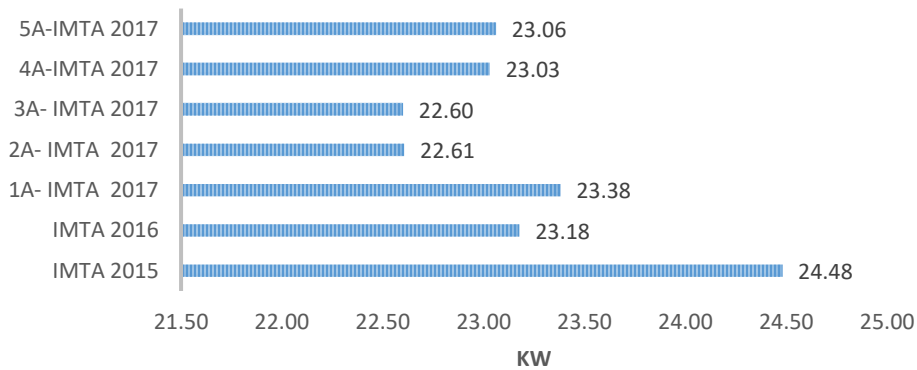


Figura 4.69. Potencia promedio medida en siete pruebas, Predio Casa Blanca

IE Casa Blanca (2014-496)

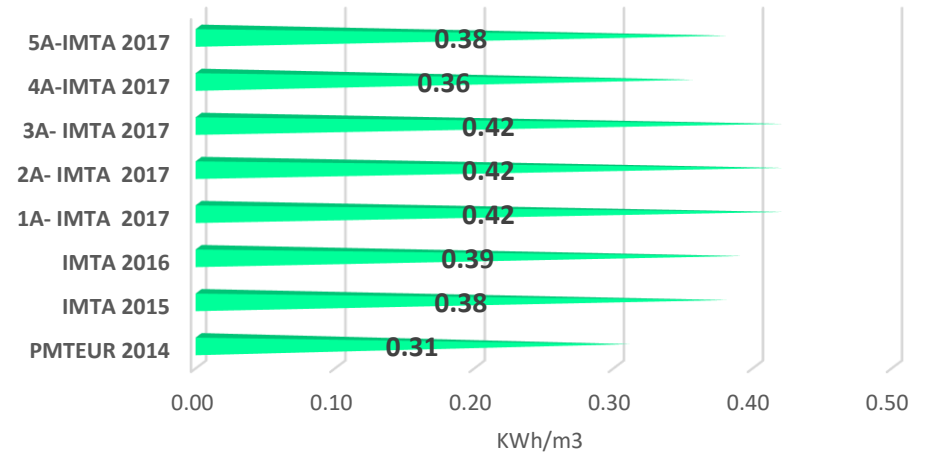


Figura 4.68. Índice energético reportado desde la prueba en 2014 a 2017, Predio Casa Blanca

Corriente Promedio Casa Blanca (2014-496)

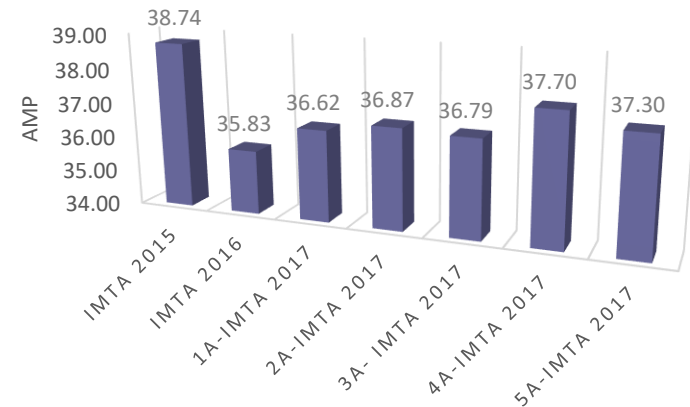


Figura 4.70. Corriente promedio obtenida en las pruebas realizadas entre 2015 y 2017, Predio Casa Blanca

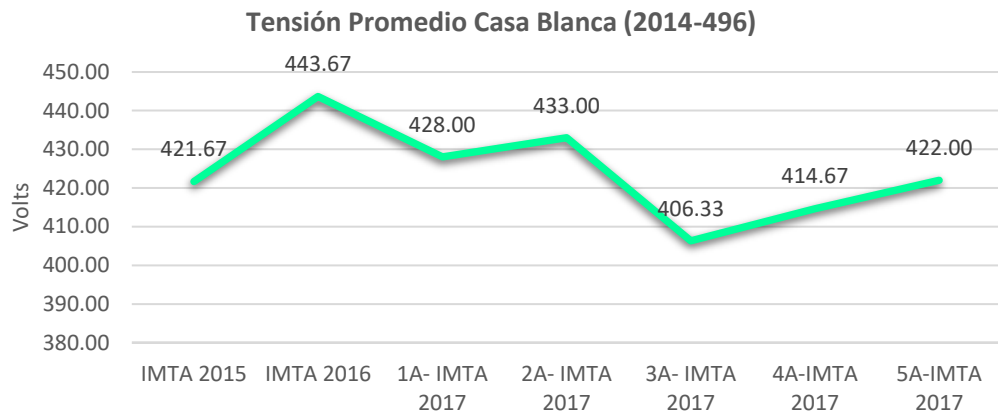


Figura 4.71. Tensión promedio obtenida en diferentes pruebas, Predio Casa Blanca

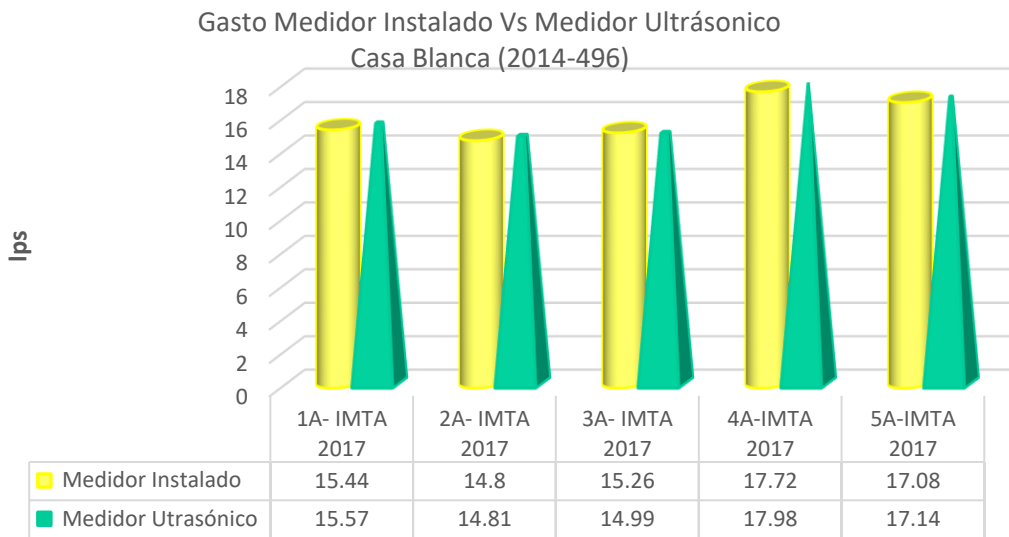


Figura 4.72. Comparación entre el medidor instalado y el medidor ultrasónico del volumen extraído por el aprovechamiento, Predio Casa Blanca

4.1.3. Análisis grupal y comparación con los proyectos 2015 y 2016

En esta sección se analizan los resultados del índice energético, la eficiencia electromecánica, el gasto y la carga total obtenidos en las pruebas comparando las seis unidades de riego seleccionadas.

La Tabla 4.31 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 4.31. Resultados del índice energético y su variación (proyecto 2017)

Folio	2017					Promedio 2017	Desvia- ción estándar	Desvia- ción estándar respecto a la media (%)
	1ra	2da	3ra	4ta	5ta			
2014-496	0.4171	0.4240	0.4188	0.3558	0.3737	0.398	0.03	7.80
2014-311	0.7332	0.6335	0.6550	0.6035	0.6087	0.647	0.05	8.12
2014-418	1.2107	1.1216	1.2220	1.0650	1.0609	1.136	0.08	6.80
2014-485	0.3830	0.4298	0.3946	0.4326	0.4608	0.420	0.03	7.46
2014-407	1.0706	1.0273	1.1862	1.1499	1.0773	1.102	0.06	5.84
2014-308	0.6000	0.6341	0.6304	0.6223	0.5924	0.616	0.02	3.02
Totales							0.05	6.51

La Tabla 4.32 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 4.32. Comparación del promedio del índice energético 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

La Tabla 4.33 muestra los resultados de la eficiencia electromecánica en las pruebas realizadas en las unidades de riego durante el presente proyecto. 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 4.33. Resultados de la eficiencia electromecánica y su variación (proyecto 2017)

Folio	2017					Promedio 2017	Desviación estándar	Desviación estándar respecto a la media (%)
	1ra	2da	3ra	4ta	5ta			
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
							3.19	7.41

La Tabla 4.34 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 4.34. 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

La Tabla 4.35 muestra los resultados para la medición del gasto obtenida en las unidades de riego durante el presente proyecto. Como se observa, los caudales presentan pequeñas variaciones entre sí, para una misma unidad de riego. La última columna muestra el porcentaje de desviación promedio respecto a la media, que va de 4.3% al 8.67%.

Tabla 4.35. Resultados de la medición del gasto (lps) y su variación (proyecto 2017)

Folio	2017					Promedio 2017	Desviación estándar	Desviación estándar respecto a la media (%)
	1ra	2da	3ra	4ta	5ta			
2014-496	15.57	14.81	14.99	17.98	17.14	16.10	1.40	8.67
2014-311	9.29	10.49	10.08	11.21	11.16	10.45	0.80	7.67
2014-418	8.26	9.37	8.13	9.52	9.81	9.02	0.77	8.53
2014-485	13.93	12.71	11.17	12.74	11.96	12.50	1.03	8.20
2014-407	8.31	9.27	7.46	7.92	8.72	8.34	0.70	8.40
2014-308	17.47	18.02	17.64	17.69	19.38	18.04	0.78	4.30
Total						12.41	0.91	7.63

La Tabla 4.36 compara el dato promedio para el gasto 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 el gasto (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 ir en algunas unidades de 3.3% hasta 17.77% en otras. Cabe señalar, que la unidad de riego que presentó el valor promedio de decremento de 17.77 es la que presentó, en consecuencia, una mayor variación en las eficiencias determinadas en el año 2017 (11.24%).

Tabla 4.36. Comparación del promedio del gasto (lps) con las mediciones realizadas en los años 2015 y 2016

Folio	2015	2016	Promedio 2017	Decremento promedio (%)
2014-496	17.82	16.53	16.10	5.24
2014-311	11.67	11.19	10.45	5.69
2014-418	9.62	9.09	9.02	3.30
2014-485	17.145	16.27	12.50	17.77
2014-407	9.487	9.16	8.34	6.70
2014-308	23.9	22.34	18.04	15.41

La

Tabla 4.37 muestra la variación de la carga total durante las pruebas ejecutadas en el presente proyecto. Se observan variaciones muy dispares entre los sistemas de bombeo evaluados. Por un lado, hay unidades que casi no varían en su carga, como la 2014-407 (San José) y la 2014-418 (El Mirador), y aquellas que han variado entre un 3% y 4% (2014-311, 2014-485 y 2014-308). Existe como caso atípico, la carga medida en la unidad 2014-496 (Casa Blanca), que presentó 17.59% de variación promedio. Esta unidad tuvo algunas diferencias en la realización de las pruebas; pues en la primera medición llevaba varios días trabajando, en las mediciones 2 y 3 sólo dos días, en la 4ta no estaban regando y en la última cambiaron la superficie de riego de 2 a 4 ha.

Tabla 4.37. Resultados de la medición de la carga total (m) y su variación (proyecto 2017)

Folio	2017					Promedio 2017	Desvia- ción estándar	Desvia- ción estándar respecto a la media (%)
	1ra	2da	3ra	4ta	5ta			
2014-496	59.73	65.40	64.95	46.79	44.77	56.33	9.91	17.59
2014-311	113.32	113.14	116.68	107.04	115.15	113.07	3.67	3.24
2014-418	180.53	182.27	184.00	182.47	183.13	182.48	1.28	0.70
2014-485	71.35	66.28	65.70	64.49	65.31	66.63	2.72	4.08
2014-407	174.26	174.68	176.96	176.04	176.49	175.69	1.17	0.66
2014-308	116.33	108.75	110.15	111.04	107.31	110.72	3.44	3.11
						117.48	3.70	4.90

La Tabla 4.38 compara el dato promedio obtenido durante las pruebas del año 2017 para la carga contra las mediciones de las pruebas de los años 2015 y 2016.. De las unidades evaluadas, es la unidad con folio 2014-496 (Casa Blanca) la que presentó una mayor variación promedio (19.06%), mientras que el resto estuvo por debajo del 6%.

Tabla 4.38. Comparación del promedio de la carga(m) con las mediciones realizadas en los años 2015 y 2016

Nombre U.R.	2015	2016	Promedio 2017	Variación promedio (%)
2014-496	65.11	50.77	56.33	19.06
2014-311	111.77	111.95	113.07	0.58
2014-418	184.84	180.96	182.48	1.49
2014-485	66.40	62.86	66.63	5.64
2014-407	177.66	174.41	175.69	1.30
2014-308	107.78	103.97	110.72	4.88

4.2. Uso de la red de datos de la CFE para la consulta remota de consumos eléctricos de unidades de riego

Como se explicó en el capítulo de metodología, durante el presente proyecto se utilizó la red de datos de CFE para realizar la consulta de los consumos de energía de las 80 unidades de riego que han sido analizadas en los proyectos relacionados con el SIEVA emprendidos por el IMTA en años anteriores (ver Anexo 1). Esta información permitió complementar la base de datos del SIEVA para obtener el volumen extraído estimado por el índice energético de los años 2015 y 2016. Estos datos, junto con el volumen concesionado y el porcentaje de sobreexplotación estimados para cada unidad de riego se muestran con detalle en el Anexo 2. En esta sección, la Tabla 4.39 muestra el consumo total de energía, el volumen concesionado y el volumen sobreexplotado acumulado total para todas las unidades de riego analizadas. Como se puede observar, el número de pozos que rebasaron su concesión aumento de 29 a 36 en el año 2016, incrementando también en más de 1.4 millones de metros cúbicos la cantidad de agua sobreexplotada. El porcentaje promedio de sobreexplotación se incrementó cerca del 30%.

Tabla 4.39. Comparación de la sobre-extracción usando el índice energético en los años 2015 y 2016 para los 80 pozos

Concepto	2015	2016
Unidades de riego	80	80
Volumen total concesionado (m³)	11,419,760.00	11,419,760.00
Consumo total de energía (kWh)	6,563,780.00	8,189,865.00
Volumen total sobrepasa la concesión (m³)	2,527,037.43	3,928,103.84
Pozos que sobrepasan su concesión	29	36
Porcentaje promedio de sobre-explotación (%)	93.46	122.02

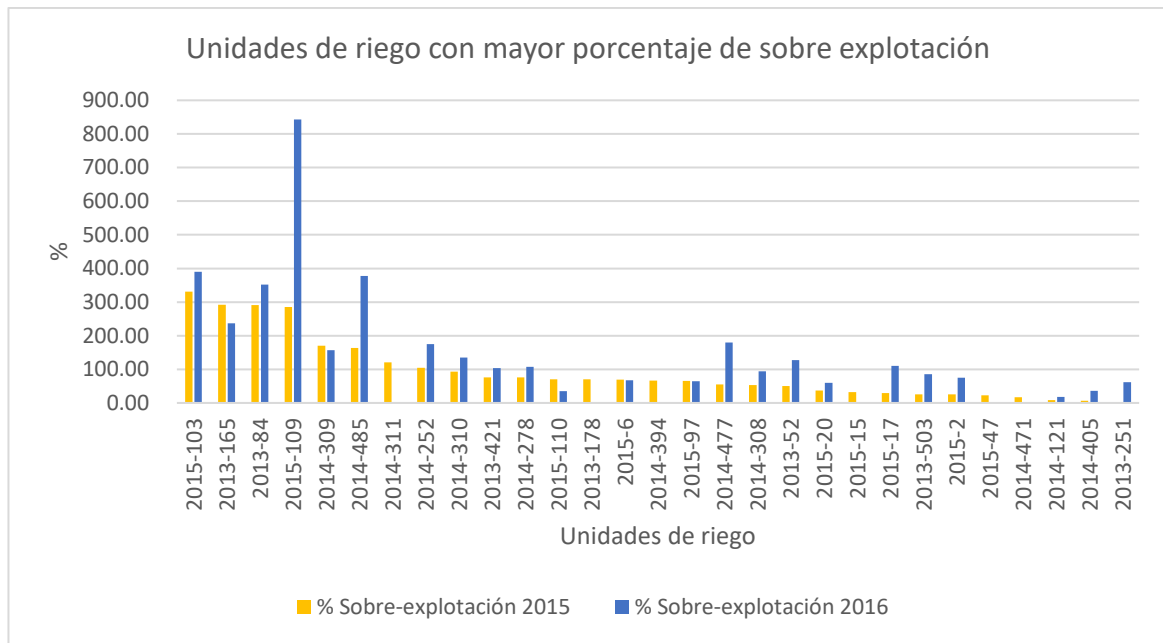


Figura 4.73. Porcentajes de sobreexplotación de unidades de riego en los años 2015 y 2016. Los datos se muestran ordenados respecto al año 2015 y sólo se muestran las 29 unidades cuya concesión fue rebasada en dicho año.

Un aspecto importante de determinar en el presente trabajo respecto a los pozos sobreexplotados, corresponde a saber si se trata de las mismas unidades de riego. En este sentido, dada la información del Anexo 2, se puede observar de las 29 unidades de riego que rebasaron su concesión en el año 2015, 26 también lo hicieron para el año 2016. La Figura 4.73 muestra dichas unidades y sus extracciones en los años 2015 y 2016. El coeficiente de determinación (r^2), una métrica de correspondencia lineal entre dos variables, indica que entre los porcentajes de sobreexplotación 2015 y 2017 (todas las unidades) hay un coeficiente r^2 de 0.818, que es bastante alto. Con esta información se puede afirmar que, en su mayoría, se trata de las mismas unidades de riego las que extraer más de lo que les permite su concesión.

5. Conclusiones

El presente proyecto utilizó las redes inteligentes para alimentar la base de datos del Sistema de Información de Extracciones Volumétricas en Acuíferos (SIEVA), así como continuar con el monitoreo de las extracciones en sistemas de bombeo de las unidades de riego. En este sentido, se observa que es factible y viable la transmisión de los datos de los consumos de energía usando la red inteligente de la CFE; sólo es necesario establecer el protocolo para acceder a la información en forma masiva y automatizada. Esto requiere de un esquema de cooperación entre las entidades relacionadas (CFE-CNA-SAGARPA), el cual garantice un flujo continuo de datos para el monitoreo oportuno de las extracciones. Se estima que lo correcto sería definir un mecanismo de transferencia del SIEVA a los Comités Técnicos de Aguas Subterráneas (COTAS) establecidos en los estados, con el fin utilizar a SIEVA como herramienta técnica de seguimiento de las concesiones de sus usuarios. Esta forma de operación facilitará la toma de decisiones, la vigilancia de la reglamentación y el establecimiento de nuevas políticas respecto al uso y los límites de extracción de agua en los acuíferos.

Con el fin de obtener más información respecto al comportamiento del índice energético, este proyecto también 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 solo dato obtenido durante el año agrícola.

Por otro lado, se observa que no se requiere hacer una prueba de eficiencia electromecánica para calcular el índice energético. Para facilidad de utilización, sólo se requiere la potencia real y el gasto. Conociendo los consumos de energía (usando el RPU), los tiempos de operación del equipo y los parámetros antes mencionados, es posible estimar las extracciones volumétricas por pozo, con un alto nivel de precisión. Esto simplifica el proceso de captura de datos y disminuye el tiempo dedicado a dicha actividad.

Con base en los datos bajo estudio, se estima 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.

Finalmente, cabe señalar que el SIEVA se muestra como una herramienta de monitoreo que proporciona información sumamente útil para la toma de decisiones en el apoyo a las políticas de operación en las extracciones. Estas características permitirán a la larga un aprovechamiento sustentable de los recursos hídricos subterráneos, haciendo un uso óptimo del agua de los acuíferos. Por lo anterior, es necesario transferir el uso del SIEVA a los Comités Técnicos de Aguas Subterráneas (COTAS) en los acuíferos, y que dicho sistema se utilice como herramienta de seguimiento de las concesiones de sus usuarios. También es necesario promocionar el uso del SIEVA a nivel de las organizaciones de usuarios, resaltando sus ventajas para hacer un mejor uso del agua y la energía eléctrica de los sistemas de bombeo en las unidades de riego.

6. Referencias

Campos, J. C. R. (2002). "Evaluación de Extracciones a Partir del Consumo Energético". III Congreso Ibérico Sobre Gestión y Planeamiento del Agua, Sevilla (España), 13 - 17 Noviembre 2002, pp. 141 - 160.

Comisión Nacional Para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) (2011). SENER. Estudio de Sistemas de Bombeo Agropecuarios en México. México, D.F. 2011.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2014). *Estadísticas Agrícolas del Agua Edición 2013*. México, D.F.: SEMARNAT.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2015). *Estadísticas Agrícolas del Agua Edición 2014*. México, D.F.: SEMARNAT.

Conagua.gob.mx (2015a). Registro Público de Derechos de Agua (REPGA). Recuperado el 10 de noviembre de 2017 de <http://www.conagua.gob.mx/Repda.aspx>

Conagua.gob.mx (2015b). Sistema de Información de Acuíferos y Cuencas (SIGACUA). Recuperado el 13 de noviembre de 2017 de <http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=5&n2=84&n3=391&n4=391>

Conagua.gob.mx (2015c). Sistema de Localización Geográfica (SILOG). Recuperado el 13 de noviembre de 2017, de <http://www.conagua.gob.mx/gasveda.aspx>

Diario Oficial de la Federación de México (DOF) (2015, 20 de abril). 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. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [en línea]. Disponible en: http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/DOF_20_04_2015_DAS.pdf.

González C. A., García V. N. H., De León M. B. (2014) Regulated Monitoring Operating System of Groundwater Extra Withdrawals in Mexico. 22nd International Congress on Irrigation and Drainage. 14-20 September 2014, Gwangju Metropolitan City, Republic of Korea.

Guillén G. J. A., González C. A., Barrios D. J. N. (2014) Pruebas de Eficiencia Electromecánica en Equipos de Bombeo en Pozos Agrícolas en el Estado de Zacatecas. Memorias del XXIII Congreso Nacional de Hidráulica. Puerto Vallarta, Jalisco, México. Octubre 2014.

Ley de Aguas Nacionales (LAN). Diario Oficial de la Federación. 4 de abril de 2004. México.

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, vol. 2. Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE), D.L. 1998. Madrid.

Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000. Conservación del Recurso Agua que Establece las Especificaciones y el Método para Determinar la Disponibilidad Media Anual de las Aguas Nacionales, publicada en el Diario Oficial de La Federación el 17 de Abril de 2002.

Oswald, U. (2011). Retos de la investigación del agua en México. México, CRIM-UNAM, 2011, pp. 77-87.

Pressman, R. S. (2002). Ingeniería del Software. Un Enfoque Práctico. Quinta Edición. México McGraw-Hill, 2002.

Siga.conagua.gob.mx,. (2015). Descarga de archivos KML. Recuperado el 13 de noviembre 2017, de <http://siga.conagua.gob.mx/REPDA/Menu/MenuKMZ.html>

Watergy México, A.C. Representación en México de la “Alliance to Save Energy”. Archivos diversos 2007-2011. <http://www.watergy.org/countries/mexico.php>

7. Glosario

Aforo. Medición del caudal o gasto.

Agua potable. Líquido incoloro, insípido e inodoro que se puede encontrar en estado natural o ser producido a través de un proceso de purificación. Sirve para el consumo humano y animal.

Bomba. Máquina hidráulica que convierte la energía mecánica en energía de presión, transferida al agua.

Cárcamo. Es la estructura hidráulica complementaria del sistema hidráulico que sirve como almacenamiento provisional para bombear algún líquido de un nivel inferior a uno superior. Se emplea para el agua agrícola, agua potable, agua tratada, drenaje sanitario y drenaje pluvial.

Carga total de bombeo. La suma algebraica de la carga de presión en la descarga, más el nivel de succión, más el nivel al centro del manómetro, más las pérdidas de fricción y singulares en la conducción, más la carga de velocidad.

Carga de velocidad. Es la energía cinética por unidad de peso del líquido en movimiento.

Coefficiente de cortante. Es el coeficiente de rozamiento del agua con las paredes de una tubería; depende del material con que la tubería esté construida o recubierta, del diámetro de la tubería y de la velocidad del agua; con este parámetro se calculan las pérdidas de energía en una conducción de agua.

Corriente eléctrica. Es la intensidad de corriente que pasa a través de un conductor con resistencia R y cuya tensión eléctrica es V .

Factor de potencia. Es la relación entre la potencia activa y la potencia aparente, y describe la relación entre la potencia convertida en trabajo útil y real y la potencia total consumida.

Fuente de abastecimiento. Sitio del cual se toma el agua para suministro en el sistema de distribución.

Fuga. Escape físico de agua en una red de tuberías de agua.

Gasto. Volumen de agua que pasa por una sección de un conducto, medido en una unidad de tiempo; se expresa generalmente en litros por segundo.

Nivel a centros de manómetro. Es la distancia vertical entre el nivel de referencia y la posición del manómetro usado para medir las cargas de presión tanto en la succión como en la descarga.

Nivel de referencia. Es el nivel seleccionado como referencia para todas las mediciones hidráulicas, normalmente el plano inferior de la placa base de montaje del equipo de bombeo.

Nivel de succión. Es la distancia vertical desde el nivel de referencia hasta la superficie del agua cuando se encuentra en operación el equipo de bombeo.

Potencia activa. Es la potencia consumida por un motor eléctrico que se convierte en trabajo útil.

Potencia eléctrica. Es la potencia de entrada en watts (o vatios) que requiere el motor eléctrico acoplado a la bomba y en operación normal.

Potencia aparente y reactiva. En un triángulo rectángulo se asocia la potencia aparente a la hipotenusa, a un cateto se le asocia la potencia activa, y al otro se le asocia la potencia reactiva. Al coseno del ángulo existente entre la hipotenusa y el cateto adyacente, asociado a la potencia aparente y potencia activa, respectivamente, se le denomina Coseno Φ ($\text{Cos } \theta$).

Tensión eléctrica. Trabajo eléctrico medido entre dos puntos de un circuito eléctrico.

ANEXOS

Anexo 1. Unidades de riego analizadas en los proyectos 2015 y 2016

Núm.	Folio	Acuífero	Año de modernización	Profundidad	Diámetro tubería de succión	Nombre U.R.	Título de concesión
1	2014-598	Calera	2014	180	4	U.R. La Pimienta No. 2	07ZAC102650/37AMDL08
2	2014-581	Chupaderos	2014	350	6	PREDIO EL PARAISO	07ZAC103425/37AMDL13
3	2014-580	Calera	2014	130	4	PREDIO EL MILAGRO	07ZAC102363/37AMGE06
4	2014-553	Chupaderos	2014	200	4	PREDIO POZO N°5 LAS BOMBILLAS	07ZAC113316/37AMDL11
5	2014-496	Calera	2014	80	4	PREDIO CASA BLANCA	03ZAC102232/37AMGE98
6	2014-485	Calera	2014	100	4	Predio Rancho Angelica	07ZAC103669/27AMGE06
7	2014-477	Calera	2014	100	4	PREDIO LAS GEMELAS	07ZAC119382/37AMGE06
8	2014-471	Calera	2014	200	4	U. de R. San Cristobal Ejido Morelos, Zac, SPR de R.I.	07ZAC117533/37AMGE03
9	2014-418	Calera	2014	230	4	Predio El Mirador	07ZAC114671/37AMGE99
10	2014-407	Calera	2014	178	4	Predio San Jose	07ZAC114673/37AMDL13
11	2014-405	Calera	2014	200	6	U. de R. Toribio N°.39	07ZAC114143/37AMDL12
12	2014-394	Chupaderos	2014	180	4	Predio San Jeronimo	07ZAC116063/37AMGE05
13	2014-388	Chupaderos	2014	200	4	U. DE R. P D. R. LA ERA N°1	3ZAC108549/37AMGR97
14	2014-361	Chupaderos	2014	150	6	PREDIO EL CARMEN	07ZAC118254/37AMDL08
15	2014-312	Calera	2014	115	6	U. de R. para el D. R. Calera (Auras, Toribio y Coyote)	07ZAC106235/37AMDL07
16	2014-311	Calera	2014	110	4	PREDIO EL CEDRO	07ZAC101855/37AMGE06
17	2014-310	Calera	2014	130	6	U. de R. Toribio No.44	07ZAC103738/37AMGE06
18	2014-309	Calera	2014	200	6	U. de R. Toribio No. 35	07ZAC101086/27AMDL09
19	2014-308	Calera	2014	140	6	U. de R. Toribio No.38	07ZAC113929/37AMGE98
20	2014-278	Calera	2014	140	6	U.R. Toribio No.36	07ZAC100709/37AMDL09
21	2014-252	Chupaderos	2014	75	4	U. de R. para el D.R. El Cuervo No.1 Casa Blanca	07ZAC104241/37AMGE06
22	2014-249	Chupaderos	2014	250	4	Predio Parcela No 178 Z1 P1/1	07ZAC152237/37AMDL12
23	2014-222	Calera	2014	150	6	U. de R. Para El D. R. El Vergel (Canario)	07ZAC102016/37AMGE06
24	2014-121	Calera	2014	200	4	PREDIO LLANO BLANCO N°3	07ZAC111204/37AMGE03
25	2014-75	Chupaderos	2014	140	4	El Ruperto	07ZAC102360/37AMDL07
26	2014-1	Chupaderos	2014	200	4	U. de R. para el D.R. Casa Blanca No.5 Burras	07ZAC106405/37AMDA07
27	2013-559	Loreto	2013	200	4	U. de R. La Alquería	07ZAC118437/12AMGE01
28	2013-555	Chupaderos	2013	200	4	U. de R. El Vergel	07ZAC102118/37AMGE06

29	2013-519	La Blanca	2013	80	4	U. de R. Quebraplatos No.1	07ZAC102415/37AMGE98
30	2013-516	Calera	2013	200	4	U. de R. San Benito Ojuelos	07ZAC101591/37AMGE06
31	2013-503	Loreto	2013	250	6	U. de R. para el D.R. S.T. Tierra Blanca No.1	07ZAC112669/37AMGE98
32	2013-487	Calera	2013	220	4	Predio El Terron Lotes 34, 60E y 90	07ZAC121563/37AMD12
33	2013-486	Calera	2013	112	6	Predio La Purísima	07ZAC106044/37AMD13
34	2013-479	La Blanca	2013	210	4	U. de R. Rancho Don Rosendo El Saladillo General Panfilo Natera, Zac. A.C.	07ZAC118858/37AMGE02
35	2013-421	Calera	2013	180	4	U. de R. Dos Hermanos	3ZAC101624/37AMGE98
36	2013-376	Loreto	2013	150	4	Pozo Predio El Chaparral	07ZAC106116/37AMD107
37	2013-374	Calera	2013	147	4	U. de R. Las Auras No.14	07ZAC105500/37AMDA07
38	2013-316	Loreto	2013	146	4	Ejido La Alqueria	2ZAC100735/12AMGR94
39	2013-297	Loreto	2013	128	4	U. de R. Los Alicantes	07ZAC101639/37AMD108
40	2013-270	Chupaderos	2013	178	4	U. de R. Para de D.R. Huizache Negro No. 6	07ZAC104248/37AMD107
41	2013-251	Loreto	2013	180	6	U. de R. San Rafael	07ZAC116134/37AMGE99
42	2013-210	La Blanca	2013	250	4	U. de R. Predio San Manuel No.3	07ZAC113796/37AMGE00
43	2013-201	Calera	2013	200	6	Pozo Predio El Manantial	07ZAC118599/37AMGE06
44	2013-178	Calera	2013	103	4	Predio Rancho Dos Arbolitos	07ZAC100840/37AMGE04
45	2013-174	Chupaderos	2013	150	6	U. de R. El Bordo No.14	07ZAC106406/37AMDA07
46	2013-165	Calera	2013	220	6	Predio El Palmarillo o Los Mezquites	07ZAC117144/37AMD108
47	2013-142	Loreto	2013	145	6	U. DE R. PASTORIA No.5	08ZAC116441/37AMGE99
48	2013-132	Aguanaval	2013	80	4	PREDIO RANCHO SANTA CRUZ	07ZAC104945/36AMD107
49	2013-84	Calera	2013	150	4	U. de R. para D.R. Palmira No.9 Ejido Col. Hidalgo	07ZAC104133/37AMD112
50	2013-75	Loreto	2013	130	6	U. de R. El Porvenir Pozo No.1 BIS	07ZAC115388/37AMGE99
51	2013-52	Loreto	2013	230	4	U. de R. La Majada del Gallo	07ZAC112805/37AMD112
52	2013-44	Loreto	2013	252	6	Predio La Antartida Chilena	07ZAC101158/37AMGE05
53	2014-603	Chupaderos	2014	200	4	U.R. SAN ANTONIO DEL CIPRES No. 8	07ZAC115775/37AMGE99
54	2014-605	Calera	2014	160	6	UR PREDIO LOTE 46	07ZAC116848/37AMGE99
55	2015-2	Loreto	2015	230	6	Predio El Llano	07ZAC119668/37AMGE05
56	2015-6	Calera	2015	200	6	Zona De Fraccionamientos De Fresnillo(Pivote De Nuevo Dia Col.Hidalgo)	07ZAC118197/37AMGE01
57	2015-7	Calera	2015	200	4	Jarillas No. 2	07ZAC106319/37AMDA07
58	2015-15	Calera	2015	100	4	RANCHO SAN JUAN PARDILLO II	07ZAC112320/37AMD108
59	2015-17	Ojocaliente	2015	145	4	Predio El Vergel	08ZAC104903/12AMGE06
60	2015-20	La Blanca	2015	125	4	Predio Los Fresnos	07ZAC103799/37AMGL11

61	2015-38	Calera	2015	200	4	Predio Pozo 4 Francisco I Madero	07ZAC106404/37AMDA07
62	2015-47	Calera	2015	80	4	Predio La Mezquitera	07ZAC102625/37AMGE06
63	2015-50	Chupaderos	2015	150	6	PREDIO POZO 4	07ZAC119222/37AMGE03
64	2015-57	Calera	2015	120	4	PREDIO RANCHO SANTA CRUZ	07ZAC103273/37AMGE05
65	2015-58	Loreto	2015	200	6	Predio El Durazno	07ZAC113082/37AMGE98
66	2015-66	Loreto	2015	135	6	Predio Las Palmitas De Arriba	07ZAC103916/37AMGE06
67	2015-68	Chupaderos	2015	200	4	PREDIO SIN NOMBRE (SAN JOSÉ)	07ZAC104408/37AMGE06
68	2015-70	Chupaderos	2015	180	6	PREDIO POZO No 14	07ZAC104173/37AMD07
69	2015-71	Calera	2015	200	4	Predio Los Martinez	07ZAC111186/37AMD12
70	2015-75	Loreto	2015	113	4	Predio El Potrero Pozo No 27	07ZAC113036/37AMD13
71	2015-85	La Blanca	2015	200	4	PREDIO LOS TRES POTRILLOS	3ZAC102123/37AMGE98
72	2015-87	Loreto	2015	150	4	Predio El Chepinque No 1	07ZAC104222/37AMGE06
73	2015-88	Loreto	2015	250	4	Predio Los Desmontes	08ZAC117434/37AMD11
74	2015-94	Chupaderos	2015	200	6	PREDIO POZO No 9	07ZAC108551/37AMD07
75	2015-97	Ojocaliente	2015	146	6	Predio Rancho Dolores No 2	08ZAC117486/12AMGE05
76	2015-103	Chupaderos	2015	80	4	PREDIO LA PALMA CHATA	07ZAC101497/37AMD08
77	2015-108	Calera	2015	200	4	PREDIO EL MIRADOR	07ZAC116057/37AMGE03
78	2015-109	Calera	2015	200	4	PEREDIO EL NORTEÑO No. 2	07ZAC101849/37AMD13
79	2015-110	Calera	2015	110	4	PREDIO HARAS ADRIANA SMITH	07ZAC117903/37AMD13
80	2015-111	Chupaderos	2015	200	4	Predio: No. 1 SARH la palma	07ZAC114372/37AMD13

Anexo 2. Volumen extraído y porcentaje de sobre-explotación anuales de unidades de riego analizadas en los proyectos 2015 y 2016

Tabla A2.1. Volumen extraído anual y porcentaje de sobre-explotación estimados en función del índice energético y los consumos de energía eléctrica para los años 2015 y 2016. Los datos se encuentran ordenados en función del porcentaje de sobreexplotación del año 2015.

Folio	Volumen concesionado (m ³)	Volumen extraído 2015	% Sobre- explotación 2015	Volumen extraído 2016	% Sobre- explotación 2016
2015-103	27,000.00	116,441	331.26	132,414.59	390.42
2013-165	120,000.00	470,515	292.10	403,842.91	236.54
2013-84	48,000.00	187,568	290.77	217,176.19	352.45
2015-109	30,000.00	115,676	285.59	282,898.36	842.99
2014-309	180,000.00	486,996	170.55	462,447.37	156.92
2014-485	30,000.00	79,133	163.78	143,276.47	377.59
2014-311	60,000.00	132,177	120.29	60,531.58	0.89
2014-252	100,000.00	204,773	104.77	275,401.01	175.40
2014-310	168,000.00	324,518	93.17	395,585.42	135.47
2013-421	114,000.00	200,518	75.89	232,434.28	103.89
2014-278	240,000.00	421,676	75.70	496,999.83	107.08
2015-110	96,000.00	163,729	70.55	130,048.00	35.47
2013-178	66,000.00	112,199	70.00	67,277.52	1.94
2015-6	200,000.00	338,799	69.40	335,555.56	67.78
2014-394	120,000.00	199,915	66.60	109,427.17	0.00
2015-97	180,000.00	297,750	65.42	296,849.32	64.92
2014-477	64,000.00	99,185	54.98	179,264.26	180.10
2014-308	249,000.00	382,286	53.53	482,741.81	93.87
2013-52	120,000.00	180,176	50.15	273,345.29	127.79
2015-20	90,000.00	122,940	36.60	143,896.72	59.89
2015-15	61,840.00	81,533	31.85	62,625.00	1.27
2015-17	75,000.00	97,193	29.59	157,813.95	110.42
2013-503	216,000.00	271,081	25.50	401,658.77	85.95
2015-2	126,000.00	157,919	25.33	220,355.56	74.89
2015-47	78,000.00	95,527	22.47	67,731.90	0.00
2014-471	46,000.00	54,011	17.42	6,575.70	0.00
2014-121	180,000.00	194,887	8.27	212,823.53	18.24
2014-405	294,000.00	311,877	6.08	399,512.07	35.89
2013-251	180,000.00	184,878	2.71	291,394.81	61.89
2013-132	60,000.00	25,201	0.00	36,002.27	0.00
2013-142	288,000.00	184,135	0.00	65,777.78	0.00
2013-174	336,000.00	172,545	0.00	291,111.11	0.00
2013-210	120,000.00	118,418	0.00	133,922.08	11.60
2013-270	168,000.00	18,810	0.00	93,793.10	0.00

2013-297	210,000.00	57,704	0.00	44,110.38	0.00
2013-316	252,000.00	223,914	0.00	205,552.22	0.00
2013-374	120,000.00	8,919	0.00	93,260.62	0.00
2013-376	60,000.00	12,768	0.00	31,627.27	0.00
2013-44	264,000.00	217,135	0.00	263,064.94	0.00
2013-479	96,000.00	62,851	0.00	80,897.91	0.00
2013-486	120,000.00	46,141	0.00	223,241.67	86.03
2013-487	50,000.00	37,075	0.00	83,170.11	66.34
2013-516	210,000.00	153,805	0.00	166,256.41	0.00
2013-519	78,000.00	58,251	0.00	51,099.44	0.00
2013-555	438,000.00	72,987	0.00	167,933.68	0.00
2013-559	240,000.00	144,406	0.00	150,044.44	0.00
2013-75	225,000.00	219,644	0.00	326,754.39	45.22
2014-1	140,000.00	65,417	0.00	47,546.00	0.00
2014-222	160,000.00	16,880	0.00	37,642.86	0.00
2014-249	50,000.00	20,129	0.00	122,047.38	144.09
2014-312	252,000.00	189,900	0.00	159,984.13	0.00
2014-388	168,000.00	83,665	0.00	48,611.15	0.00
2014-496	150,000.00	138,768	0.00	192,146.15	28.10
2014-553	144,000.00	22,739	0.00	31,933.93	0.00
2014-598	108,000.00	52,795	0.00	64,125.37	0.00
2014-603	490,920.00	95,085	0.00	248,532.39	0.00
2014-605	192,000.00	33,514	0.00	238,620.69	24.28
2014-75	114,000.00	25,928	0.00	48,504.92	0.00
2015-108	240,000.00	140,232	0.00	34,447.06	0.00
2015-111	84,000.00	56,855	0.00	91,205.92	8.58
2015-38	360,000.00	93,362	0.00	159,771.43	0.00
2015-57	73,500.00	42,350	0.00	126,484.89	72.09
2015-58	180,000.00	132,875	0.00	191,680.39	6.49
2015-66	228,000.00	98,464	0.00	195,730.61	0.00
2015-68	240,000.00	54,374	0.00	116,595.74	0.00
2015-7	135,000.00	72,739	0.00	6,488.89	0.00
2015-71	122,500.00	51,097	0.00	77,293.52	0.00
2015-75	30,000.00	27,178	0.00	26,200.74	0.00
2015-85	120,000.00	60,092	0.00	113,943.10	0.00
2015-87	120,000.00	64,043	0.00	78,183.20	0.00
2015-88	264,000.00	137,390	0.00	160,523.36	0.00
2015-94	360,000.00	101,532	0.00	209,391.30	0.00