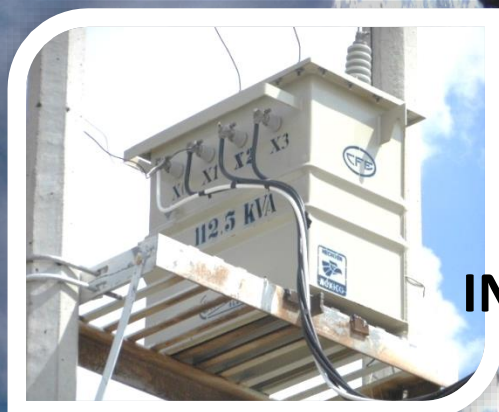


# Sistema de Información Sobre Extracciones con Fines Agrícolas en Acuíferos



**INFORME FINAL**

**PROYECTO INTERNO**

**COORDINACIÓN DE RIEGO Y DRENAJE  
SUBCOORDINACIÓN DE OPERACIÓN Y  
MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURA  
HIDROAGRÍCOLA**

**RD1510.1**

**2015**



## **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

MI. José Ángel Guillén González

Especialista en Hidráulica

## CONTENIDO

1. Introducción .....	1
1.1. Resumen Ejecutivo .....	1
1.2. Objetivos.....	2
2. Antecedentes.....	3
2.1. Problemática.....	3
2.2. Marco normativo.....	4
2.3. Relación consumo de energía y volumen extraído en sistemas de bombeo .....	4
2.4. Trabajos relacionados.....	6
2.4.1. Sobre la estimación indirecta del volumen extraído.....	6
2.4.2. Otros sistemas de información de volumen disponible en acuíferos .....	8
2.4.2.1. Sistema de Localización Geográfica (SILOG) .....	8
2.4.2.2. Sistema de Información Geográfica de Acuíferos y Cuencas (SIGACUA) .....	10
3. Metodología .....	12
3.1. Diseño metodológico.....	12
3.2. Recopilación de datos.....	12
3.2.1. El índice energético .....	13
3.2.2. Bases de datos recopiladas.....	15
3.3. Selección de zona de estudio y actividades iniciales del proyecto .....	16
3.4. Análisis estadístico de eficiencia electromecánica e índices energéticos en pozos de la zona de estudio .....	17
3.5. Pruebas de eficiencia electromecánica en pozos de la zona de estudio.....	18
3.5.1. Metodología general para la elaboración de pruebas de eficiencia electromecánica .....	18
3.5.2. Método para la aplicación de las pruebas de eficiencia electromecánica en unidades de riego de Zacatecas .....	21
3.5.2.1. Medición del gasto .....	24
3.5.2.2. Determinación del índice energético .....	27
3.6. Metodología aplicada para el desarrollo del sistema .....	27

4. Resultados .....	29
4.1. Análisis de la eficiencia y el índice energético en pozos de Zacatecas.....	29
4.2. Pruebas de eficiencia electromecánica a 80 pozos de Zacatecas .....	37
4.2.1. Resumen de los aprovechamientos evaluados .....	39
4.2.2. Resultados de las pruebas de eficiencia electromecánica .....	41
4.2.3. Error en el índice energético .....	45
4.2.4. Estimación de volumen extraído usando el consumo de energía eléctrica .....	46
4.3. El Sistema de Información de Extracciones Volumétricas en Acuíferos .....	49
4.3.1. Análisis de requerimientos.....	49
4.3.1. Diseño e implementación de la aplicación.....	50
4.3.1.1. Procedimientos algorítmicos.....	50
4.3.1.2. Base de datos .....	57
4.3.2. Funcionamiento.....	61
4.3.2.1. Pantalla de inicio .....	61
4.3.2.2. Submenú documentación .....	62
4.3.2.3. Acuíferos.....	63
4.3.2.4. Pozos.....	67
4.3.2.5. Administración del sistema .....	70
4.3.3. Comparación del SIEVA y otras aplicaciones.....	72
5. Conclusiones.....	74
6. Referencias .....	76
7. Glosario.....	78

## **ANEXOS**

ANEXOS.....	80
Anexo 1.    Métodos de aforo para descargas en equipos de bombeo .....	80
Anexo 2.    Tabla comparativa de SIEVA y otros sistemas.....	94
Anexo 3.    Pozos seleccionados para las pruebas de eficiencia electromecánica.....	96
Anexo 4.    Artículo congreso .....	100

## FIGURAS

Figura 2.1 Metodología simplificada para estimación de extracciones (López Geta, 1998).....	7
Figura 2.2 Sistema de localización geográfica (SILOG) (CONAGUA).....	9
Figura 2.3 Sistema de Información Geográfica de Acuíferos (SIGACUA) (CONAGUA). .....	11
Figura 3.1. Formato FPEE v2 P1 Para la realización de pruebas electromecánicas (1ra parte) 22	
Figura 3.2 Formato FPEE v2 P1 Para la realización de pruebas electromecánicas (2da parte) 23	
Figura 3.3 Formato FPEE v2 P1 Para la realización de pruebas electromecánicas (última parte) .....	24
Figura 3.4 Aforo por el método directo.....	25
Figura 3.5 Medidor de flujo ultrasónico .....	26
Figura 3.6 a) Analizador de corriente, b) Medición de los parámetros eléctricos .....	26
Figura 3.7 Sonda eléctrica para determinar nivel estático y dinámico .....	27
Figura 3.8 Etapas del desarrollo de software en la metodología en cascada (Pressman, 2002) .....	28
Figura 4.1. Municipios beneficiados con el programa PMTEUR.....	29
Figura 4.2. Número de aprovechamientos beneficiados por acuífero.....	30
Figura 4.3. Superficie total beneficiada por acuífero .....	31
Figura 4.4. Niveles estáticos en aprovechamientos modernizados .....	33
Figura 4.5. Niveles dinámicos en aprovechamientos modernizados .....	34
Figura 4.6. Diámetros de tubería de succión.....	34
Figura 4.7. Eficiencia electromecánica obtenida en los equipos modernizados.....	36
Figura 4.8. Factor de potencia obtenido en los equipos modernizados .....	37
Figura 4.9. Índice energético de los aprovechamientos modernizados.....	37
Figura 4.10. Cantidad de aprovechamientos evaluados clasificados por profundidad.....	40
Figura 4.11. Cantidad y gasto promedio de aprovechamientos evaluados clasificados por diámetro de tubería de succión .....	41
Figura 4.12. Eficiencia electromecánica e índice energético de los equipos de bombeo de 80 aprovechamientos evaluados .....	42
Figura 4.13. Coeficiente de determinación entre la eficiencia electromecánica y el índice energético de los equipos de bombeo modernizados en el año 2013 .....	43

Figura 4.14. Coeficiente de determinación entre la eficiencia electromecánica y el índice energético de los equipos de bombeo modernizados en el año 2014 .....	44
Figura 4.15. Coeficiente de determinación entre la eficiencia electromecánica y el índice energético de los equipos de bombeo modernizados en el año 2015 .....	44
Figura 4.16. Avance en la extracción para la unidad de riego “Predio Los Fresnos” del acuífero “La Blanca”, año 2015 .....	49
Figura 4.17. Organización de procedimientos en SIEVA.....	51
Figura 4.18. Procedimiento de consulta de la documentación de la disponibilidad media en acuíferos.....	51
Figura 4.19. Procedimiento de consulta de disponibilidad media anual de agua en acuíferos	52
Figura 4.20. Procedimiento de consulta a aprovechamientos .....	53
Figura 4.21. Procedimiento de consulta a usuarios agrícolas .....	54
Figura 4.22. Procedimiento de consulta a pozos.....	55
Figura 4.23. Procedimiento de administración de usuarios del sistema.....	56
Figura 4.24. Procedimiento de administración de Información del sistema.....	57
Figura 4.25. Base de datos (sección acuíferos).....	58
Figura 4.26. Base de datos (sección pozos) .....	59
Figura 4.27. Base de datos (sección administración de usuarios).....	60
Figura 4.28. Base de datos (sección tablas de configuración).....	60
Figura 4.29. Pantalla Principal .....	61
Figura 4.30. Pantalla documentos- disponibilidad media .....	62
Figura 4.31. Pantalla acuíferos – disponibilidad – (salida en forma tabular) .....	64
Figura 4.32. Pantalla acuíferos – disponibilidad (gráfica).....	64
Figura 4.33. Pantalla acuíferos –disponibilidad (mapa) .....	65
Figura 4.34. Pantalla acuíferos – aprovechamientos (tabla) .....	66
Figura 4.35. Pantalla acuíferos - aprovechamiento (gráfica).....	66
Figura 4.36. Pantalla acuífero – usuarios (tabla) .....	67
Figura 4.37. Pantalla pozos – pozos (Tabla) .....	68
Figura 4.38. Pantalla pozos – pozos (gráfica) .....	69
Figura 4.39. Pantalla pozos – pozos (mapa) .....	69

Figura 4.40. Pantalla administración - usuarios del sistema ..... 71

Figura 4.41. Pantalla administración – captura de Información – (pestaña Pozos)..... 72

## TABLAS

Tabla 2.1 Impacto energético en cada etapa del riego (Watergy México, A.C.).....	5
Tabla 2.2 Información base para el sistema SILOG .....	9
Tabla 3.1 Bases de datos obtenidas de la recopilación inicial de datos.....	15
Tabla 3.2 Información obtenida de los expedientes técnicos de las unidades beneficiadas por el PMTEUR.....	17
Tabla 4.1. Volumen concesionado por acuífero.....	31
Tabla 4.2. Gasto de extracción por acuífero.....	35
Tabla 4.3. Aprovechamientos visitados y no evaluados.....	38
Tabla 4.4. Aprovechamientos evaluados organizados por acuífero y año de modernización..	39
Tabla 4.5. Eficiencia electromecánica promedio por acuífero y año de modernización .....	41
Tabla 4.6. Diferencias encontradas en eficiencias en expedientes PMTEUR y pruebas electromecánicas realizadas .....	45
Tabla 4.7. Variación porcentual respecto a la media en el cálculo del índice energético en tres mediciones distintas de la potencia activa. ....	46
Tabla 4.8. Listado con resultados de la estimación del volumen extraído con base a los consumos eléctricos del año 2015 de 68 pozos del estado de Zacatecas. ....	46
Tabla 4.9. Información numérica de la consulta a la disponibilidad media anual de volumen en acuíferos.....	53
Tabla 4.10. Información numérica de la consulta a aprovechamientos .....	53
Tabla 4.11. Información numérica de la consulta a usuarios.....	54



## 1. Introducción

### 1.1. Resumen Ejecutivo

Los acuíferos en México aportan cada año el 35% del agua utilizada en la agricultura, y un 12% del agua utilizada para otros usos consuntivos (CONAGUA-SEMARNAT, 2014), por lo que su aprovechamiento óptimo y sustentable resulta de vital importancia. Lamentablemente, se estima que una cantidad de 106 acuíferos de un total de 653 se encuentran en algún nivel de sobreexplotación, al exceder el volumen de extracciones al volumen del agua en la recarga. En la última década, diversas medidas y políticas a nivel nacional se han desarrollado para controlar y monitorear 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 o gerencial. Por otro lado, no obstante la existencia de información estimada a nivel de acuífero, la cantidad de extracciones a nivel de pozo son casi desconocidas. Pese a que en los últimos años la CONAGUA ha puesto en marcha un programa intensivo para la instalación de medidores volumétricos en acuíferos, se estima que cuando mucho se han instalado cerca del 10% de los medidores requeridos (González et al., 2014). A esta situación se le añade la falta de personal para realizar la captura de las lecturas, así como de interés por parte del productor para instalar y dar mantenimiento al equipo.

Dada esta problemática, se requiere la creación de nuevas herramientas informáticas que faciliten la consulta del volumen disponible en los acuíferos, considerando también la estimación del volumen extraído a nivel de pozo. Por tal razón, durante el año 2015 el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) emprendió el desarrollo del Sistema de Información de Extracciones Volumétricas en Acuíferos (SIEVA), el cual permite acceder a la información de los volúmenes extraídos, concesionados y recargados de todos los acuíferos de país de manera flexible y organizada, clasificando los totales por grupos de interés. Entre sus funciones, el sistema incluye la posibilidad de realizar una estimación indirecta del volumen extraído usando el índice de consumo energético kWh/m<sup>3</sup> (CONUEE, 2011), lo cual permite detectar cuando un pozo se acerca o excede su volumen concesionado.

Con el fin de validar la aplicación SIEVA en un entorno realista de funcionamiento, el presente proyecto de investigación contempló dentro de sus actividades la obtención de datos de consumos energéticos y elaboración de pruebas electromecánicas de unidades de riego del Estado de Zacatecas. En total, se realizó la captura de información de cerca de 1007 expedientes técnicos de

unidades de riego beneficiadas por el programa PMTEUR, las cuales incluían el resultado de una prueba electromecánica realizada a la entrega de los equipos modernizados. 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. Resultados promedio de esta validación permiten inferir (con reservas), un coeficiente de correlación lineal entre la eficiencia electromecánica y el índice energético de  $-0.462$ , un nivel de disminución anual en la eficiencia electromecánica del  $1.425\%$ , y un decaimiento en el índice energético del  $2.03\%$  (menor costo energético por metro cúbico de agua) por cada  $1\%$  de incremento en la eficiencia electromecánica. Una estimación del error del índice energético contemplando la desviación de la potencia activa de la media, indica que el porcentaje de dicha desviación tiene un valor del  $5.58\%$ , con una desviación de  $\pm 3.5$ .

Con la información de consumos de energía de 70 pozos, SIEVA pudo determinar que, con un consumo parcial del año 2015 (al mes de septiembre), 15 pozos ( $21.43\%$ ) ya habían excedido su volumen concesionado, con una extracción promedio estimada del  $161.18\%$  de dicho volumen.

Entre los resultados obtenidos, es posible afirmar que a partir de la ejecución de este proyecto, se dispone de una plataforma informática que facilita la ubicación de los acuíferos seleccionados en una entidad federativa y proporciona la disponibilidad de volúmenes concesionados. Esta plataforma incluye un mecanismo para estimar los volúmenes extraídos mensuales obtenidos de forma indirecta usando los consumos de electricidad y el denominado Índice Energético ( $\text{kWh}/\text{m}^3$ ). Por otro lado, se cuenta actualmente con la información de consumos de energía de 80 pozos, así como un artículo sometido publicado en un congreso nacional sobre sistemas informáticos para apoyar el seguimiento y el control de extracciones en acuíferos.

### 1.2. Objetivos

El presente proyecto de investigación persigue los siguientes objetivos:

- Desarrollar una plataforma informática, con información geo-referenciada, para dar seguimiento remoto a las extracciones y a la disponibilidad de los volúmenes concesionados en pozos agrícolas a nivel de usuario, unidad, modulo o distrito de riego.
- Establecer un sistema de seguimiento y alerta sobre los volúmenes extraídos con respecto a las concesiones y volúmenes autorizados.
- Contar con una base de datos actualizada y geo-referenciada para facilitar la ubicación de los pozos y su estado de consumo con respecto a la concesión.
- Construir una herramienta para estimar de forma indirecta, a través de los consumos de electricidad y el denominado Índice Energético ( $\text{kWh}/\text{m}^3$ ), las extracciones volumétricas de agua en pozos mensuales y acumuladas por periodos anuales o ciclos agrícolas.

## 2. Antecedentes

En este capítulo se describen los antecedentes del presente proyecto en cuatro partes: la problemática, el marco legal, la relación consumo de energía - volumen extraído y un resumen de trabajos previos relacionados.

### 2.1. Problemática

El Plan Nacional Hidráulico (PNH) 2014-2018 identifica una problemática en la administración del agua, la cual se concentra en tres aspectos principales: sobreexplotación, sobre-concesión y contaminación de los recursos hídricos. El PNH indica también que esta problemática se ha convertido en un factor que limita el aprovechamiento sustentable de los recursos hídricos y empieza a inhibir el desarrollo social, económico y ambiental en nuestro país.

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 usuarios propietarios de los títulos de concesión no desean que sus consumos sean revisados, por lo que no hay interés de su parte en la instalación y mantenimiento de medidores volumétricos. Por otro, la cantidad de medidores y de personal disponibles para la realización de las lecturas resultan hoy en día insuficientes, e 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 niveles de sobreexplotación a los que ha 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 controlar y monitorear 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 o gerencial.

Dada esta problemática, se requiere la creación de nuevas herramientas informáticas que faciliten la consulta del volumen disponible en los acuíferos, considerando también la estimación del volumen extraído a nivel de pozo. Se considera que contar con esta tipo de herramientas para

el registro y control de extracciones de todos los acuíferos del país es de gran valor, especialmente para llevar un control del balance en su contenido volumétrico total, así como para la toma de decisiones y control en las medidas de extracción.

### **2.2. 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.

### **2.3. Relación consumo de energía y volumen extraído en sistemas de bombeo**

La energía juega un papel fundamental en la captación y distribución del agua utilizada para riego. Este insumo es necesario en cada una de las etapas que intervienen en la producción, conducción y distribución del agua con el objeto de proporcionar la cantidad necesaria según el tipo de siembra para el cultivo y su desarrollo. Típicamente, las etapas que integran un sistema de riego son captación, acondicionamiento, conducción. Distribución y riego. Cada una de estas etapas tiene un impacto distinto en consumo de energía, tal y como lo muestra la Tabla 2.1. Como se puede

apreciar en dicha tabla, la mayor cantidad de energía se consume durante la operación de extracción.

*Tabla 2.1 Impacto energético en cada etapa del riego (Watergy México, A.C.)*

<b>Etapa</b>	<b>Operación</b>	<b>Impacto promedio relativo sobre consumo de energía (%)</b>
<b>Captación</b>	Extracción de pozo profundo	40-80
<b>Acondicionamiento</b>	Fertilización	0-2
<b>Conducción</b>	Envío del agua al cultivo	4-5
<b>Distribución</b>	Rebombeo	0-40
<b>Riego</b>	Aplicación de la cantidad necesaria para el cultivo	10-30
<b>Total</b>		100%

Actualmente, se estima que un 93% de los tipos de sistemas de bombeo típicos para uso agrícola son pozos profundos con suministro eléctrico. Un sistema de bombeo típico está integrado por los siguientes componentes (CONUEE, 2011):

- a) Pozo profundo, caracterizado por un coeficiente de utilización resultante de una curva de aforo, que es indicativo del as posibilidades máximas de explotación, calidad del acuífero y de la construcción del pozo.
- b) El equipo de bombeo, caracterizado por su eficiencia electromecánica (EEM) que consta de motor eléctrico y bomba tipo vertical o sumergible.
- c) Instrumentos de medición. Para el control oficial, el pozo debe contar con una sonda neumática instalada permanentemente y en la descarga de la bomba debe existir un medidor de flujo de agua que además integre el volumen de agua extraído.
- d) Mecanismo de conducción y distribución. El primer componente del sistema de riego es la conducción del agua hacia el cultivo, y finalmente para la colocación del agua de riego a la siembra se emplea un sistema que puede ser desde la inundación del cultivo, riego por aspersión o riego por goteo.

Los factores contextuales que influyen principalmente en el consumo de energía de los sistemas de bombeo para riego agrícola son: la profundidad del agua en el pozo, el transporte del agua producida, la energía utilizada para depositar el agua en el cultivo, además de las condiciones climatológicas y las necesidades de agua del cultivo. La relación entre estos factores y el consumo

de energía eléctrica, se da principalmente en el trabajo que se realiza para la extracción y distribución del agua, por lo que se expresa en términos de potencia (en vatios, W). No obstante, no todos estos factores pueden ser involucrados en un modelo matemático, la ecuación de potencia se reduce en términos del equipo de bombeo el gasto suministrado por el equipo, la carga total del equipo, el peso del agua y la eficiencia electromecánica del equipo de bombeo (Ecuación 1).

$$P_e = \frac{Q \times H \times PA}{\left(\frac{EEM}{100}\right)} \quad ( 1 )$$

Donde:

$P_e$	Potencia requerida por el equipo de bombeo (W).
$Q$	Gasto suministrado por el equipo ( $m^3/s$ )
$H$	Carga total del equipo de bombeo (metros)
$PA$	Peso específico del agua (densidad x gravedad) en $N/m^3$ . Para agua subterránea, el valor es 9.81.
$EEM$	Eficiencia electromecánica del equipo de bombeo (%)

De acuerdo a la CONUEEE (2011), las tres principales variables que influyen en la potencia de los equipos son: la cantidad de agua bombeada ( $Q$ ), la carga total ( $H$ ) y la eficiencia electromecánica.

## 2.4. Trabajos relacionados

Esta sección presenta un resumen los trabajos relacionados con el presente proyecto. La sección 2.4.1 , proporciona una vista general de los trabajos relacionados con la estimación indirecta del volumen extraído. Por otro lado, la sección 2.4.2 ofrece información sobre sistemas de información que facilitan la consulta de volúmenes disponibles en acuíferos.

### 2.4.1. Sobre la estimación indirecta del volumen extraído

En el compendio de artículos de Oswald (2011), se indica que uno de los primeros trabajos para estimar de forma indirecta los volúmenes de agua utilizados para uso agrícola fue el desarrollado por la CONAGUA en convenio con el Colegio de Postgraduados (COLPOS) en 1997. Este trabajo tuvo por objetivo para evaluar las superficies regadas y los volúmenes de agua usados del río Pesquería en el estado de Nuevo León usando imágenes de satélite Landsat 7 y el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). En 1999, un trabajo similar fue realizado en conjunto del International Irrigation Management Institute (IWI) y del COLPOS, con el objetivo determinar los volúmenes usados para riego en la cuenca alta del río Lerma (Bolaños, 2000). En este mismo año, las imágenes de satélite y la percepción remota fueron utilizadas también para evaluar los volúmenes extraídos de acuíferos de Janos y la Costa de Hermosillo, determinando las láminas de riego aplicadas a los principales cultivos de la región.

Por otra parte, diversos autores han señalado la utilidad del índice energético ( $\text{kWh/m}^3$ ) para la estimación del volumen extraído en aprovechamientos subterráneos (López Geta, 1998; Campos, 2002; Oswald, 2011; González et al., 2014). López Geta (1998) indica que el Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE) viene aplicando desde 1985 el denominado método de “Encuestas de cuantificación de volúmenes de bombeo”. En dicho documento, se publica una versión revisada del método, indicando los parámetros a medir o a calcular y el análisis del grado de error, así como los factores de mayor incidencia sobre el costo del agua. La Figura 2.1 muestra la metodología utilizada. En sus conclusiones, el autor señala un error medio cercano al 10%. El trabajo de Campos (2002) describe aplicaciones concretas del método de (López Geta, 1998) sobre diversos acuíferos de España, determinando también el rendimiento (eficiencia electromecánica). Este último trabajo señala eficiencias electromecánicas muy dispares en los pozos revisados (desde el 20% al 77%), manteniendo el mismo porcentaje de error promedio que el trabajo anteriormente mencionado.

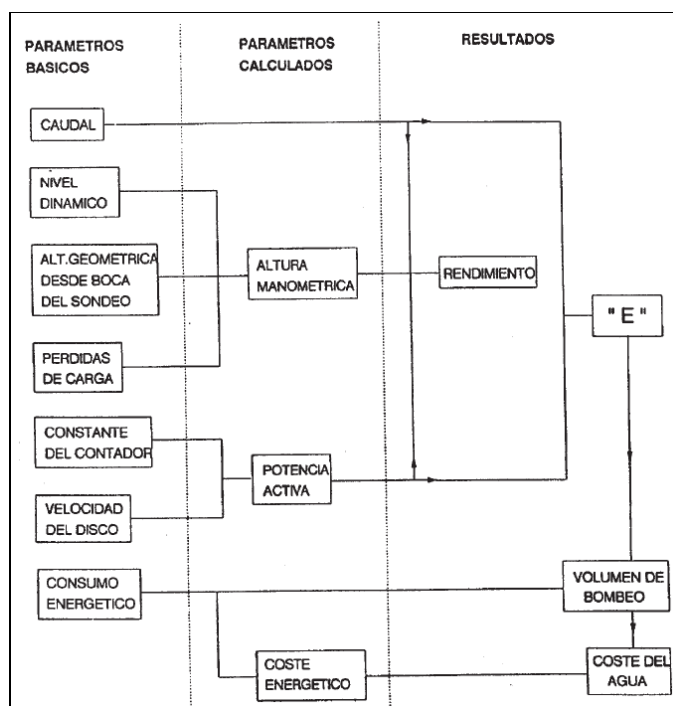


Figura 2.1 Metodología simplificada para estimación de extracciones (López Geta, 1998)

Como se indica en Oswald (2011), también en México se viene trabajando con el índice energético desde 1985. En este año, la Dirección General de Administración del Agua de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) estuvo probando este método para evaluar los volúmenes bombeados de pozos profundos. La Coordinación de Uso Eficiente del Agua y la Energía (CUEAR) de la SDGIH realizó una evaluación de los volúmenes extraídos de cada entidad federativa, con base a los consumos eléctricos reportados por la Comisión Federal de Electricidad (CRE) en la tarifa 9M (SDGIH, 1994). Trabajos más recientes, se han dedicado a automatizar el método para su aplicación masiva a nivel de pozo, por medio de sistemas informáticos. En (González, 2014), se

describe el programa de cómputo SOCRATEX, capaz de llevar un control a nivel de usuario y determinar el consumo en base al índice energético, la eficiencia electromecánica y los consumos de energía eléctrica.

El presente proyecto continúa bajo la línea del último trabajo mencionado. Se propone un sistema para automatizar la consulta de los volúmenes disponibles en acuíferos y las extracciones desde nivel de pozo, pero considerando también que el flujo y la consulta de la información se genera en un ambiente distribuido, por lo que la aplicación se ejecuta por medio de Internet.

### **2.4.2. Otros sistemas de información de volumen disponible en acuíferos**

La CONAGUA, en particular la Gerencia de Aguas Subterráneas, se ha preocupado por proporcionar información automatizada que faciliten la localización de los acuíferos y zonas de disponibilidad, así como proporcionar información cuantitativa de los volúmenes a nivel de acuífero y título de concesión. Dos sistemas en particular han abordado el problema por medio de una aplicación que se ejecuta en un entorno masivo, razón por la cual son presentadas en esta sección como trabajos previos sobre sistemas de información en acuíferos.

#### **2.4.2.1. Sistema de Localización Geográfica (SILOG)**

Creado por la Gerencia de Aguas Subterráneas a cargo de la Subdirección General Técnica, SILOG es un sistema de consulta gráfico, que permite establecer en qué acuífero, municipio, subcuenca o zona de veda se ubica una captación de agua existente o cualquier punto que se requiera localizar, solamente escribiendo las coordenadas geográficas conocidas. El sistema puede realizar algunas funciones, tales como localizar coordenadas (decimales o sexagesimales) en un mapa estatal y detectar en qué acuífero, subcuenca, zona de veda o de agua subterránea se encuentra el punto localizado. También es posible localizar dichos elementos por nombre. Una muestra de la impresión de pantalla se presenta en la Figura 2.2.



## 2. Antecedentes

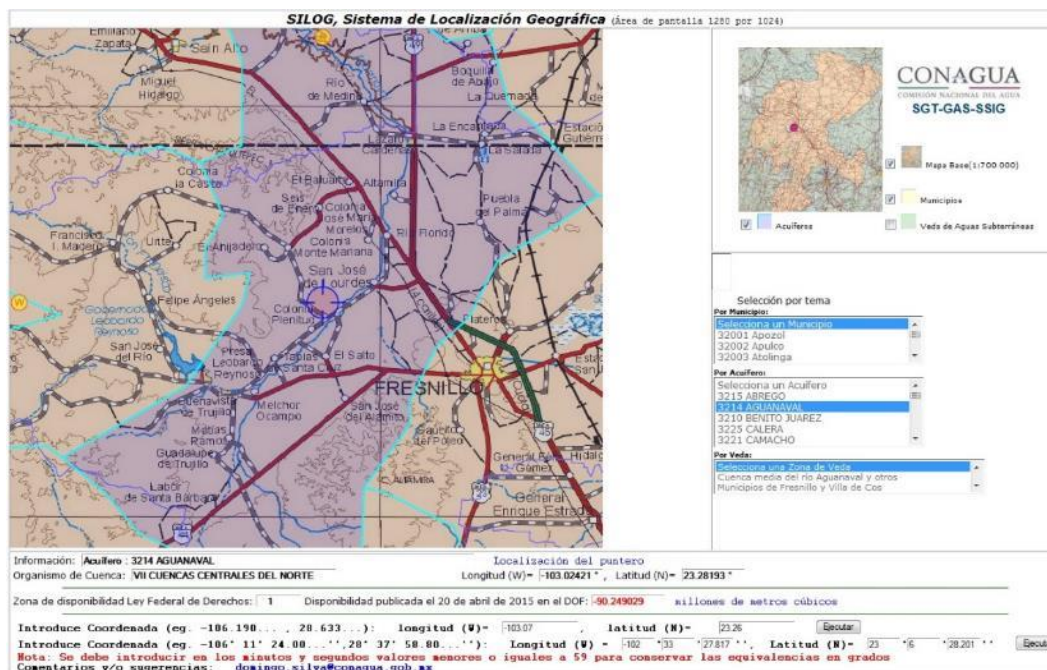


Figura 2.2 Sistema de localización geográfica (SILOG) (CONAGUA)

A continuación se presenta un resumen de las principales características de este sistema.

- a) **Objetivo.** Localizar un municipio, acuífero, zona de veda por medio de una coordenada geográfica.
- b) **Modo de acceso.** Aplicación web, puede ser consultada en <http://www.conagua.gob.mx/gasveda.aspx?n1=3&n2=62&n3=94>.
- c) **Origen de la información.** El origen de la información se presenta en la Tabla 2.2.
- d) **Tecnología de mapas** Se utiliza la interfaz de programación SVG MAPS (Acrobat).
- e) **Funcionamiento** Actualmente, sólo funciona en algunas máquinas con Windows 7. Sólo soporta el navegador Internet Explorer (no soporta los navegadores FireFox ni Chrome). El complemento SVG (plugin) que requiere está obsoleto desde el año 2009.

Tabla 2.2 Información base para el sistema SILOG

Dato	Origen
<b>Volúmenes concesionados</b>	DOF 20-Abr-2015
<b>Mapas base</b>	Mapas condensados estatales de INEGI. Las escalas varían de acuerdo al tamaño del Estado.
<b>Mapas Municipios</b>	Es el marco geo-estadístico municipal 2000 del INEGI
<b>Mapas de Acuíferos</b>	Mapa elaborado por la Gerencia de Aguas Subterráneas, versión 2009.

<b>Vedas</b>	Es el mapa digital elaborado por la Gerencia de Aguas Subterráneas, el cual se toma como una representación gráfica de los decretos de veda.
<b>Documentos de disponibilidad</b>	CONAGUA-Gerencia de Aguas Subterráneas, Subgerencia de evaluación y ordenamiento de acuíferos (2007-2009)

---

#### 2.4.2.2. Sistema de Información Geográfica de Acuíferos y Cuencas (SIGACUA)

SIGACUA es una aplicación visual interactiva guiada principalmente por un mapa, el cual permite visualizar distintos elementos de interés como las cuencas y acuíferos del país, así como sus nombres oficiales y su zona de disponibilidad respectiva; la delimitación territorial de los estados y municipios, y sus principales localidades urbanas y los principales ríos y cuerpos de agua. Adicionalmente, el SIGACUA tiene la capacidad de mostrar imágenes satelitales del país, lo cual facilita la ubicación visual de las fuentes de extracción. Además del mapa, el sistema ofrece un menú para encontrar ubicaciones en el mapa por nombre, donde se incluyen ríos, municipios, entidades y localidades urbanas. De forma similar a como lo realiza Google Maps, SIGACUA tiene la capacidad de buscar ubicaciones por direcciones, por lo que su principal ventaja es proporcionar al usuario la cuenca, subcuenca y el acuífero de un domicilio en particular. La interfaz del programa se muestra en la Figura 2.3.

A continuación se presenta un resumen de las principales características de este sistema.

- a) **Objetivo:** Ubicar la cuenca y/o acuífero de la fuente de extracción de los usuarios por alguno de los tres medios disponibles: 1) por coordenadas, 2) por el domicilio del aprovechamiento y 3) por acercamientos visuales mediante el uso de las imágenes satelitales y las fuentes de ubicación.
- b) **Modo de acceso:** aplicación web, se accede desde <http://sigagis.conagua.gob.mx/aprovechamientos/>.
- c) **Tecnología de mapas:** Se utiliza la interfaz de programación FLASH y librerías de ESRI.
- d) **Funcionamiento:** No funcionó en dos de tres computadoras con Windows 8 y Firefox, posiblemente requiera algún otro componente de software además de Flash.
- e) **Origen de la información:** La página web del sistema no lo especifica. Se asume que proviene de los estudios técnicos realizados por CONAGUA del 2007 al 2009 y actualizados el 20 de abril del 2015.

## 2. Antecedentes



Figura 2.3 Sistema de Información Geográfica de Acuíferos (SIGACUA) (CONAGUA).

### 3. Metodología

#### 3.1. Diseño metodológico

Las etapas que comprenden la metodología empleada para el desarrollo del proyecto, así como sus objetivos, son los siguientes:

1. **Recopilación de datos.** Realizar una investigación documental para obtener la información actualizada de volúmenes disponibles y concesionados en acuíferos, métodos de cálculos de disponibilidad de agua y métodos de estimación indirecta de volumen extraído.
2. **Selección de zona de estudio.** Determinar una dirección local de CONAGUA que facilite información de índices energéticos, consumos de energía y volúmenes extraídos en pozos.
3. **Análisis estadístico de eficiencia electromecánica e índices energéticos en pozos de la zona de estudio.** Obtener información estadística de eficiencia electromecánica e índices energéticos de pozos profundos de la zona de estudio seleccionada.
4. **Realización de pruebas de eficiencia electromecánica a pozos de la zona de estudio.** Determinar un conjunto representativo de pozos en base al análisis estadístico realizado en la etapa anterior. Realizar nuevas pruebas de eficiencia electromecánica y determinación del índice energético para comparar con la información histórica.
5. **Análisis de requerimientos del sistema.** Determinar la funcionalidad de la aplicación en términos de requerimientos funcionales y no funcionales.
6. **Desarrollo del sistema.** Seleccionar una metodología de desarrollo para el sistema. Desarrollar el sistema en base a la metodología seleccionada. Validar el funcionamiento de la aplicación con la información recopilada.
7. Obtención de conclusiones.

En este capítulo se describe cómo se llevaron a cabo las primeras cinco etapas de la metodología. Los resultados obtenidos se presentan en el capítulo 4, mientras que las conclusiones se presentan en el capítulo 5 de este informe.

#### 3.2. Recopilación de datos

Esta primera etapa para el desarrollo del sistema se sustentó en una investigación de diseño documental y de tipo proyectivo. Los objetivos que guiaron esta investigación fueron los siguientes:

- 1) Obtener los volúmenes actuales disponibles en los mantos acuíferos.
- 2) Obtener los volúmenes concesionados de origen subterráneo para cada pozo.
- 3) Determinar métodos viables para la estimación masiva del volumen extraído en pozos.

En el caso de los volúmenes disponibles (objetivo 1), la Ley de Aguas Nacionales (LAN) señala que para el otorgamiento de una concesión o asignación, debe tomarse en cuenta la disponibilidad media anual del agua del acuífero, misma que deberá revisarse al menos cada tres años. En función

de esto, la CONAGUA estableció en el año 2002 la NOM-011-CONAGUA-2000 el método para la determinación de la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. La norma indica que la disponibilidad media anual de agua subterránea en un acuífero o unidad hidrogeológica, se determina por medio de la siguiente expresión (Ecuación 2):

$$DAS = Rt - DNCOM - VCAS \quad ( 2 )$$

Donde:

DAS	Disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica (en hectómetros cúbicos, Hm <sup>3</sup> ).
Rt	Recarga total media anual (Hm <sup>3</sup> )
DNCOM	Descarga natural comprometida (Hm <sup>3</sup> )
VCAS	Volumen concesionado de agua subterránea (Hm <sup>3</sup> )

A partir del año 2007, la CONAGUA ha estado realizando de manera periódica estudios técnicos de disponibilidad en los acuíferos, siendo la última la del año 2015, misma que presenta una actualización para la disponibilidad para los 653 acuíferos de la república (DOF, 2015).

Los volúmenes concesionados por otro lado (objetivo 2), se inscriben en Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), agrupándose para fines prácticos en usos consuntivos (agrícola, abastecimiento público, industria autoabastecida y termoeléctricas) y no consuntivos (hidroeléctricas). El registro tiene como función esencial, la de inscripción de títulos con el fin de otorgar seguridad jurídica a los usuarios de aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes. Los títulos abarcan un volumen superficial y subterráneo a nivel de pozo, siendo ésta información pública que se distribuye a través de Internet desde el sitio oficial de la CONAGUA (Conagua.gob.mx, 2015).

Respecto a la estimación indirecta del volumen (objetivo 3), diversos autores (López Geta, 1998; Campos, 2002; González et al., 2014) han señalado que el llamado índice de consumo energético puede utilizarse para la estimación de las extracciones. Este indicador representa el volumen de agua extraído por cada unidad de energía que consume la instalación (CONUEE, 2011). El método para la determinación de dicho indicador se presenta en la siguiente sección de este informe.

#### **3.2.1. El índice energético**

El índice energético (IE) se define como la cantidad total de energía consumida por unidad de producto fabricado o servicio ofrecido (Ecuación 3). Las unidades de ETC y UP dependerán del sistema y el contexto en el cual sea determinado el índice. De esta forma, ETC puede ser medido en vatios por hora (Wh), en Joules (J) o ergios. Por otro lado, la unidad de producción UP está relacionada con el tipo de bien o servicio producido.

$$IE = \frac{ETC}{UP} \quad ( 3 )$$

Donde:

ETC	Energía total consumida.
UP	Unidad de producción

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

El IE ayuda a entender los patrones de consumo de la unidad de servicio, lo que es esencial antes de proponer cambios o medidas. Cuando el índice energético se desvía por encima de su valor promedio, o se encuentra por arriba de los valores de referencia establecidos para el tipo de proceso, puede haber oportunidades de mejoras en la eficiencia energética. La razón de estas desviaciones puede estar relacionada, por ejemplo, con la operación de una planta, las variaciones climatológicas o la cantidad de la materia prima.

En el caso particular del agua extraída de pozos, el indicador IE toma la siguiente forma (Ecuación 4):

$$IESB = \frac{ETCE}{VTP} \quad ( 4 )$$

Donde:

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

Este indicador, expresado en kWh/m<sup>3</sup>, representa la relación entre la energía utilizada por un sistema de riego para producir la cantidad de agua necesaria para un cultivo durante un año o un periodo de referencia. En el caso particular de volúmenes subterráneos, ETCE se refiere al consumo del sistema de bombeo de pozo profundo sumergible o de turbina de flecha, según sea el caso, cuyo costo energético depende de la profundidad del pozo y el gasto de extracción (Campos, 2002). El IESB se calcula dividiendo el total de la energía consumida por todos los equipos que integran el sistema de riego, en kilowatt-hora en un determinado año, entre el total del agua producida en la captación del agua subterránea en el mismo periodo de tiempo.

El volumen de agua producido es expresado en metros cúbicos por año, determinado en el medidor de volumen acumulado en el año. La energía utilizada se determina a partir de los datos del historial de consumos de energía eléctrica presentada en los recibos del suministrador de electricidad, en la misma base de tiempo. Se sugiere considerar un año para reflejar las variaciones climáticas y estacionales, así como las variaciones de las necesidades de agua en el cultivo, que se dan en todas las zonas de riego.

Es conveniente calcular el índice tanto en función del agua bruta extraída (la cantidad de agua extraída del pozo) como de la neta (la cantidad de agua necesaria para el cultivo). En el segundo caso el índice corresponde a la energía útil y comparada con el primer valor caracteriza el sistema de riego específico que se está analizando.

El indicador IESB también se puede calcular de manera instantánea, tomando en cuenta el caudal y la potencia activa del momento (Ecuación 5):

$$IESBI = \frac{Q}{P_a} \quad ( 5 )$$

Donde:

- IESBI Índice energético instantáneo del sistema de bombeo (kWh/m<sup>3</sup>)
- Q Es el caudal expresado en metros cúbicos por hora (m<sup>3</sup>/h)
- P<sub>a</sub> Potencia activa en kilovatios (kW)

### 3.2.2. Bases de datos recopiladas

La investigación documental permitió conformar una base de datos inicial para el desarrollo del sistema. Las fuentes de datos recopiladas se presentan en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Bases de datos obtenidas de la recopilación inicial de datos

Dato	Origen
<b>Volúmenes disponibles en acuíferos</b>	CONAGUA-Gerencia de Aguas Subterráneas, Subgerencia de evaluación y ordenamiento de acuíferos (2007-2009), DOF 20-Abr-2015. Incluye la información de 653 acuíferos actualizada al año 2015.
<b>Localización de pozos</b>	REPDA actualizado al año 2005 (actualización al año actual en proceso). Información de 472,037 títulos de concesión.
<b>Documentos de disponibilidad de agua en acuíferos</b>	CONAGUA-Gerencia de Aguas Subterráneas, Subgerencia de evaluación y ordenamiento de acuíferos (2008-2009). 653 Documentos.
<b>Mapas de acuíferos y organismos de cuenca</b>	Subgerencia de Información Geográfica del Agua (Siga.conagua.gob.mx, 2015). Aprovechamientos subterráneos por Estado. 656 archivos KML de acuíferos y 13 de Organismos de Cuenca.

<b>Límites Estatales y Municipales</b>	Información de INEGI. 2443 archivos KML para la capa de municipios y 32 para los estados.
<b>Mapas base</b>	Imágenes Google Maps (compañía DigitalGlobe). Resolución variable.

---

Como se mencionó en el apartado 3.6, además de estas bases de datos, se recopiló información de eficiencia electromecánica e índices energéticos de un conjunto de pozos seleccionados en el estado de Zacatecas. El mecanismo para obtener esta información se presenta en las secciones 3.4 y 3.5 de este documento.

### **3.3. Selección de zona de estudio y actividades iniciales del proyecto**

Como se puede apreciar en la sección La estimación del volumen usando el índice energético requiere de datos actualizados de la potencia activa del equipo de bombeo y del gasto hidráulico, tal y como se describe en la sección 3.2.1. Determinar estas variables en campo suele ser costoso, pues requiere personal calificado en la medición de parámetros eléctricos e hidráulicos. La dependencia a esta información podría hacer del índice energético un método difícil de usar en la práctica para la estimación indirecta del volumen extraído. No obstante, debe considerarse que el Gobierno Federal a través de la CONAGUA ha venido impulsado el fortalecimiento de la infraestructura y la tecnificación de los sistemas de riego, con miras a un incremento en la productividad y al ahorro del agua. Uno de los programas federales implementados a través de la CONAGUA es 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. La prueba de eficiencia electromecánica considera entre sus parámetros la determinación del gasto hidráulico y la potencia activa, por lo que la información generada de dicho programa podría servir como fuente de datos para la estimación masiva del volumen extraído de aprovechamientos subterráneos.

Uno de los estados que ha participado de manera más intensa en el programa PMTEUR es Zacatecas. Este programa contempla la sustitución de 5 mil pozos y la modernización de los canales de conducción de agua en las unidades de riego agrícola en el estado de Zacatecas, diferido a cinco años, en beneficio de 40 mil productores. Se estima que, desde el 2012, se han modernizado más de 2000 equipos. Teniendo esto en mente, el estado de Zacatecas fue seleccionado como zona de estudio para la obtención de información de los parámetros requeridos para la estimación del índice energético, así como también para validar la vigencia de dichos parámetros.

Tomando en cuenta lo anterior, se acudió a la Dirección Local Zacatecas de la CONAGUA, particularmente con la Subdirección de Infraestructura Hidroagrícola, la cual amablemente facilitó el acceso para la obtención de la información requerida para el proyecto.



### 3.4. Análisis estadístico de eficiencia electromecánica e índices energéticos en pozos de la zona de estudio

Al inicio del proyecto se acudió a las oficinas de la CONAGUA Dirección Local Zacatecas para entrevistarse con su Director, el Dr. Benjamín de León Mojarro, así como personal responsable de la operación del PMTEUR. El objetivo fue conversar sobre el proyecto, solicitar información de los expedientes de los pozos modernizados durante los años 2013, 2014 y 2015, así como determinar los tiempos y espacios de trabajo donde el personal pudiera realizar la captura de la información de dichos expedientes. En este sentido, se acordó que la captura se realizara en las oficinas de la CONAGUA Dirección Local Zacatecas, en los horarios de trabajo del personal de dicha institución. También se conversó con los Ingenieros responsables de realizar el concentrado de los expedientes, con el fin solicitar información digital sobre la cédula de entrega final del equipo modernizado a los usuarios y ubicación de los expedientes técnicos de las unidades de riego tecnificadas.

*En base a la información contemplada en los expedientes, se conformó la estructura de una base de datos cuya estructura se presenta en la*

Tabla 3.2 (la tabla también presenta la sección del expediente técnico donde el dato fue localizado). Esta base de datos fue llenada parcialmente con la información digital recolectada, el resto de la información tuvo que ser capturada por personal contratado para trabajar en instalaciones de la CONAGUA. De esta manera, se realizaron los trabajos de captura de la información sobre la identificación, datos hidráulicos, suministro eléctrico y la eficiencia energética de los expedientes PMTEUR de unidades de riego. En total, se obtuvieron 1008 registros de unidades de riego beneficiadas por el programa.

*Tabla 3.2 Información obtenida de los expedientes técnicos de las unidades beneficiadas por el PMTEUR*

	Sección	Dato	Unidades o Formato	Localización en expediente
<b>IDENTIFICACIÓN</b>		Folio		No pertenece al expediente, deberá ser asignado de forma secuencial.
		Número de contrato MOTUR		Carátula de expediente técnico
		Fecha	dd/mm/aaaa	Carátula de expediente técnico
		Nombre de unidad de Riego		Título de concesión
		Título de concesión		Título de concesión
		Anexo		Título de concesión
		Titular		Título de concesión
		Representante		Formato de registro inicial
		Teléfono		Formato de registro inicial
		Domicilio del titular		Formato de registro inicial
		Volumen concesionado	m <sup>3</sup>	Título de concesión
		Municipio		Título de concesión

### 3. Metodología

	Acuífero		Título de concesión
	Latitud	Grados sexagesimales	Formato de "Visita/Inspección Final"
	Longitud	Grados sexagesimales	Formato de "Visita/Inspección Final"
<b>DATOS HIDRAÚLICOS</b>	Profundidad del nivel estático	m	Formato de "Visita/Inspección Final"
	Profundidad del nivel dinámico	m	Formato de "Visita/Inspección Final"
	Profundidad del pozo	m	Formato de "Visita/Inspección Final"
	Diámetro interno tubería	m	Formato de "Visita/Inspección Final"
	Gasto	m <sup>3</sup> /s	Formato de "Visita/Inspección Final"
<b>SUMINISTRO ELÉCTRICO</b>	No. de registro público de usuario (RPU)		Formato de "Visita/Inspección Final"
	Número de medidor CFE		Formato de "Visita/Inspección Final"
	Amperaje de operación promedio (A)	amperes	Formato de "Visita/Inspección Final"
	Voltaje de operación promedio (V)	volts	Formato de "Visita/Inspección Final"
	Factor de potencia promedio	(adim)	Formato de "Visita/Inspección Final"
	Potencia de entrada	kw	Formato de "Visita/Inspección Final"
	Potencia salida	kw	Formato de "Visita/Inspección Final"
<b>EFICIENCIA</b>	Eficiencia electromecánica (%)	%	Formato de "Visita/Inspección Final"

La información derivada del concentrado y análisis de este grupo de unidades se presentan de manera resumida en la sección 4.1, capítulo de resultados.

### 3.5. Pruebas de eficiencia electromecánica en pozos de la zona de estudio

El siguiente paso de la metodología consiste en seleccionar de un conjunto representativo de unidades de riego para la realización y verificación de su eficiencia electromecánica. Esta sección se describe en dos partes, la primera describe la metodología general para llevar a cabo las pruebas de eficiencia electromecánica y la segunda describe el método utilizado para la aplicación de dicha metodología en el área de estudio seleccionada.

#### 3.5.1. Metodología general para la elaboración de pruebas de eficiencia electromecánica

La eficiencia electromecánica global de los equipos de bombeo instalados en los pozos (conjunto bomba-motor), es el cociente de la potencia medida a la salida de la bomba entre la potencia de entrada al motor eléctrico, está definida genéricamente de acuerdo a la siguiente expresión (Ecuación 6):

$$EEM = \frac{P_s}{P_e} * 100 \quad ( 6 )$$

Donde:

- EEM Eficiencia electromecánica (%).
- Ps Potencia de salida de la bomba (kW).
- Pe Potencia de entrada al motor (kW)

A continuación se da una descripción de cada uno de los parámetros que intervienen en la Ecuación 6.

Potencia de entrada al motor (Pe)

Es la potencia, en vatios, que requiere el motor eléctrico acoplado a la bomba y en operación normal. Para motores trifásicos se define como (Ecuación 7):

$$P_e = \sqrt{3} * V * I * f_p \quad ( 7 )$$

Donde:

- V Tensión eléctrica, en volts (V).
- I Corriente eléctrica, en amperes (A)
- fp Factor de potencia, adimensional.

Potencia de salida de la bomba (Ps)

Es la potencia, en vatios, transferida al agua por la bomba, medida lo más cerca posible del cabezal de descarga. Su expresión matemática es (Ecuación 8):

$$P_s = Q * \rho * g * H_t \quad ( 8 )$$

Donde:

- Q Gasto, en m<sup>3</sup>/s.
- $\rho$  Densidad del agua bombeada, en kg/m<sup>3</sup>.
- g Aceleración de la gravedad, (9.80665 m/s<sup>2</sup>, a nivel del mar)
- H<sub>t</sub> Carga total de bombeo, en m.

Carga total de bombeo (H<sub>t</sub>)

Está dada por la suma algebraica de la presión manométrica medida a la descarga (convertida en metros de columna de agua y corregida con la altura a la línea de centros de la toma de señal de presión), el nivel dinámico, las pérdidas por fricción en la columna y la carga de velocidad. Su expresión matemática es:

$$H_t = P_d + ND + h_{fc} + h_v \quad ( 9 )$$

Donde:

- $H_t$  Carga total de bombeo, en m.
- $P_d$  Presión en la descarga media, en metros de columna de agua (m.c.a.), se mide directamente en el manómetro colocado inmediatamente después del cabezal de descarga (ver figura 1). Normalmente la medición se realiza en  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .
- $ND$  Nivel dinámico, en m.
- $h_{fc}$  Pérdidas por fricción en la columna de succión en m.c.a. Las pérdidas en el codo de descarga y otros accesorios no se consideran por ser poco significativas.
- $h_v$  Carga de velocidad, en m.

Carga de velocidad ( $h_v$ )

Es la energía cinética por unidad de peso del líquido en movimiento. Es expresada por:

$$h_v = \frac{v^2}{2 * g} \quad ( 10 )$$

Donde:

- $h_v$  Carga de velocidad, en m.
- $v$  Velocidad del agua dentro de la tubería, en m/s.
- $g$  Aceleración de la gravedad, en  $\text{m}/\text{s}^2$ .

La velocidad del fluido ( $v$ ) puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$v = \frac{Q}{A} \quad ( 11 )$$

Donde:

- $v$  Velocidad del fluido, en (m/s).
- $Q$  Gasto, en  $\text{m}^3/\text{s}$ .
- $A$  área de la sección transversal de la tubería, en  $\text{m}^2$ .

El área de la sección transversal de la tubería de descarga ( $A$ ) se obtiene de la siguiente forma:

$$A = \pi * \left( \frac{d^2}{4} \right) \quad ( 12 )$$

Donde:

A	Área de la sección transversal de la tubería, en m <sup>2</sup> .
d	Diámetro de la tubería, en m.
$\pi$	Valor que se toma igual a 3.1416.

Es común encontrar que, cuando no se cuenta con la capacidad de conducción suficiente, la potencia eléctrica necesaria para compensar este problema equivale a un porcentaje significativo de la potencia que está demandando el equipo de bombeo asociado a la misma, lo cual es una base fundamental para el cálculo de esta medida de ahorro dentro del plan de eficiencia energética. La potencia eléctrica necesaria o requerida se calcula de la siguiente manera.

$$P_e = \frac{Q * H_t * \rho}{76 * \eta_t} \quad ( 13 )$$

Donde:

Pr	Potencia eléctrica requerida (kW).
Q	Gasto, en m <sup>3</sup> /s.
Ht	Carga dinámica total, en m.
$\rho$	Densidad del agua bombeada, en kg/m <sup>3</sup> .
$\eta_t$	Eficiencia electromecánica del conjunto motor-bomba.

Fuente: NOM-006-ENER-1995. Eficiencia energética electromecánica en sistemas de bombeo para pozo profundo en operación.- Límites y método de prueba. Diario Oficial de la Federación, 9 de noviembre de 1995.

#### **3.5.2. Método para la aplicación de las pruebas de eficiencia electromecánica en unidades de riego de Zacatecas**

A partir de la información obtenida en el paso anterior de la metodología (sección 3.4), se seleccionaron unidades de riego que cumplieran con los siguientes criterios:

- Que en su mayoría pertenecieran a un grupo de máximo cuatro acuíferos
- Que otorgaran facilidades para la realización de la prueba y toma de datos
- Que pudieran estar funcionando al momento de realizar la prueba

La medición de los parámetros hidráulicos de gasto, nivel dinámico, nivel estático y pérdidas por fricción, carga de velocidad y presión para evaluar la energía proporcionada por la bomba, fueron realizados conforme a la metodología presentada en la sección 3.5.1, la cual fue utilizada para integrar los cálculos en una hoja de cálculo, denominado Formato de Prueba de Eficiencia Electromecánica (FPPE), cuyas partes se muestran de manera separadas en las siguientes figuras: Figura 3.1, Figura 3.2 y Figura 3.3. Los parámetros calculados en campo, así como el resultado de la

### 3. Metodología

prueba, fueron capturados en este formato de Excel. La captura y el cálculo de los parámetros se realizaron para cada uno de los aprovechamientos evaluados.



#### SISTEMA DE INFORMACIÓN DE EXTRACCIONES VOLUMÉTRICAS EN ACUÍFEROS (SIEVA)

#### PRUEBAS DE EFICIENCIA ELECTROMECÁNICA (FORMATO FPPE)

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

DATOS DE PLACA DE LA BOMBA												
rpm: _____			n/v _____			F.S.: _____			n/v _____			
MEDICIONES ELECTRICAS												
No.	TENSIÓN ENTRE FASES			CORRIENTE POR FASE			FACTOR DE POTENCIA			Potencia real	Potencia aparente	Potencia reactiva
	$V_{A-E}$	$V_{E-C}$	$V_{A-C}$	$I_A$	$I_E$	$I_C$	$F_{PA}$	$F_{PE}$	$F_{PC}$			
1												
2												
3												

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

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 <sup>2</sup> )	Nivel dinámico o (m)	Pérdidas
1				
2				
3				

Figura 3.1. Formato FPPE v2 P1 Para la realización de pruebas electromecánicas (1ra parte)

### 3. Metodología

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 $[3.141592*(1)^2/4](m^2)$	0.0000	0.0000	0.0000	
8	$q_v$	Gasto ( $m^3/s$ )	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	$h_{fc}$	Perdidas de fricción en la columna (m)	0.00	0.00	0.00	
11	$h_s$	Carga a la descarga= $[(6)+(9)+(10)]$ (m)	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
12	$H$	Carga total= $[(3)+(11)]$ (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)= $[(V_{A-B}+V_{B-C}+V_{A-C})/3]$	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	$\eta$	Eficiencia electromecánica (%) $[(17) / (16) * 100]$	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
19	$I/E$	Índice de energía (KWh/M3)	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
Eficiencia electromecánica promedio			#DIV/0!			

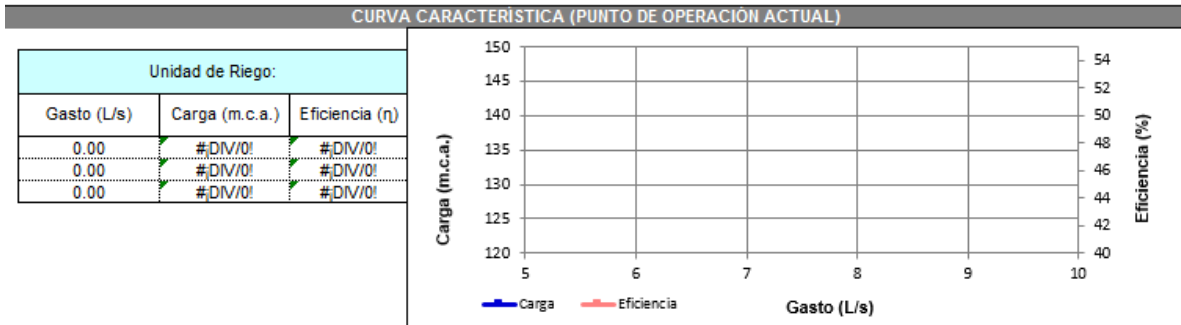


Figura 3.2 Formato FPEE v2 P1 Para la realización de pruebas electromecánicas (2da parte)

(1) Usuario

(2) Transformador

(3) Medidor eléctrico

(4) Arrancador

Figura 3.3 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
- Quinta imagen. Vista general del tren de descarga.

Con la información recabada en campo, se calculó la eficiencia energética electromecánica. El procedimiento para la determinación del gasto se describe en la siguiente sección.

#### 3.5.2.1. Medición del gasto

Para la determinación del caudal se obtuvo a través de dos métodos: Medidor de flujo portátil de tipo Ultrasónico y Método directo, de los cuales a continuación se hace una breve descripción:

**El método directo.** Para determinar el gasto,  $Q$ , del agua en un sistema hidráulico, se puede medir directamente el volumen  $V$ , en un recipiente (Figura 3.4) y el tiempo,  $t$ , con un cronometro, o bien indirectamente a través de la velocidad del agua mediante la presión.





Figura 3.4 Aforo por el método directo

Este método volumétrico es el más recomendable, sin embargo a veces es difícil de apreciar, solamente resulta útil para gastos pequeños y donde las características físicas lo permitan.

#### 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.

El medidor 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 3.5).



Figura 3.5 Medidor de flujo ultrasónico

**Medición de corriente, voltaje y factor de potencia:** se realizó mediante una analizador de corriente Modelo 3910 marca AEMC Instruments (Figura 3.6a) se está determinado los parámetros de corriente en las líneas A, B y C, Tensión Fase AB, AC y BC y factor de potencia en la línea A, B y C (Figura 3.6b).



a)



b)

Figura 3.6 a) Analizador de corriente, b) Medición de los parámetros eléctricos

**Nivele estático y dinámico.** La determinación de niveles estático y dinámico se está realizando mediante una sonda de 250 m de longitud, la cual consiste de un carrete, cable POT calibre 18, galvanómetro y un switch (Figura 3.7).



Figura 3.7 Sonda eléctrica para determinar nivel estático y dinámico

#### 3.5.2.2. Determinación del índice energético

Una vez obtenidos los parámetros energéticos y el gasto, el cálculo del índice se realizó conforme al procedimiento indicado en la sección 3.2.1, ecuación 5, utilizando para ello el formato descrito en la Figura 3., la Figura 3.2 y la Figura 3.3. Esto se realizó para cada una de las unidades de riego evaluadas.

### 3.6. Metodología aplicada para el desarrollo del sistema

El desarrollo de la aplicación se llevó a cabo siguiendo el ciclo propuesto por Pressman (2002) para el desarrollo de software, que en términos generales incluye las siguientes etapas:

- a) **Análisis de requisitos.** Es un proceso de descubrimiento, refinamiento, modelado y especificación, en el que se describe el comportamiento del sistema en términos de requerimientos funcionales y no funcionales. Los primeros describen las funciones que el sistema debe cumplir que están relacionadas con el problema de fondo y su dominio. Las no funcionales están más relacionadas con características técnicas o de implementación, como el ambiente de ejecución, la capacidad de almacenamiento y la seguridad.

- b) **Diseño.** Se refiere al establecimiento de las estructuras de datos, la arquitectura general del software, la representación de interfaz y algoritmos. El proceso de diseño traduce requisitos en una representación de software. Productos importantes de esta etapa lo son los modelos que describen la organización del código (diagrama de clases, diagramas de paquetes), la ejecución de procesos (diagramas de interacción, diagramas de procesos) y el diagrama entidad-relación que describe la base de datos (modelo de persistencia).
- c) **Codificación.** Se traduce el diseño de la aplicación en una forma ejecutable por medio de la computadora. Se utiliza un lenguaje de programación para la implementación de los algoritmos y un sistema gestor de base de datos para la implementación del modelo de persistencia.
- d) **Pruebas.** Se verifica la correcta ejecución de los procesos lógicos internos del software, asegurando que todas las sentencias se han comprobado, y en los procesos externos funcionales, es decir, una verificación del funcionamiento aplicativo en su entorno de ejecución. Evidentemente, lo mejor es verificar el comportamiento de la aplicación en condiciones realistas, con fin de obtener retroalimentación y hacer los ajustes correspondientes a tiempo.
- e) **Mantenimiento.** Consiste en adaptar el funcionamiento del sistema a los cambios que sufre su entorno de ejecución, tanto del dominio del problema como su entorno tecnológico.

En el desarrollo del sistema, La metodología descrita fue implementada usando principalmente el enfoque de desarrollo en cascada (Figura 3.8), empleando el enfoque basado en prototipos para la etapa de codificación y pruebas. La siguiente sección describe el resultado del desarrollo del sistema.

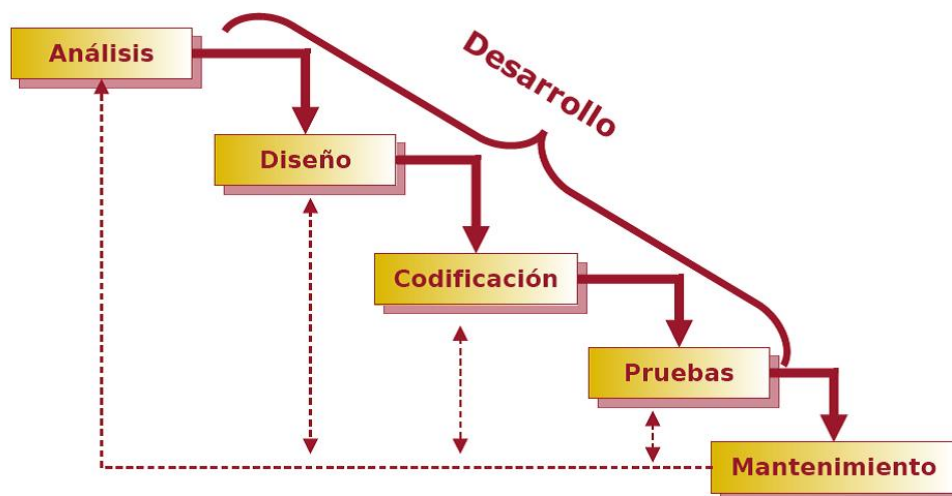


Figura 3.8 Etapas del desarrollo de software en la metodología en cascada (Pressman, 2002)

La sección 4.3 describe cómo se llevó a cabo cada una de estas etapas en el contexto del desarrollo del sistema.

## 4. Resultados

### 4.1. Análisis de la eficiencia y el índice energético en pozos de Zacatecas

En la Figura 4.1 se indican los municipios beneficiados con el programa PMTEUR, en los cuales se puede mencionar que fueron favorecidos 42 de un total de 58; entre los que destacan con mayor número de unidades de riego modernizadas los municipios Fresnillo, Villa de Cos, Guadalupe y Calera principalmente.

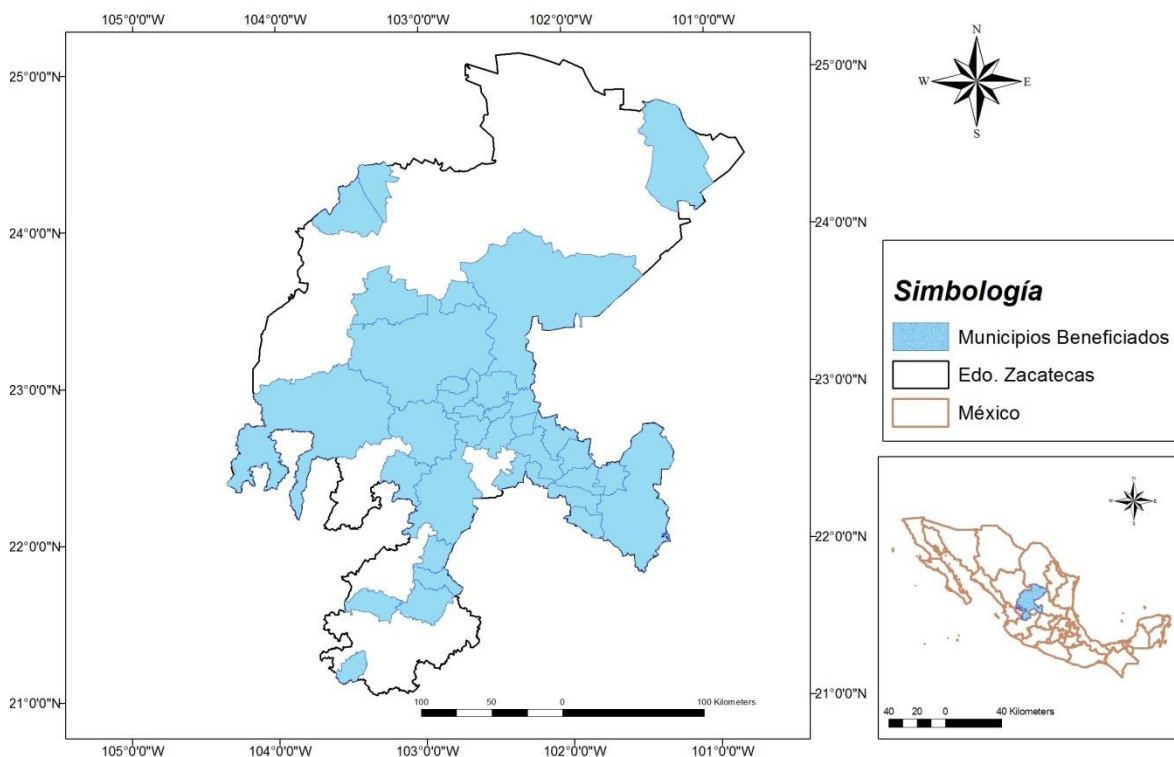


Figura 4.1. Municipios beneficiados con el programa PMTEUR

El análisis se ha realizado sobre un total de 1,008 unidades de riego situados en 26 acuíferos del estado, destacando con mayor unidades de riego modernizadas los acuíferos de Chupaderos (257), Calera (168), Aguanaval (131) y Ojocaliente (67). En la Figura 4.2 se muestra el conjunto de aprovechamientos beneficiados por acuífero.

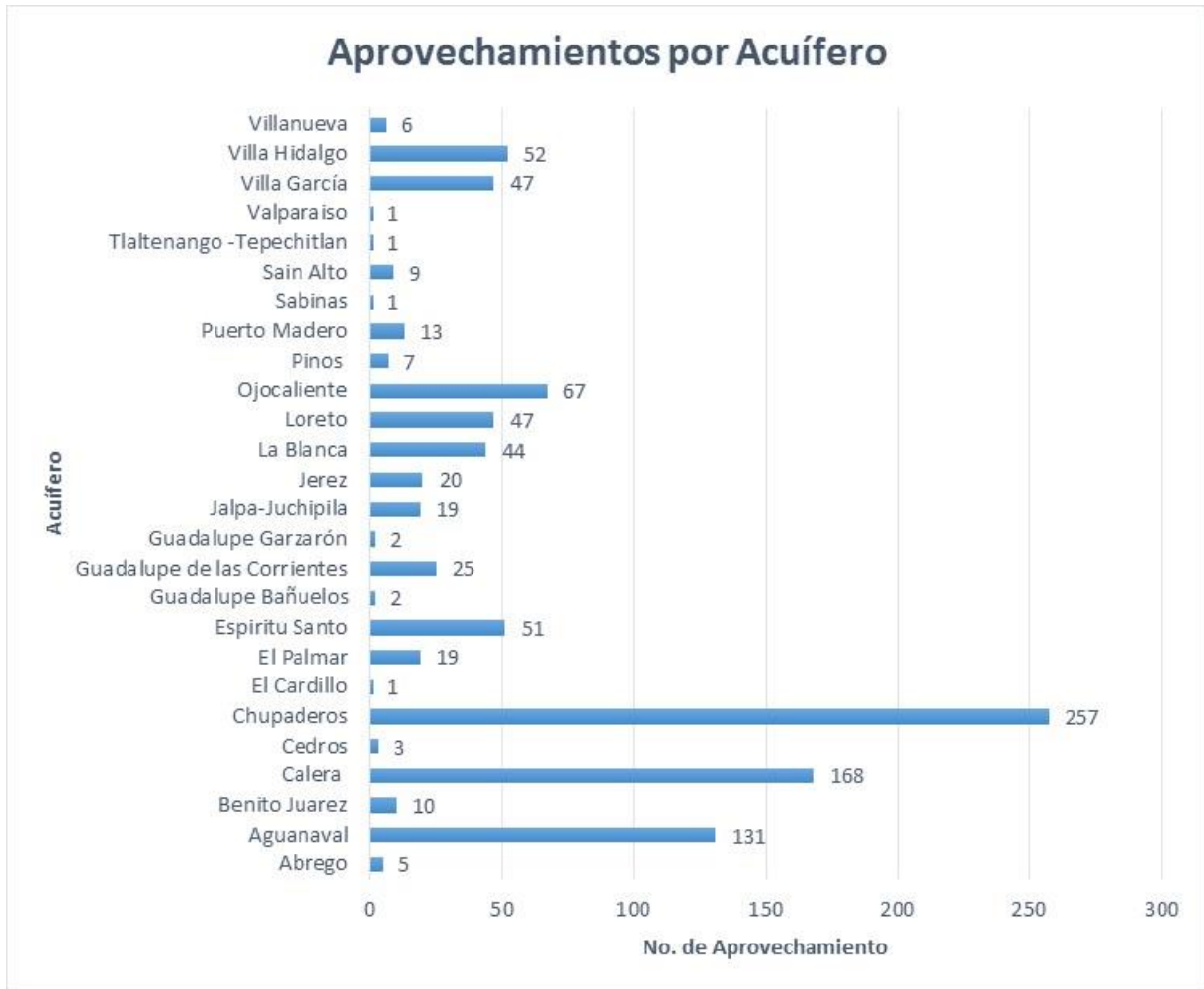


Figura 4.2. Número de aprovechamientos beneficiados por acuífero

En conjunto forman un área de riego potencial beneficiada de 22, 656.15 hectáreas, de los acuíferos con mayor extensión de superficie se encuentra Chupaderos, Aguanaval, Calera y Ojocaliente, con 5,252.39, 4,341.94, 3,112.3 y 1, 712.08 hm<sup>2</sup> respectivamente (Figura 4.3).

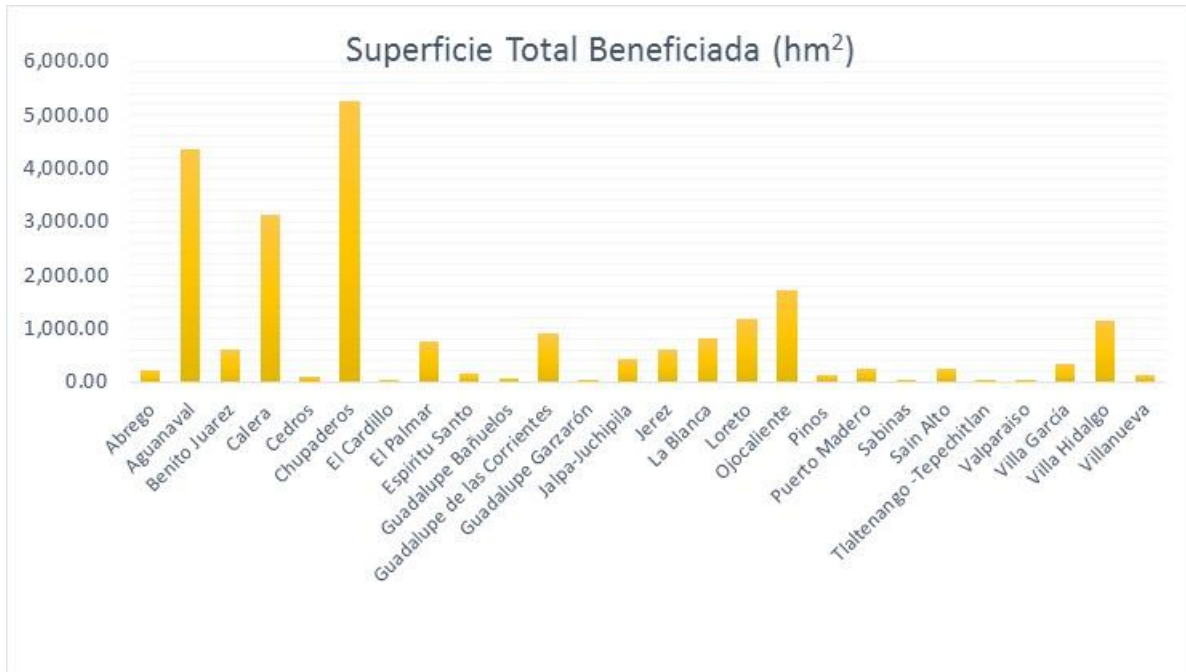


Figura 4.3. Superficie total beneficiada por acuífero

Siendo entonces las Unidades de Riego pertenecientes a los acuíferos de Tlaltenango-Tepechitlan, Valparaíso y Sabinas con menor superficie beneficiada de 18, 27 y 32 hm<sup>2</sup> respectivamente.

Respecto al volumen concesionado, en la Tabla 4.1 se muestra los volúmenes por acuífero, destacando que Chupaderos, Aguanaval y Calera son los acuíferos con mayor volumen concesionado, teniendo un total de 139, 516,971.00 m<sup>3</sup>/año.

Tabla 4.1. Volumen concesionado por acuífero

Acuífero	Vol. concesionado (m <sup>3</sup> /año)
Abrego	1,230,000.00
Aguanaval	26,635,067.00
Benito Juárez	3,552,000.00
Calera	18,882,065.00
Cedros	384,000.00
Chupaderos	33,770,501.00
El Cardillo	270,000.00
El Palmar	2,478,000.00
Espíritu Santo	805,313.00
Guadalupe Bañuelos	444,000.00

#### 4. Resultados

---

<b>Guadalupe de las Corrientes</b>	5,305,000.00
<b>Guadalupe Garzarón</b>	264,000.00
<b>Jalpa-Juchipila</b>	2,710,100.00
<b>Jerez</b>	3,813,557.00
<b>La Blanca</b>	5,005,000.00
<b>Loreto</b>	7,282,410.00
<b>Ojocaliente</b>	11,356,228.00
<b>Pinos</b>	975,000.00
<b>Puerto Madero</b>	1,723,000.00
<b>Sabinas</b>	300,000.00
<b>Sain Alto</b>	1,665,500.00
<b>Tlaltenango -Tepechitlan</b>	108,000.00
<b>Valparaiso</b>	165,000.00
<b>Villa García</b>	2,350,812.00
<b>Villa Hidalgo</b>	7,231,628.00
<b>Villanueva</b>	810,790.00
<b>Total</b>	139,516,971.00

Los niveles estáticos medidos varían entre 1 y 196 m, presentándose en los acuíferos de Calera y Jalpa – Juchipila respectivamente, tal y como se muestra en la Figura 4.4.



#### 4. Resultados

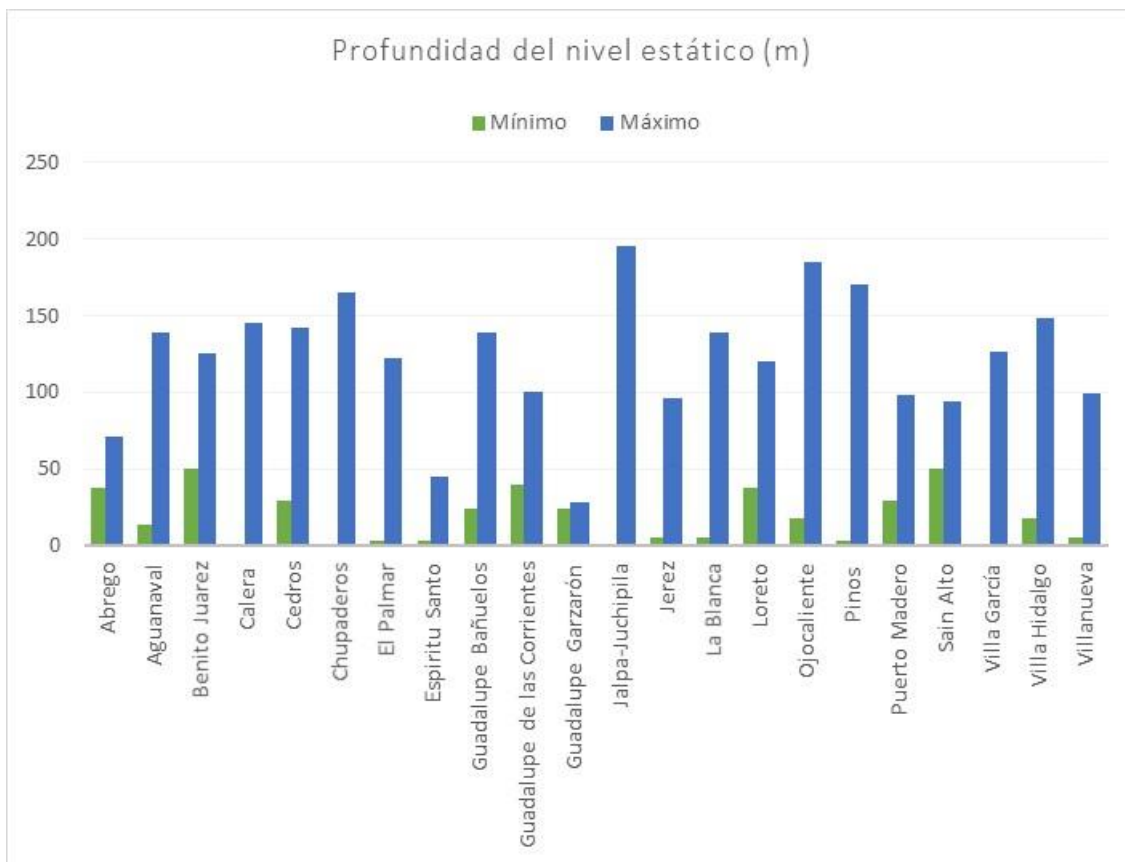


Figura 4.4. Niveles estáticos en aprovechamientos modernizados

En relación con la profundidad del nivel dinámico en la Figura 4.5 se puede observar que se han alcanzado niveles máximos promedio por acuífero de hasta 132.24 m, medidos en los acuíferos de Pinos, Jalpa-Juchipila, Chupaderos y Calera. Lo que indica que se tienen equipos de mayor potencia derivando mayores consumos de energía eléctrica. Los niveles mínimos del nivel dinámico que se reportaron en las pruebas realizadas a los equipos modernizados oscilan entre 2.00 y 60.00 m, admitiendo que el valor más bajo corresponde a norias de bajo gasto.

#### 4. Resultados



Figura 4.5. Niveles dinámicos en aprovechamientos modernizados

En la Figura 4.6 se muestra los diámetros de succión representativos de los sistemas de bombeo equipados. Se puede destacar que los diámetros predominantes son los de 2, 3, 4 y 6 in, teniendo un bajo porcentaje en diámetros mayores como 8 y 10 in.

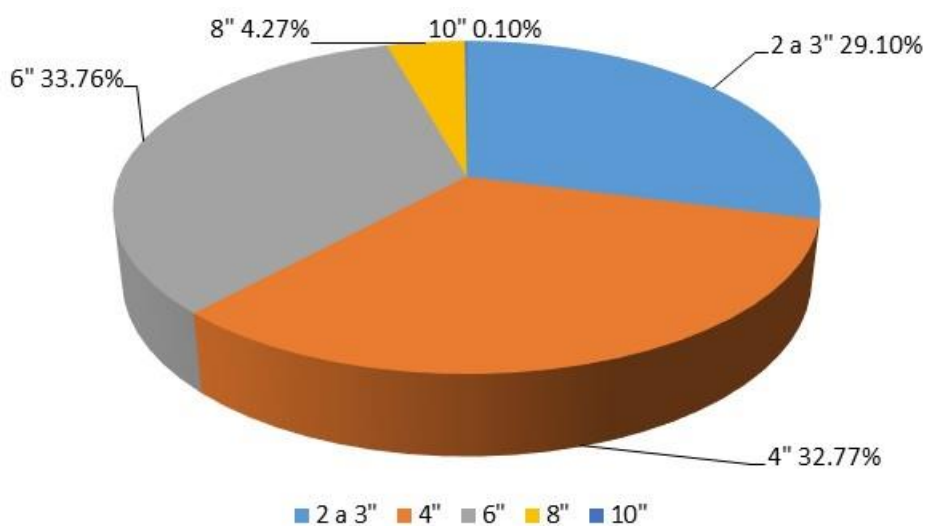


Figura 4.6. Diámetros de tubería de succión

Respecto a los caudales de extracción en la Tabla 4.2. Gasto de extracción por acuífero se muestran los rangos de extracción por acuífero.

4. Resultados

Tabla 4.2. Gasto de extracción por acuífero

Acuífero	Rango de Gastos				
	2 a 10 m <sup>3</sup> /s	10.1 a 30 m <sup>3</sup> /s	30.1 a 60 m <sup>3</sup> /s	60.1 a 90 m <sup>3</sup> /s	90.1 a 115 m <sup>3</sup> /s
Abrego	0	0	5	0	0
Aguanaval	2	53	65	11	0
Benito Juárez	0	1	5	4	0
Calera	42	110	15	1	0
Cedros	1	2	0	0	0
Chupaderos	93	123	41	0	0
El Cardillo	0	0	1	0	0
El Palmar	0	5	10	3	1
Espíritu Santo	47	3	1	0	0
Guadalupe Bañuelos	0	1	1	0	0
Guadalupe de las Corrientes	0	10	14	1	0
Guadalupe Garzarón	0	1	1	0	0
Jalpa-Juchipila	3	13	3	0	0
Jerez	3	5	9	3	0
La Blanca	8	32	4	0	0
Loreto	6	31	10	0	0
Ojocaliente	9	47	11	0	0
Pinos	2	5	0	0	0
Puerto Madero	3	9	1	0	0
Sabinas	0	0	1	0	0
Sain Alto	0	5	4	0	0
Tlaltenango - Tepechitlan	0	0	1	0	0
Valparaiso	0	0	1	0	0
Villa García	38	6	3	0	0
Villa Hidalgo	12	34	6	0	0
Villanueva	1	2	3	0	0

La pruebas de campo realizados al momento de la entrega de los equipo a los sistemas de bombeo modernizados, mostraron que se tienen eficiencias mayores al 70% en 108 sistemas; del 60 a 70% en 440; 391 equipos con rangos de eficiencias del 50 al 60%; teniendo únicamente 40 equipos con eficiencias del 40 al 50%. Solamente 29 equipos siguen operando ineficientemente (Figura 4.7).

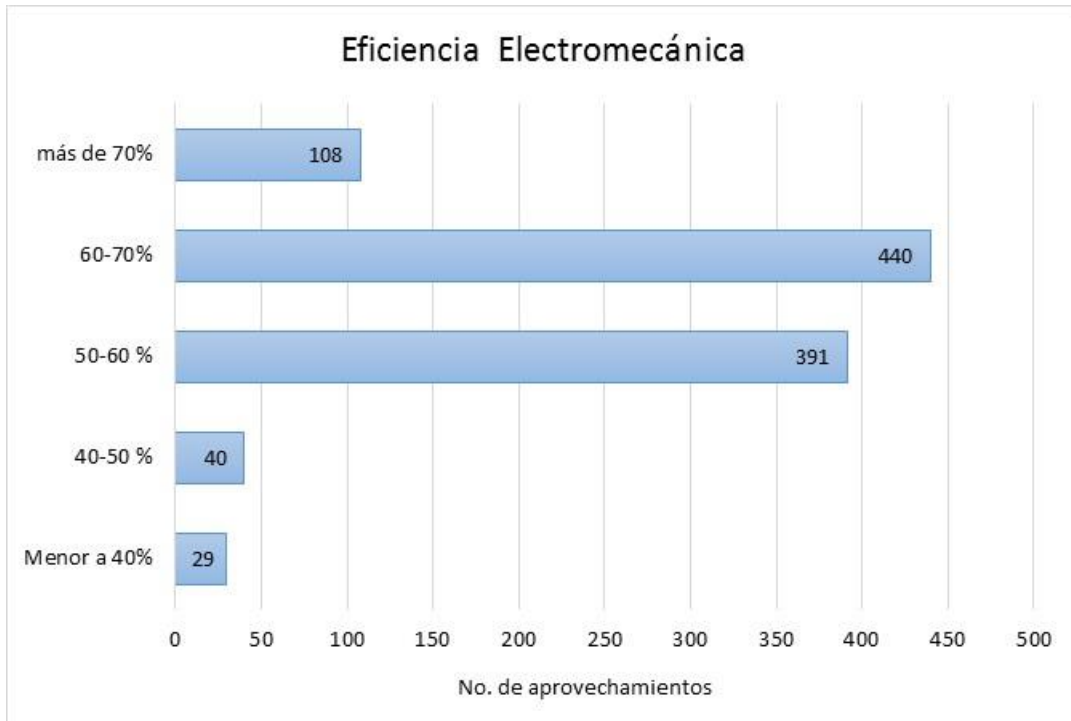


Figura 4.7. Eficiencia electromecánica obtenida en los equipos modernizados

El factor del potencia es un indicador del correcto aprovechamiento de la energía, es decir; es la cantidad de energía que se ha convertido en trabajo, este puede tomar valores entre 0 y 100, de acuerdo con la Figura 4.8, se observa que un mayor porcentaje de aprovechamientos (878) cuentan con un factor de potencia promedio que oscila entre 60 a 90, y tan solo 22 aprovechamientos tienen valores por arriba de 90, lo cual quiere decir que solo estos aprovechamientos trabajan sin desperdiciar energía.

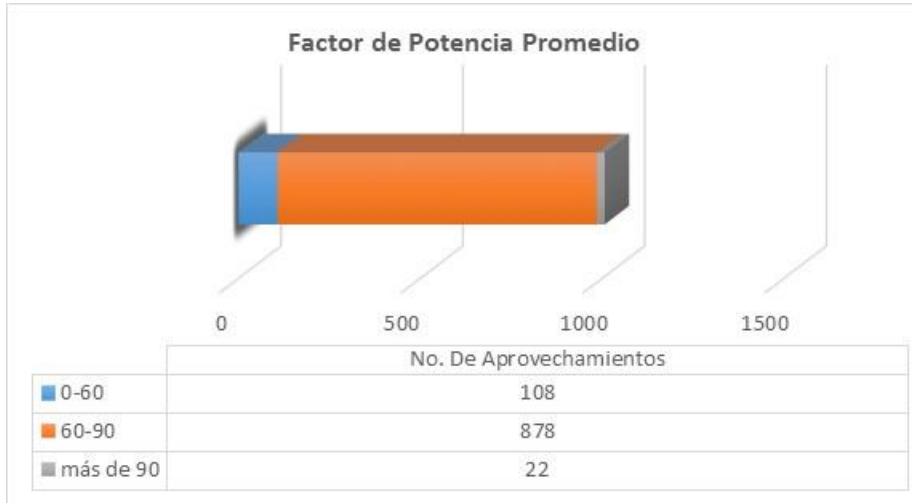


Figura 4.8. Factor de potencia obtenido en los equipos modernizados

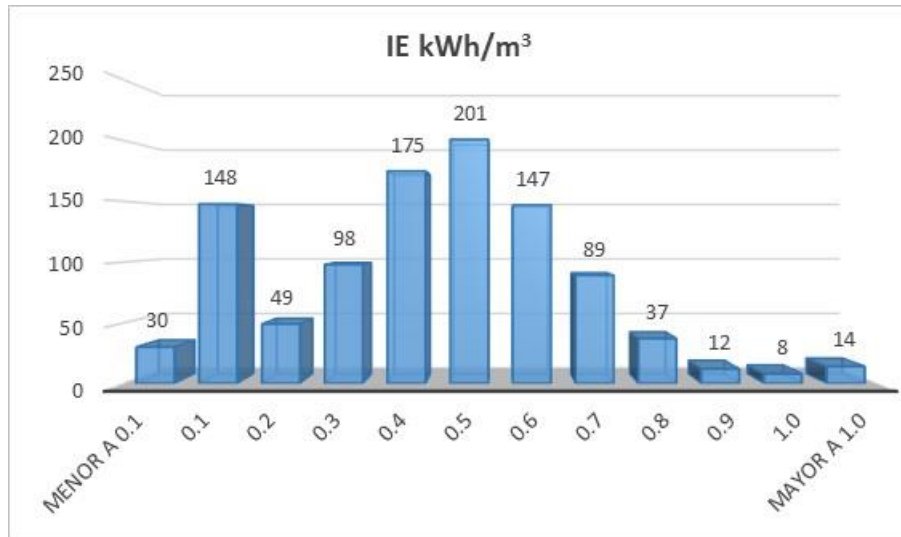


Figura 4.9. Índice energético de los aprovechamientos modernizados

En la Figura 4.9 se puede observar que la mayoría de los equipos modernizados cuentan con un índice energético de 0.5 (201 pozos) mientras que un número menor de equipos (14) tienen un índice alto mayor a 1.0.

#### 4.2. Pruebas de eficiencia electromecánica a 80 pozos de Zacatecas

La determinación de parámetros físicos y eficiencias electromecánicas en campo se realizó en los acuíferos de Chupaderos, Calera. Seleccionando 32 pozos de Calera, 21 de Chupaderos, 16 de Loreto y 4 de Ojocaliente. Estos aprovechamientos concluyeron satisfactoriamente la etapa de evaluación y los resultados obtenidos para cada aprovechamiento se presentan en el Anexo 3. Sin embargo, es necesario mencionar que hubo aprovechamientos que se seleccionaron y que no se pudieron evaluar debido a diversas razones, tales como: existencia de abejas en el tubo de ademe, no se pudieron sondear, usuarios no permitieron realizar la prueba, pozos apagados por las lluvias entre

#### 4. Resultados

otras, en la Tabla 4.3, se resumen algunas de las unidades de riego visitadas y la razón por la cual no se llevó a cabo la prueba.

*Tabla 4.3. Aprovechamientos visitados y no evaluados*

Acuífero	Unidad de Riego	Coordenadas		Razón por la que no se pudo evaluar
<b>CALERA</b>	PREDIO RANCHO SAN MIGUEL	22°58'18.2"	102°39'07.1 "	NO SE PUDO SONDEAR
	PREDIO RANCHO LA PALMA	23°6'36.0"	102°41'1.10 "	NO SE PUDO SONDEAR
	PREDIO LAS MARGARITAS	23°6' 51.0"	102°41'34.0 "	SIN MANÓMETRO
	PREDIO LAGUNA DE LOS GUEYES	22°58'21.4"	102°47'15.4 "	APAGADO POR LLUVIAS
	PREDIO 5 HERMANOS POZO 1	23°3'15.6"	102°44'21.8 "	APAGADO POR LLUVIAS
	PREDIO LOS LAURELES	23°3'40.4"	102°45'37.0 "	APAGADO POR LLUVIAS
	LAS AURAS 21	23°3'24.7"	102°38'05.0 "	NO SE PUDO SONDEAR
	PREDIO EL MANZANITO	23°0'13.0"	102°39'42.4 "	NO SE PUDO SONDEAR
	PREDIO NORIA DE JUAN MANUEL	22°52'55.0"	102°42'56.0 "	CERRADO CON CANDADO
	PREDIO RANCHO SAN CARLOS	22°32'36.0"	102°39'58.1 "	NO SE PUDO SONDEAR
<b>CHUPADEROS</b>	POZO No. LAS COCHINILLAS	22°52'22.3"	102°16'34.0 "	NO EQUIPADO
	PREDIO EL ARBOLITO	22°54'42.3"	102°23'33.9 "	NO EQUIPADO EN REPARACIÓN LA BOMBA
	PREDIO SIN NOBRE (SEGÚN LOS USUARIOS ES POZO SAN JOSÉ)	23°8'41.8"	102°26'23.4 "	QUEMADO EL BIMETALICO, HUBO UN CORTO AL ESTAR FLOJOS LOS CABLES HIZO UN ARCO ELÉCTRICO. SE CORROBORÓ CON UN ELECTRICISTA ESPECIALIZADO
	PREDIO EL PATO No. 3	23°11'13.0"	102°15'10.7 "	SIN MANÓMETRO

#### 4. Resultados

PREDIO EL SUREÑO	23°4'04.4"	102°24'55.3 "	NO SE PUDO SONDEAR
PREDIO PARCELA 11 62 Z1 P1/2	23°8'07.0"	102°19'11.0 "	NO SE PUDO SONDEAR
PREDIO LOS VAQUEROS COCINERA	22°55'49.5"	102°22'51.6 "	NO SE PUDO SONDEAR
UNIDAD DE RIEGO PREDIO POZO No. 15	22°58'48.8"	102°21'10.7 "	CERRADO CON CANDADO

La siguiente sección presenta un resumen de las características de los pozos evaluados. La sección 4.2.2 por otro lado, presenta los resultados obtenidos de la evaluación respecto al índice energético y la eficiencia electromecánica.

#### 4.2.1. Resumen de los aprovechamientos evaluados

La Tabla 4.4 muestra un resumen de la cantidad de pozos evaluados por acuífero y año de modernización. Como se puede apreciar, se trató de balancear los pozos seleccionados a fin de obtener un número similar por año de modernización. El hecho de que se hayan incluido más pozos del año 2013 se debe a que existían una mayor cantidad de pozos modernizados considerados en la etapa de la extracción de información de expedientes de pozos beneficiados por el PMTEUR en dicho año. No obstante, en el caso del acuífero, se seleccionaron la mayor parte de pozos de Calera, Chupaderos y Loreto. Esta distribución se debió principalmente a que los pozos fueron seleccionados en función de la disposición de los productores para realizar la prueba y proporcionar la información requerida para la evaluación, además de salvar la problemática presentada en la introducción a la Sección 4.2. Cabe hacer mención que la intención original era la de seleccionar un número similar de pozos por acuífero.

*Tabla 4.4. Aprovechamientos evaluados organizados por acuífero y año de modernización*

Acuífero	2013	2014	2015	Total general
<b>Aguanaval</b>	1			1
<b>Calera</b>	8	16	8	32
<b>Chupaderos</b>	6	9	6	21
<b>La Blanca</b>	3		3	6
<b>Loreto</b>	11		5	16
<b>Ojocaliente</b>			4	4
<b>Total general</b>	29	25	26	80

La Figura 4.10 presenta la cuantificación de pozos agrupando éstos por profundidad. Como se puede observar, la mayoría de los pozos evaluados están clasificados de tipo profundos, entre los 100 y los 200 metros de profundidad.

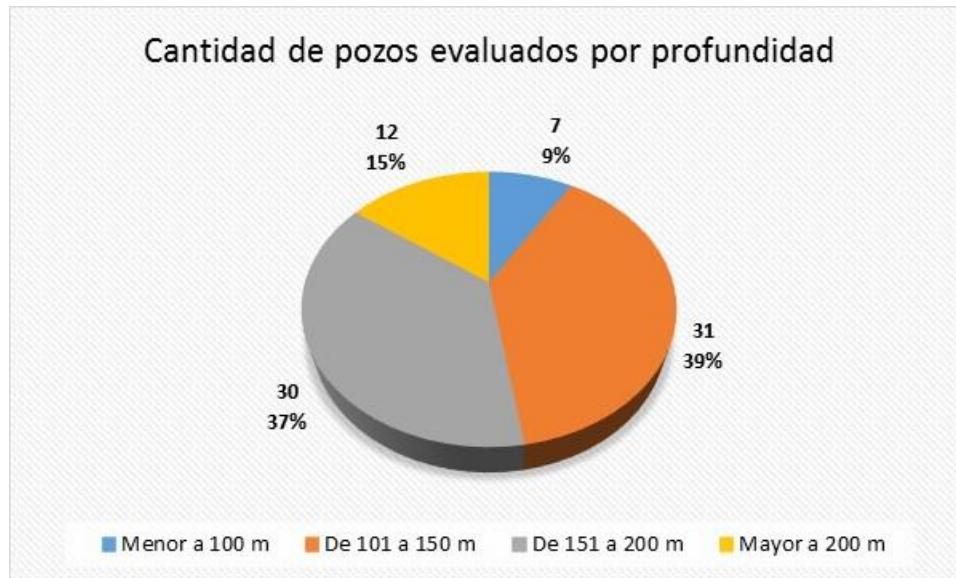


Figura 4.10. Cantidad de aprovechamientos evaluados clasificados por profundidad

La Figura 4.11 muestra la cantidad de pozos evaluados por diámetro de tubería de succión, así como también el gasto promedio obtenido por cada grupo de pozos. Como se puede observar, la mayoría de los pozos (49) pertenecen al grupo de 4 pulgadas de diámetro, registrando un gasto promedio de 12.75 lps. Le siguen en cantidad los del grupo de 6 pulgadas, con 29 pozos y un gasto promedio de 23.93 lps. Finalmente, se tienen los pozos de 8 pulgadas, registrando únicamente 2 pozos y un gasto promedio de 38.48 lps.



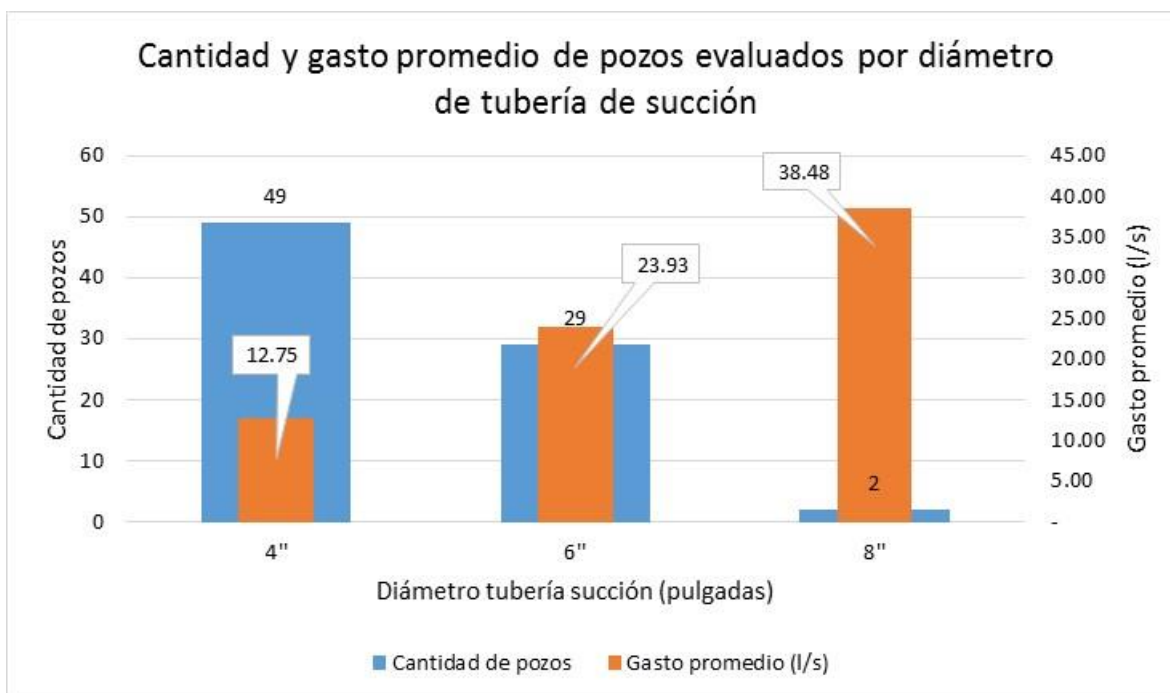


Figura 4.11. Cantidad y gasto promedio de aprovechamientos evaluados clasificados por diámetro de tubería de succión

A continuación se describen los resultados obtenidos por la aplicación de las pruebas de eficiencia electromecánica.

#### 4.2.2. Resultados de las pruebas de eficiencia electromecánica

La eficiencia electromecánica obtenida por cada aprovechamiento se muestra en la Tabla A3.1 del Anexo 3. Como se puede observar, el promedio de eficiencia obtenido es de 49.39%. Sin embargo, es necesario puntualizar, que la mayoría de pozos se concentran en los acuíferos de Calera, Chupaderos, y Loreto (Tabla 4.4). Promediando únicamente estos acuíferos, se obtiene un dato de 48.20 %, lo que indicaría un valor ligeramente menor que el general obtenido.

Tabla 4.5. Eficiencia electromecánica promedio por acuífero y año de modernización

Acuífero	Año de modernización			Promedio
	2013	2014	2015	
<b>Aguanaval</b>	49.70			49.70
<b>Calera</b>	53.48	49.63	49.77	50.63
<b>Chupaderos</b>	49.23	46.83	45.04	47.01
<b>La Blanca</b>	47.83		58.39	53.11
<b>Loreto</b>	46.39		48.24	46.97

#### 4. Resultados

<b>Ojocaliente</b>			56.01	56.01
<b>Total general</b>	49.20	48.62	50.34	49.39

Un dato relevante que se buscaba en esta parte del proyecto es la medición de la relación entre la eficiencia electromecánica y el índice energético. La Figura 4.12 muestra la eficiencia electromecánica y el índice de los equipos de bombeo de los 80 aprovechamientos evaluados en el proyecto. Los datos se presentan ordenados de manera ascendente respecto a la eficiencia. Como se puede apreciar, existe una relación inversa entre la eficiencia y el índice energético, en la cual se observa que al aumentar la primera, el índice energético disminuye. Esto denota que resulta menos costosa la extracción del volumen de agua en términos energéticos conforme la eficiencia es mayor, aunque este cambio no es de la misma magnitud en todos los casos.

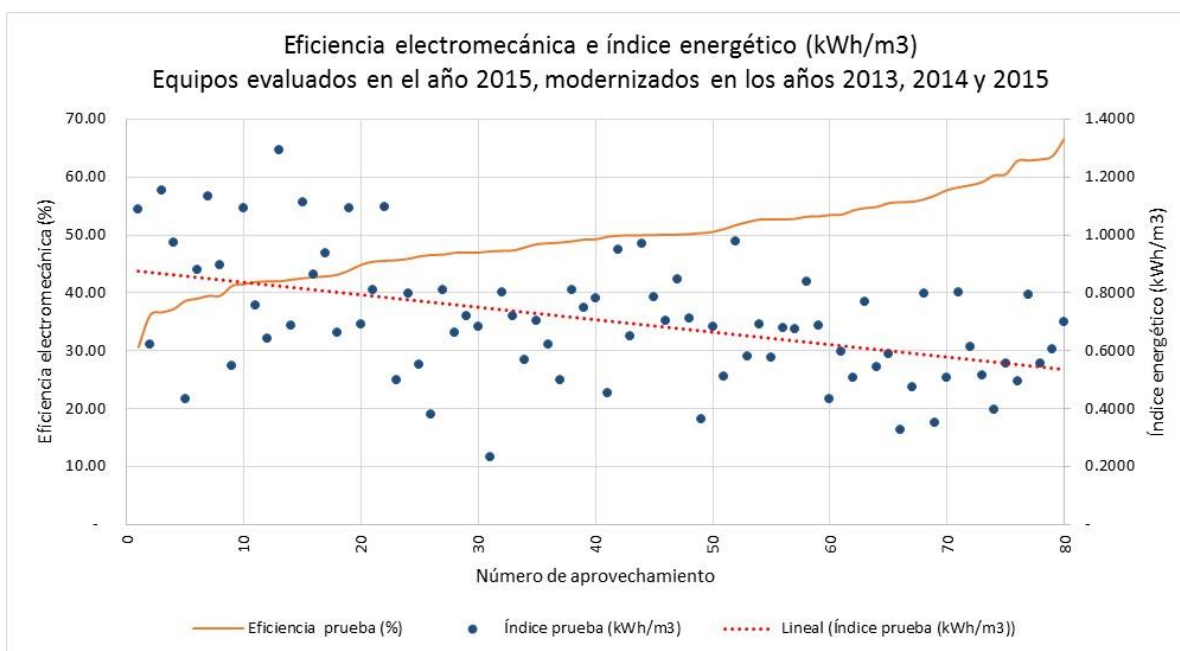


Figura 4.12. Eficiencia electromecánica e índice energético de los equipos de bombeo de 80 aprovechamientos evaluados

Una regresión lineal por mínimos cuadrados la eficiencia electromecánica y el índice energético permite fabricar la recta mostrada en ecuación 14, con un coeficiente de correlación ( $R$ ) de  $-0.4622$ , y un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de  $0.2137$ . El valor de  $R$  muestra una relación parcialmente lineal inversa entre la eficiencia y el índice. Las estimaciones lineales ( $y$ ) para valores de  $x$  entre 30 y 66 (valores extremos de eficiencia presentes en la muestra), permite estimar también, que en promedio,  $y$  (el índice energético) disminuye un  $2.031\%$  por cada unidad que aumenta  $x$  (la eficiencia electromecánica).

$$y = -0.014 * x + 1.3934 \quad ( 14 )$$

Donde:

x = Eficiencia electromecánica (%)

No obstante, es necesario puntualizar que la Figura 4.12 y la ecuación 14 consideran equipos que fueron modernizados durante los años 2013, 2014 y 2015. Para los primeros, se considera que ya han pasado cerca de tres años desde la modernización. Un análisis de la correlación lineal entre la eficiencia y el índice energético que considere el año de la modernización puede indicar si existe cierto nivel de confianza en la relación de estos valores conforme pasa el tiempo. De esta forma la Figura 4.13, la Figura 4.14 y la Figura 4.15 muestran el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) entre la eficiencia electromecánica y el índice energético para los años 2013, 2014 y 2015 respectivamente. Como se puede apreciar, existe una relación lineal más estrecha entre la eficiencia y el índice de los equipos modernizados en el 2014 y 2015, mientras que la del 2013 es menor. Dado esto último, se infiere que la relación entre la eficiencia electromecánica y el índice energético es más estrecha conforme el equipo de bombeo sea más reciente, o haya sido mejorado en alguna de sus componentes.

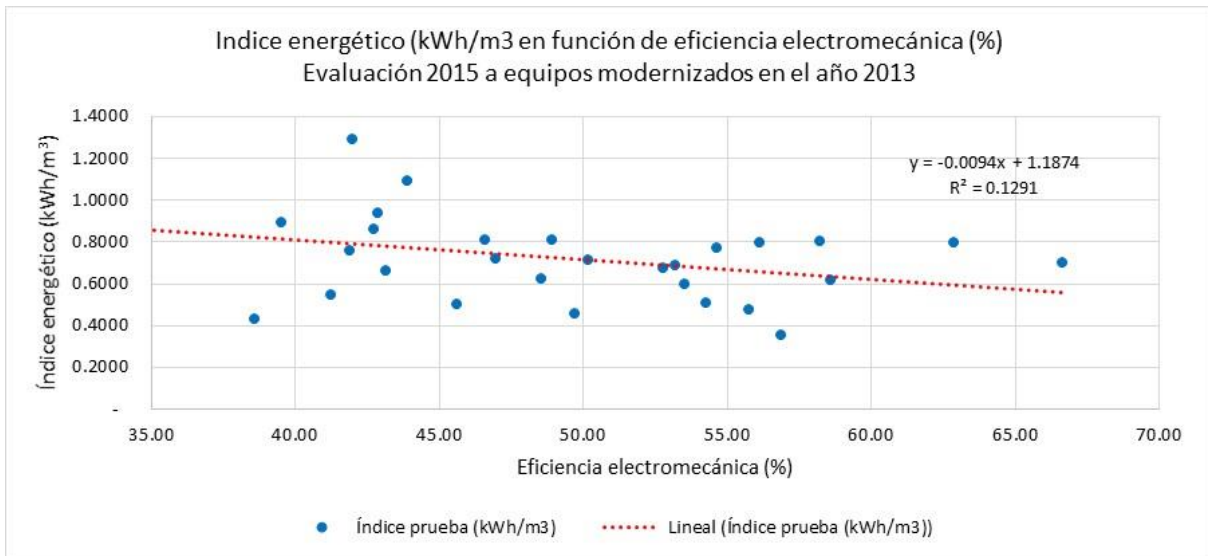


Figura 4.13. Coeficiente de determinación entre la eficiencia electromecánica y el índice energético de los equipos de bombeo modernizados en el año 2013

#### 4. Resultados

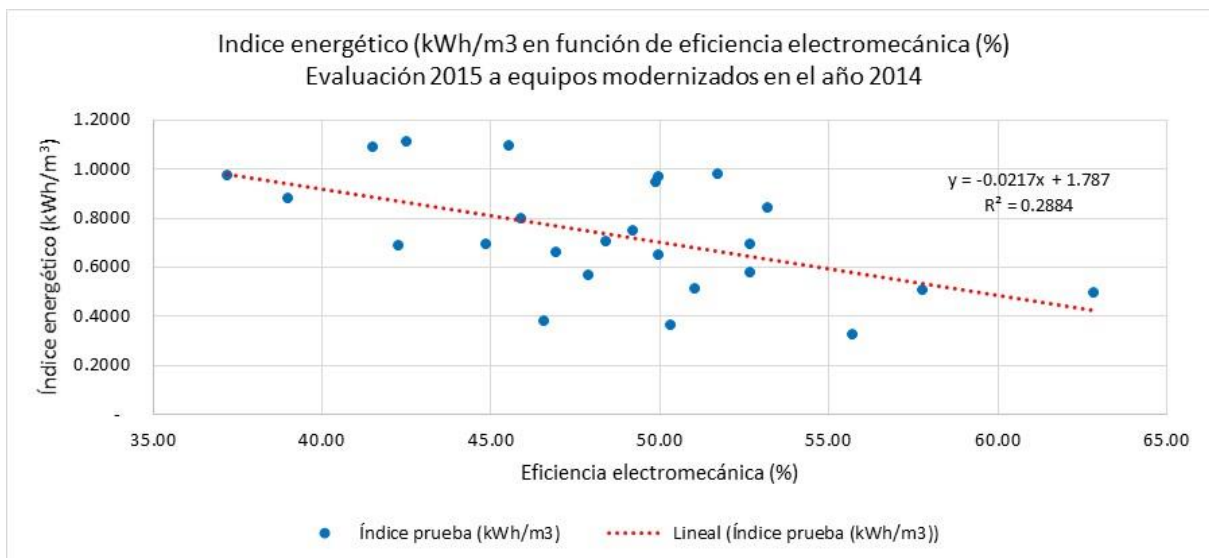


Figura 4.14. Coeficiente de determinación entre la eficiencia electromecánica y el índice energético de los equipos de bombeo modernizados en el año 2014

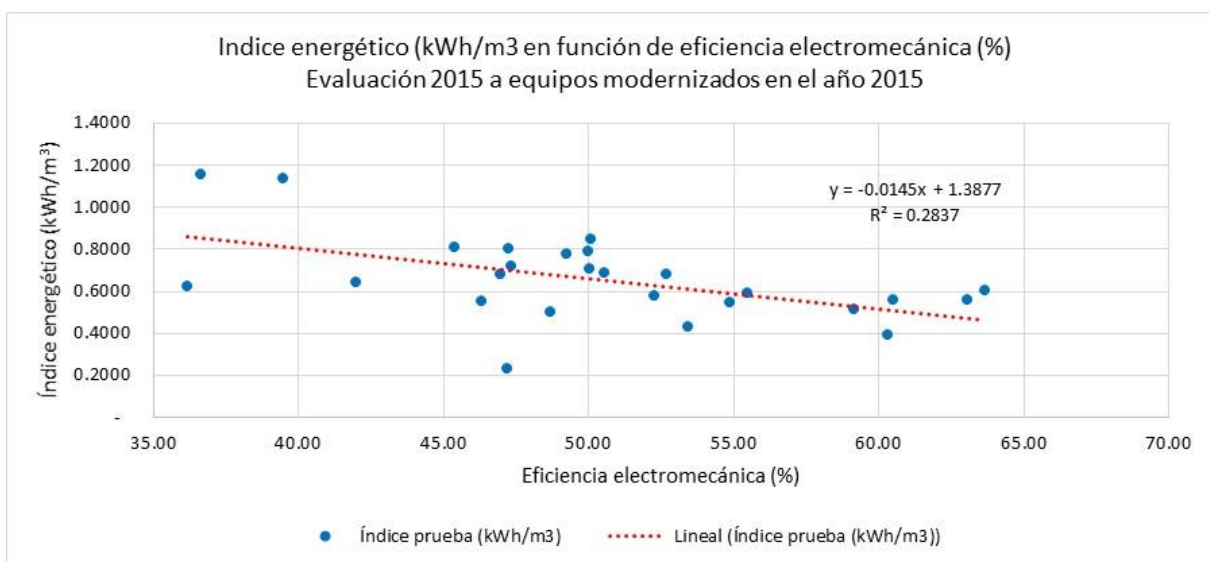


Figura 4.15. Coeficiente de determinación entre la eficiencia electromecánica y el índice energético de los equipos de bombeo modernizados en el año 2015

Para tratar de determinar el grado de desgaste de la eficiencia electromecánica en función del tiempo, se compararon las eficiencias electromecánicas obtenidas en el proyecto contra aquellos obtenidos por la captura de información de los expedientes de equipos modernizados con apoyos del programa de modernización y tecnificación de unidades de riego (ver sección 3.4). Sin embargo, es necesario aclarar que se desconoce la metodología empleada para la estimación de dichos valores, por lo que se dificulta explicar la razón de las diferencias encontradas, mismas que se

presentan en la Tabla 4.6. Dada la dificultad mencionada, una aproximación a la medición del desgaste puede realizarse usando el promedio de la diferencia absoluta de ambas estimaciones de eficiencia, la cual indicaría que por año, cada equipo de bombeo se sufre un desgaste del 1.424% en su eficiencia. Esto indicaría que, en un período de 10 años, un equipo que presentó un 60% de eficiencia en la modernización ya presentaría una eficiencia cercana al 45.76%. Considerando la disminución promedio en el índice energético del 2% por cada 1% de eficiencia encontrada con el análisis de regresión presentado anteriormente, se puede estimar también que en 10 años, el índice energético habría aumentado también un 28.98% su costo energético. Nuevamente, esta estimación debe ser tomada con reserva, pues es un promedio simple que no considera ninguna dependencia de los múltiples factores que pueden afectar la eficiencia, como el tiempo efectivo de funcionamiento, el mantenimiento, la profundidad de extracción o la calidad de los componentes del sistema de bombeo.

*Tabla 4.6. Diferencias encontradas en eficiencias en expedientes PMTEUR y pruebas electromecánicas realizadas*

Año	Eficiencia (%)			
	Eficiencia promedio PMTEUR	Eficiencia promedio prueba (2015)	Diferencia	Diferencia respecto al 2015 entre el número de años transcurridos
<b>2013</b>	63.05	49.20	13.86	1.423
<b>2014</b>	61.06	48.62	12.44	1.425
<b>2015</b>	59.93	50.34	9.59	
<b>Promedios</b>	61.35	49.39	11.96	1.424

#### 4.2.3. Error en el índice energético

El error del índice energético puede deberse a la desviación de alguno de los dos factores que lo componen, que de acuerdo a la ecuación 5, son el gasto (Q) y la potencia activa ( $P_a$ ). Para efectos del presente proyecto, el gasto fue determinado en campo, registrando sólo el valor final obtenido, por lo cual no fue posible determinar el grado de desviación existente en el cálculo. Los valores de la potencia activa sin embargo, requieren de la lectura de variables (corriente, voltaje, factor de potencia) que se realizan y registran por triplicado en una hoja de cálculo, las cuales se utilizan para calcular la potencia y obtener finalmente un promedio. La desviación estándar presente en este cálculo permite obtener una estimación del error del índice debido al factor potencia activa. Usando este procedimiento, cálculo de manera porcentual la desviación del índice energético respecto a su media (valor reportado) para los 80 pozos evaluados, obteniendo la información estadística que se presenta en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7. Variación porcentual respecto a la media en el cálculo del índice energético en tres mediciones distintas de la potencia activa.

Variable	Estimación
Promedio de desviaciones respecto a la media (%)	5.58
Desviación estándar en el promedio de desviaciones	±3.56.
Valor mínimo (%)	0.61
Valor máximo (%)	15.75

#### 4.2.4. Estimación de volumen extraído usando el consumo de energía eléctrica

El índice energético obtenido para pozos evaluados permitió estimar el volumen extraído con la información de los consumos de energía eléctrica proporcionados directamente por los productores a través del recibo de cobro CFE. No obstante que el recibo de energía incluye las lecturas de los últimos 12 meses, en la gran mayoría de los recibos este período abarcaba los meses noviembre del 2014 a noviembre del 2015, por lo cual, cualquiera de los años sólo se obtiene de manera parcial. De esta forma, para tratar de estimar el grado de sobre-explotación de la muestra, se utilizó la serie de registros de consumo de energía eléctrica correspondiente al año fiscal 2015, comparando el volumen obtenido contra el volumen registrado en el título de concesión. La tabla XX muestra el listado de resultados de dicha comparación, donde la última columna muestra el porcentaje de cobertura del volumen estimado respecto al concesionado (este último se ha visto excedido cuando el porcentaje es mayor al 100%). En dicho listado se localizaron 15 pozos (21.43%) que excedían el volumen concesionado en más de un 110%, con un porcentaje promedio del 161.18%.

Tabla 4.8. Listado con resultados de la estimación del volumen extraído con base a los consumos eléctricos del año 2015 de 68 pozos del estado de Zacatecas.

Folio	Último mes en recibo CFE (año 2015)	kWh acumulado	Índice energético (m3/kWh)	Volumen estimado (m3)	Vol. Concesionado (m3)	% Volumen utilizado respecto al concesionado
2013-132	Junio	6,137.00	2.20	13,505.87	60,000.00	22.51
2013-142	Octubre	113,920.00	1.51	172,505.35	288,000.00	59.90
2013-143	Mayo	18,000.00	1.61	28,899.70	76,000.00	38.03
2013-165	Octubre	265,490.00	1.68	444,861.02	120,000.00	<b>370.72</b>
2013-201	Diciembre	129,780.00	1.48	192,636.99	180,000.00	107.02
2013-210	Septiembre	92,240.00	1.26	116,102.38	120,000.00	96.75
2013-251	Noviembre	119,459.00	1.30	154,994.99	180,000.00	86.11
2013-297	Agosto	25,363.00	2.00	50,738.28	210,000.00	24.16
2013-316	Noviembre	190,459.00	1.12	212,848.97	252,000.00	84.46
2013-376	Octubre	9,211.00	1.39	12,767.68	60,000.00	21.28

#### 4. Resultados

<b>2013-397</b>	Julio	76,731.00	1.32	101,617.00	180,000.00	56.45
<b>2013-421</b>	Octubre	116,279.00	1.63	189,635.48	114,000.00	<b>166.35</b>
<b>2013-44</b>	Septiembre	117,760.00	1.40	165,179.94	264,000.00	62.57
<b>2013-479</b>	Noviembre	81,089.00	0.77	62,811.50	96,000.00	65.43
<b>2013-487</b>	Junio	19,826.00	1.07	21,174.06	50,000.00	42.35
<b>2013-503</b>	Agosto	154,940.00	1.24	191,681.89	216,000.00	88.74
<b>2013-516</b>	Octubre	105,360.00	1.46	153,688.77	210,000.00	73.19
<b>2013-519</b>	Noviembre	22,235.00	2.31	51,407.43	78,000.00	65.91
<b>2013-52</b>	Agosto	84,959.00	1.43	121,648.99	120,000.00	101.37
<b>2013-559</b>	Noviembre	116,720.00	1.16	135,316.82	240,000.00	56.38
<b>2013-68</b>	Mayo	34,720.00	1.25	43,340.88	360,000.00	12.04
<b>2013-75</b>	Noviembre	109,038.00	1.83	199,088.83	225,000.00	88.48
<b>2014-121</b>	Agosto	185,949.00	0.92	170,465.64	180,000.00	94.70
<b>2014-249</b>	Septiembre	12,319.00	1.02	12,582.37	50,000.00	25.16
<b>2014-252</b>	Abril	5,334.00	2.76	14,732.81	100,000.00	14.73
<b>2014-278</b>	Julio	176,800.00	1.53	271,217.81	240,000.00	<b>113.01</b>
<b>2014-308</b>	Julio	113,448.00	1.97	223,877.66	249,000.00	89.91
<b>2014-309</b>	Julio	145,134.00	2.02	293,457.04	180,000.00	<b>163.03</b>
<b>2014-310</b>	Julio	114,809.00	1.77	202,757.03	168,000.00	<b>120.69</b>
<b>2014-311</b>	Julio	46,440.00	1.73	80,466.21	60,000.00	<b>134.11</b>
<b>2014-312</b>	Julio	91,748.00	1.51	138,690.38	252,000.00	55.04
<b>2014-361</b>	Julio	9,120.00	1.19	10,863.24	210,000.00	5.17
<b>2014-383</b>	Julio	91,520.00	1.44	132,154.72	294,000.00	44.95
<b>2014-388</b>	Septiembre	54,076.00	1.42	76,862.34	168,000.00	45.75
<b>2014-394</b>	Junio	91,315.00	1.14	103,855.02	120,000.00	86.55
<b>2014-407</b>	Septiembre	63,583.00	1.03	65,705.38	90,000.00	73.01
<b>2014-418</b>	Septiembre	81,870.00	0.91	74,613.73	90,000.00	82.90
<b>2014-485</b>	Agosto	15,700.00	3.08	48,322.91	30,000.00	<b>161.08</b>
<b>2014-496</b>	Diciembre	10,270.00	2.62	26,913.44	150,000.00	17.94
<b>2014-553</b>	Junio	14,392.00	1.03	14,782.10	144,000.00	10.27
<b>2014-580</b>	Agosto	45,629.00	1.95	89,078.18	90,000.00	98.98
<b>2014-581</b>	Septiembre	99,280.00	0.90	89,325.01	300,000.00	29.78
<b>2014-598</b>	Septiembre	45,682.00	1.25	57,259.94	108,000.00	53.02
<b>2014-603</b>	Mayo	26,435.00	1.06	27,912.53	490,920.00	5.69
<b>2014-75</b>	Noviembre	13,886.00	1.34	18,544.23	114,000.00	16.27
<b>2015-108</b>	Agosto	80,000.00	1.48	118,040.55	240,000.00	49.18
<b>2015-110</b>	Agosto	66,074.00	2.01	132,675.80	96,000.00	<b>138.20</b>
<b>2015-111</b>	Agosto	19,084.00	1.61	30,697.76	84,000.00	36.54
<b>2015-17</b>	Noviembre	72,230.00	1.25	90,135.76	75,000.00	<b>120.18</b>
<b>2015-2</b>	Noviembre	106,740.00	1.39	148,382.82	126,000.00	<b>117.76</b>
<b>2015-20</b>	Noviembre	63,389.00	1.94	122,939.58	90,000.00	<b>136.60</b>

#### 4. Resultados

<b>2015-38</b>	Octubre	51,320.00	1.42	72,949.41	360,000.00	20.26
<b>2015-47</b>	Noviembre	37,649.00	2.54	95,479.08	78,000.00	<b>122.41</b>
<b>2015-50</b>	Septiembre	62,094.00	1.55	96,552.83	210,000.00	45.98
<b>2015-6</b>	Noviembre	261,680.00	1.27	332,696.17	200,000.00	<b>166.35</b>
<b>2015-62</b>	Octubre	168,160.00	1.70	285,447.52	120,000.00	<b>237.87</b>
<b>2015-66</b>	Marzo	8,364.00	1.73	14,456.60	228,000.00	6.34
<b>2015-68</b>	Septiembre	62,643.00	0.88	55,294.49	240,000.00	23.04
<b>2015-7</b>	Mayo	67,042.00	0.87	58,113.58	135,000.00	43.05
<b>2015-70</b>	Agosto	36,672.00	1.84	67,293.25	240,000.00	28.04
<b>2015-71</b>	Octubre	23,561.00	1.81	42,635.14	122,500.00	34.80
<b>2015-74</b>	Octubre	59,200.00	1.80	106,288.36	432,000.00	24.60
<b>2015-85</b>	Noviembre	30,172.00	1.79	54,156.18	120,000.00	45.13
<b>2015-87</b>	Octubre	41,131.00	1.46	60,198.35	120,000.00	50.17
<b>2015-88</b>	Marzo	17,200.00	1.23	21,220.41	264,000.00	8.04
<b>2015-90</b>	Noviembre	122,615.00	1.18	145,081.23	156,000.00	93.00
<b>2015-94</b>	Julio	1,090.00	1.46	1,593.74	360,000.00	0.44
<b>2015-97</b>	Noviembre	163,043.00	1.65	268,860.58	180,000.00	<b>149.37</b>

La información de los consumos parciales de energía fue introducida en el SIEVA. El sistema calcula automáticamente el volumen extraído una vez introducido el dato del índice energético. De esta forma, se puede consultar el avance en la extracción de manera mensual. Como ejemplo, considérese la Figura 4.16. Avance en la extracción para la unidad de riego “Predio Los Fresnos” del acuífero “La Blanca”, año 2015, la cual muestra la extracción acumulada para la unidad de riego “Predio Los Fresnos” del acuífero La Blanca, con título de concesión 07ZAC103799/37AMGL11. Como se puede observar, se considera que dicha unidad rebasa su volumen concesionado a partir del mes de agosto. Esta unidad de riego (con folio 2015-20) puede ser localizada en la Tabla 4.8, donde se puede observar que al finalizar el año agrícola, se habrá extraído un 136.60% del volumen indicado en el título de concesión.



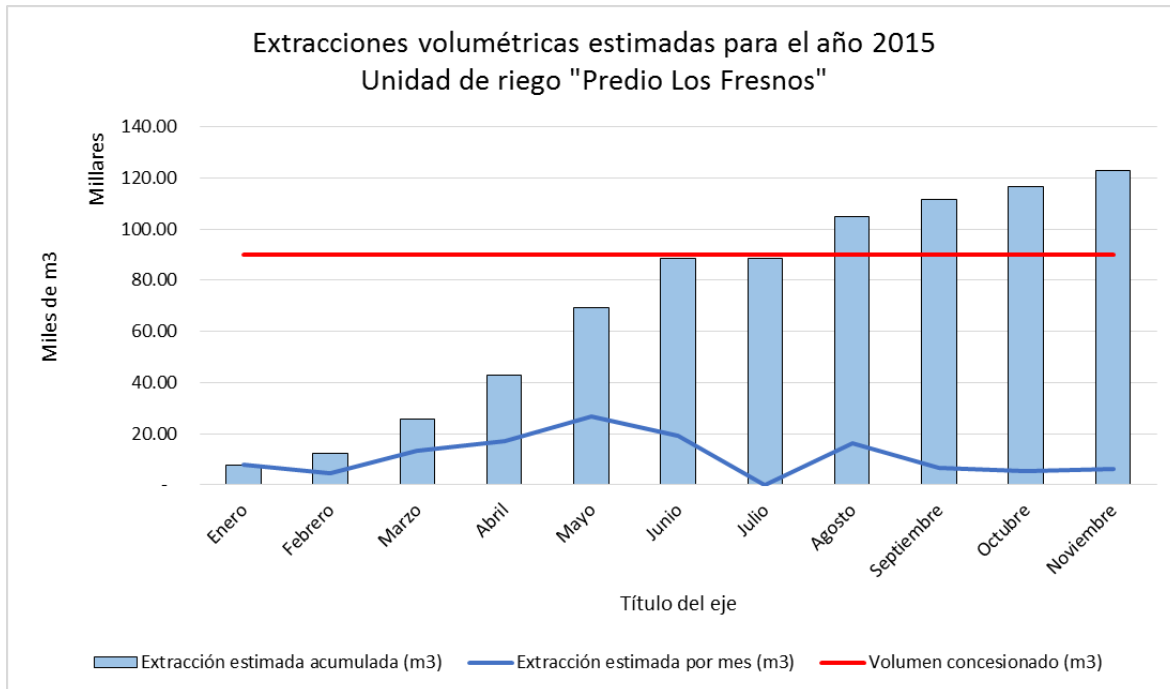


Figura 4.16. Avance en la extracción para la unidad de riego "Predio Los Fresnos" del acuífero "La Blanca", año 2015

### 4.3. El Sistema de Información de Extracciones Volumétricas en Acuíferos

El sistema fue desarrollado siguiendo la metodología descrita en la sección 3.6. A continuación se describe el resultado obtenido en cada etapa.

#### 4.3.1. Análisis de requerimientos

Dada la investigación documental preliminar contemplada como primer paso de la metodología del proyecto, se determinó que la aplicación debería cumplir con los siguientes requerimientos funcionales:

- a. Responder a un ambiente distribuido (aplicación web). Esto considera que la información proviene de fuentes que se encuentran geográficamente distantes.
- b. Debe facilitar la consulta de los siguientes datos: volumen concesionado por título de concesión, recarga, volumen de extracción, déficit o disponibilidad y nivel de sobreexplotación a nivel de acuífero.
- c. Consulta de los documentos de la disponibilidad por acuífero.
- d. Consulta en formato tabular del volumen extraído en pozos en base al consumo de energía (sujeto a disponibilidad del índice).
- e. Acumulación automática a niveles superiores de la información cuantitativa (datos mencionados en los incisos b,c y d).

- f. Cálculo automatizado totales y estadísticos de la información cuantitativa (mínimos, máximos, promedios).
- g. Generación automatizada de gráficas de la información numérica.
- h. Visualización geográfica de los objetos de interés en mapas de Google (Google Maps), identificando la disponibilidad por un código de colores.
- i. Organizar la consulta en cuatro módulos: acuíferos, pozos, administración de usuarios y configuración del sistema.

Por otro lado, se detectaron los siguientes requisitos no funcionales:

- a. Contemplar el acceso jerárquico de usuarios.
- b. Ejecución multiplataforma (ejecutarse para cualquier sistema operativo).
- c. Desarrollo en un lenguaje de programación orientado a objetos (esto facilita su implementación y mantenimiento).
- d. Base de datos segura, robusta y compatible con estándares actuales, pero de bajo costo, a fin de no impactar el costo total del proyecto.

En base a estos últimos, se decidió desarrollar el sistema usando las siguientes herramientas:

- Servidor web Apache versión 2.4.6
- Gestor de base de datos tipo MySQL versión 5.6.26.
- Lenguaje de programación PHP versión 5.4.16.

### 4.3.1. Diseño e implementación de la aplicación

Los procesos de diseño e implementación traducen los requisitos detectados en la etapa de análisis de requerimientos en componentes de un sistema informático (software). Durante esta etapa, se definió la arquitectura general de la aplicación, lo cual integra a los algoritmos (procedimientos), la base de datos y la interfaz de usuario. Para facilitar la descripción de estos componentes, en esta sección, se describen los dos primeros (los procedimientos algorítmicos y la base de datos), mientras que la interfaz de usuario se muestra al mismo tiempo que se realiza la descripción del funcionamiento de la aplicación, en la siguiente sección de este documento.

#### 4.3.1.1. Procedimientos algorítmicos

El diagrama de la Figura 4.17 representa la organización de los procedimientos que ejecuta el sistema. Como se puede observar, existen siete procedimientos en la aplicación, que son: 1) La consulta de la documentación de volumen disponible; 2) La consulta de volumen disponible en acuíferos; 3) Consulta de aprovechamientos en acuíferos; 4) Consulta de usuarios por acuífero; 5) Consulta de información de volumen disponible en pozos; 6) Configuración de usuarios del sistema y 7) Captura de información del sistema. Estos procedimientos se agrupan en cuatro categorías, que en la Figura 4.17 se identifican como el grupo a) Documentación, b) Acuíferos, c) Pozos y d) Administración del sistema.

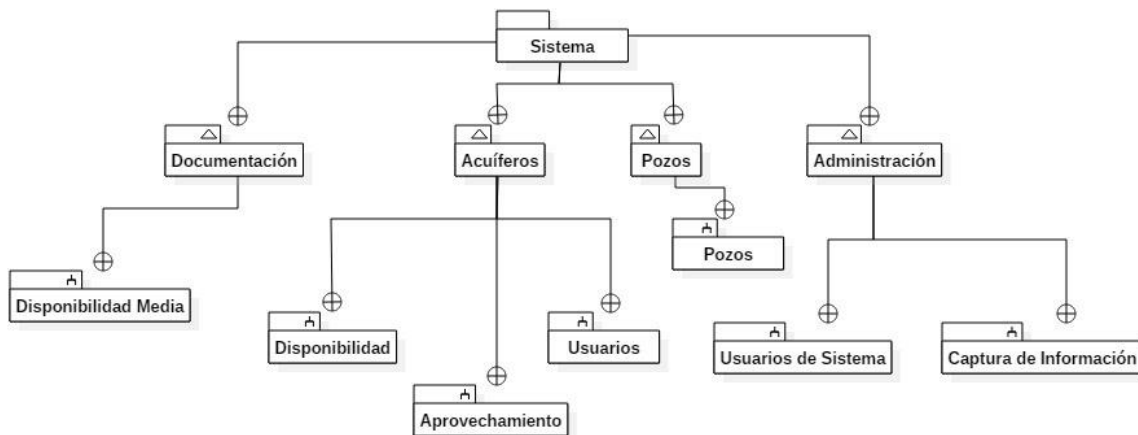


Figura 4.17. Organización de procedimientos en SIEVA

A continuación se describe cada uno de los procedimientos de la aplicación.

**1) Consulta documentación de disponibilidad en acuíferos.** Su función es facilitar al usuario las herramientas para acceder al documento de disponibilidad media anual del volumen por acuífero. Para poder ver el documento, el usuario tendrá que especificar el organismo de cuenca, la entidad federativa y el acuífero de interés. Al seleccionar el acuífero, el sistema automáticamente mostrará el documento en pantalla. La Figura 4.18 muestra el diagrama de flujo del procedimiento.

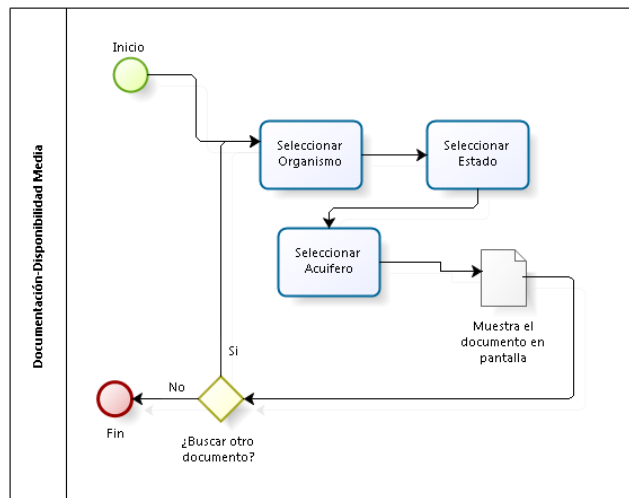


Figura 4.18. Procedimiento de consulta de la documentación de la disponibilidad media en acuíferos

**2) Consulta de la disponibilidad media anual de volumen en acuíferos.** Este procedimiento muestra la información de la disponibilidad de agua por acuífero en forma de tabla, gráfica y mapa. Para poder realizar la consulta, el usuario puede seleccionar uno o varios organismos de cuenca, uno o varios estados, uno o varios municipios y por último de uno a varios acuíferos. Esta selección

#### 4. Resultados

permite delimitar la consulta. En este procedimiento, el usuario puede establecer el nivel de desglose para la consulta, lo cual permite que la información cuantitativa se muestre de manera agrupada a un determinado nivel, entre las opciones de organismo de cuenta, estado, municipio y acuífero. Alternativamente, es posible establecer un modo de ordenamiento en la salida, que puede ser ascendente o descendente, así como la forma de la salida, la cual puede ser forma de tabla, gráfica o mapa. Estas opciones no son excluyentes entre sí, por lo que pueden combinarse. En el caso de seleccionar la salida en forma de mapa, el usuario puede establecer el estilo de color (translúcido o sólido). La Figura 4.19 muestra el diagrama de flujo del procedimiento.

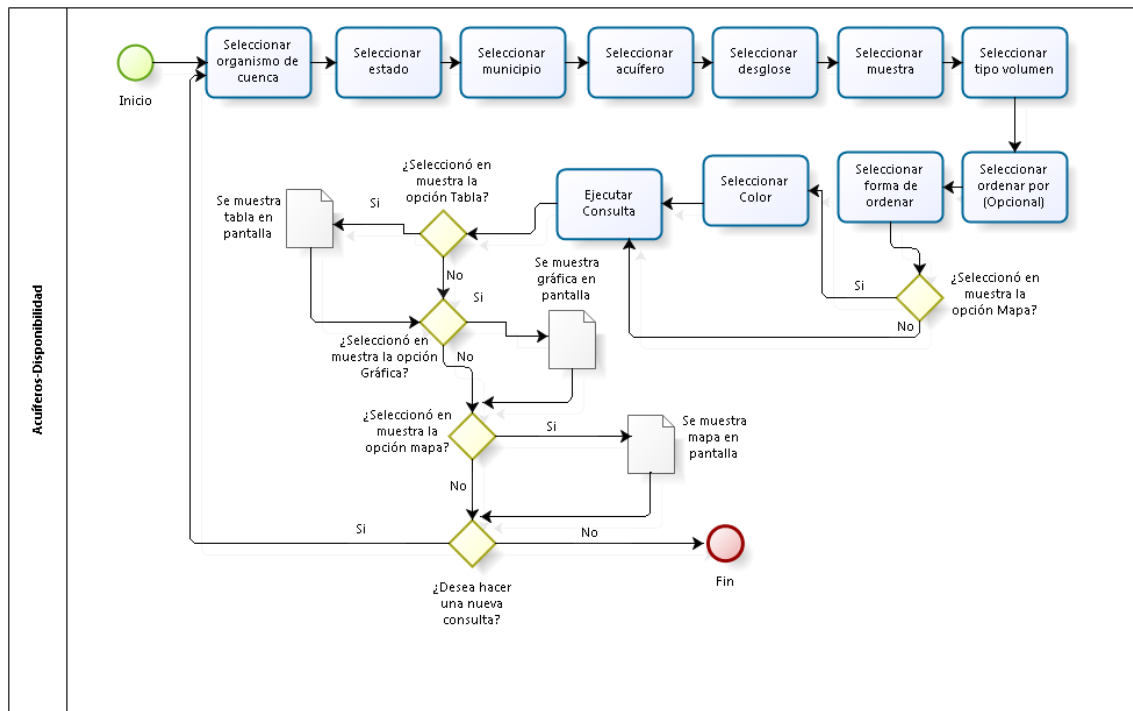


Figura 4.19. Procedimiento de consulta de disponibilidad media anual de agua en acuíferos

La información que se obtiene como resultado de este procedimiento se muestra en la Tabla 4.9. Es necesario aclarar que, además de los datos numéricos presentados en esta tabla, se deben agregar los datos derivados del nivel de desglose (organismo de cuenca, estado o acuífero).

Tabla 4.9. Información numérica de la consulta a la disponibilidad media anual de volumen en acuíferos

Dato	Unidad
Recarga	Hectómetros cúbicos (hm3)
Descarga natural comprometida	Hectómetros cúbicos (hm3)
Volumen concesionado	Hectómetros cúbicos (hm3)
Volumen de extracción por estudios técnicos	Hectómetros cúbicos (hm3)
Disponibilidad (+) o déficit (-)	Hectómetros cúbicos (hm3)
Disponibilidad (+) o sobreexplotación (-)	Porcentaje (%)

3) **Consulta de aprovechamientos.** Este procedimiento permite acceder a la información referente a la cantidad de pozos, norias y manantiales que existen por acuífero. Los datos se pueden obtener de forma de tabla y gráfica. Para poder obtener esta información, el usuario tendrá que seleccionar al menos un organismo de cuenta, uno o más estados, uno o más municipios y uno o más acuíferos. También debe seleccionar como requiere ver los resultados en la lista desglose. Este tipo de salida sólo se puede obtener en forma de tabla o gráfica. El diagrama de flujo del procedimiento se presenta en la Figura 4.20.

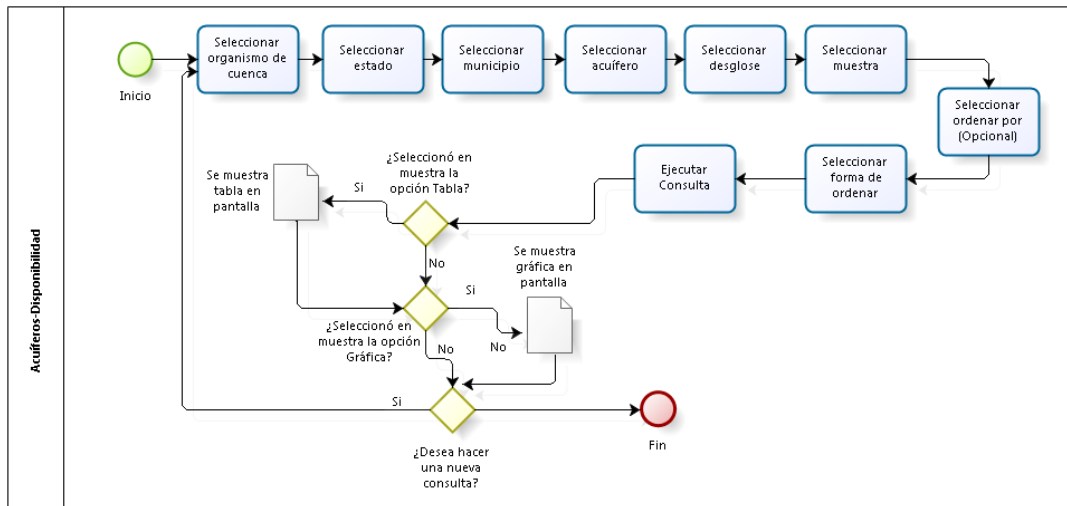


Figura 4.20. Procedimiento de consulta a aprovechamientos

La Tabla 4.10 muestra los datos obtenidos de la consulta a aprovechamientos.

Tabla 4.10. Información numérica de la consulta a aprovechamientos

Dato	Unidad
------	--------

<b>Número de pozos</b>	Cantidad
<b>Número de norias</b>	Cantidad
<b>Número de manantiales</b>	Cantidad

**4) Consulta de usuarios.** Muestra la cantidad correspondiente al total de usuarios dividida en usuarios ejidales y pequeños propietarios. Para acceder a esta información, se debe seleccionar el organismo de cuenca, estado, municipio y acuífero. Esta información se puede acceder en forma de tabla y en forma gráfica. El diagrama de flujo del procedimiento se presenta en la Figura 4.21.

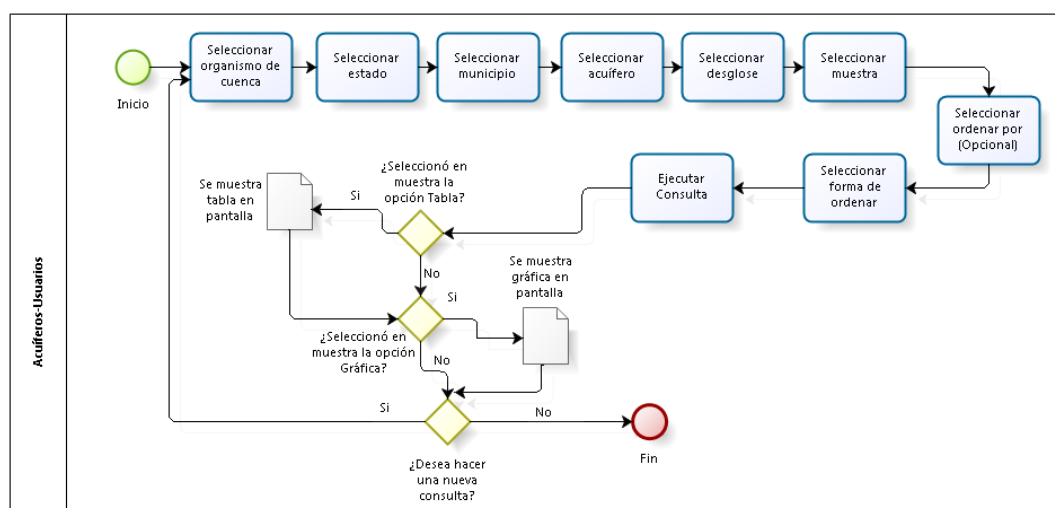


Figura 4.21. Procedimiento de consulta a usuarios agrícolas

La Tabla 4.11 muestra los datos obtenidos de la consulta a usuarios.

Tabla 4.11. Información numérica de la consulta a usuarios

<b>Dato</b>	<b>Unidad</b>
<b>Total de usuarios</b>	Cantidad
<b>Usuarios ejidales</b>	Cantidad
<b>Usuarios pequeños propietarios</b>	Cantidad

**5) Consulta de pozos.** Este procedimiento permite estimar de forma indirecta el volumen que es extraído a través de sistemas de bombeo de pozos, mostrando el porcentaje de sobreexplotación sobre cada pozo comparándola con el volumen concesionado. También muestra información general de los pozos, como su ubicación, profundidad, características de funcionamiento, uso, título de concesión, nombre del usuario entre otras. Para poder realizar esta consulta, el usuario debe seleccionar de manera opcional los organismos de cuenta, estados, municipios, acuíferos, usos,

propietarios, títulos de concesión, desgloses y año de interés para delimitar la consulta y encontrar la información precisa. Alternativamente, puede solicitar un acumulado bimestral, un rango de específico de volumen. En este proceso se puede presentar el resultado en forma de tabla, gráfico y mapa. El diagrama de flujo del procedimiento se presenta en la Figura 4.22.

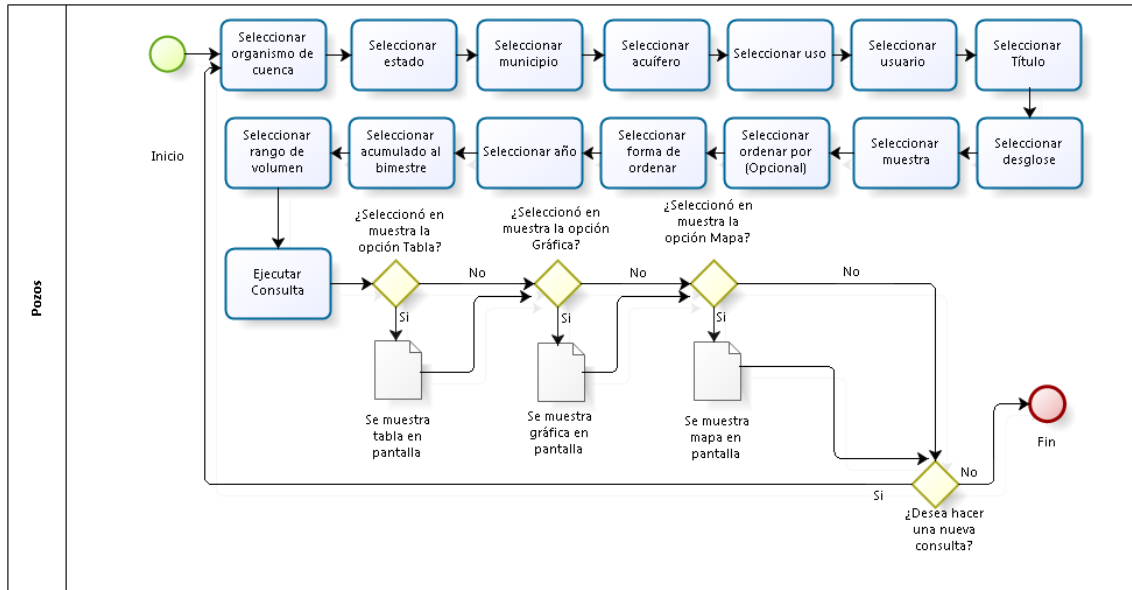


Figura 4.22. Procedimiento de consulta a pozos

**6) Mantenimiento de usuarios del sistema.** Este procedimiento solo estará visible para el usuario administrador del sistema o que tenga permisos para hacer modificaciones. Su función principal es dar de alta y hacer los mantenimientos necesarios de los usuarios que tendrán privilegios para usar el sistema. Existe un control de acceso, los cuales aplicarán para cada usuario de forma diferente, dependiendo de su nivel de privilegio a) nivel organismo de cuenca; b) nivel entidad federativa y c) nivel de acuífero. Esto fue con la finalidad de que el usuario sólo pueda ver los datos que le corresponden. Durante este procedimiento, se muestra una tabla con información de los usuarios que están registrados y que pueden ingresar al sistema. Cada usuario puede editar la información de otros usuarios de acuerdo al nivel en el cual está registrado. Así, por ejemplo, usuarios dados de alta en el organismo de cuenca IV, sólo podrá dar de alta usuarios a nivel de entidad federativa y/o acuífero registrados en dicha región.

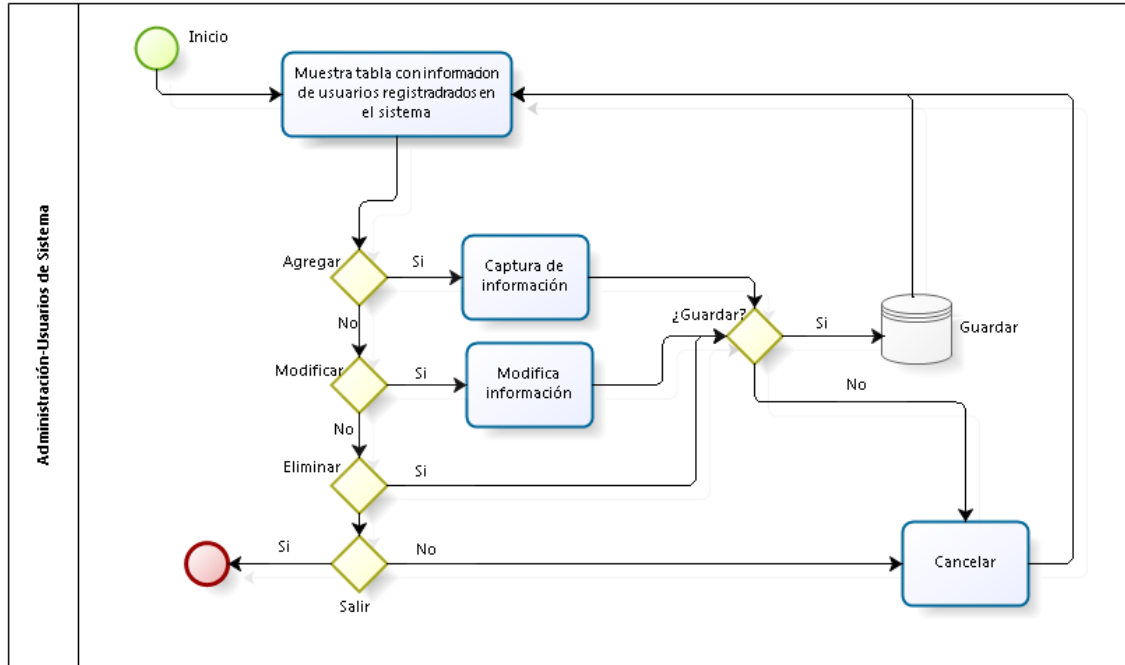


Figura 4.23. Procedimiento de administración de usuarios del sistema

**7) Mantenimiento de la información del sistema.** En este procedimiento se proporciona mantenimiento a los archivos de configuración de la aplicación. Al igual que el procedimiento anterior, para acceder se requiere tener privilegios de administrador. En este procedimiento se muestra una tabla con información de los pozos, propietarios, títulos de concesión e información de los números de servicio que maneja CFE para identificar a los usuarios (RPU). En cada sección se puede dar el mantenimiento necesario a dicha información, para lo cual el usuario administrador especifica de forma previa el organismo de cuenca, el estado y el acuífero que corresponde a la sección de la base de datos que se desea modificar.



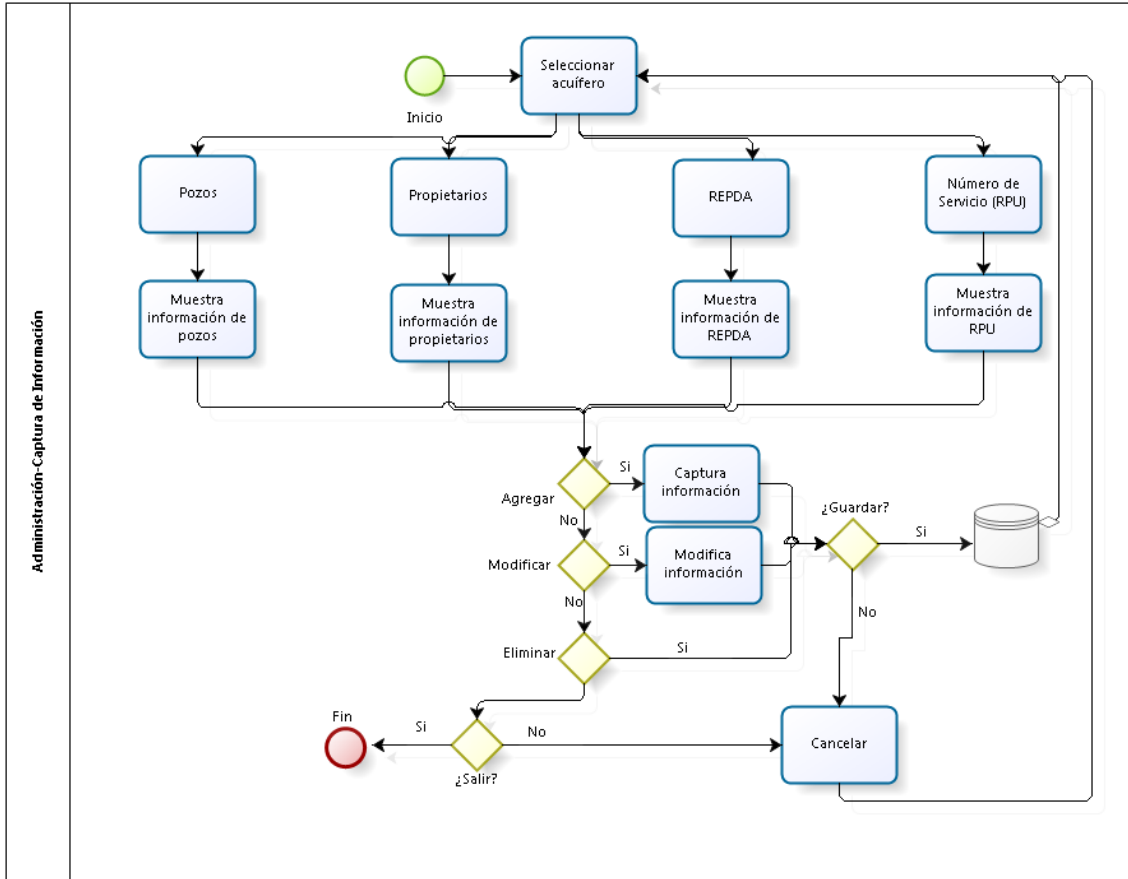


Figura 4.24. Procedimiento de administración de Información del sistema

#### 4.3.1.2. Base de datos

La estructura de la base de datos fueron definidos por el análisis de requerimientos y el diseño de los procedimientos algorítmicos. La investigación documental realizada en el análisis de requerimientos permitió identificar y recopilar las bases de datos de los acuíferos, los volúmenes de concesión del REPDA, los índices energéticos y los registros de consumos eléctricos de 80 pozos. Además de considerar la información numérica, se tomó en cuenta su contraparte geográfica, así se obtuvieron las delimitaciones de los acuíferos, la localización de los pozos y los límites de estados, municipios y organismos de cuenca. De esta forma, la base de datos, se puede desglosar en cuatro secciones: **acuíferos, pozos, administración de usuarios y tablas de configuración.**

En la **sección de acuíferos** de la base de datos (Figura 4.25), se tiene toda la información relaciona a los 653 acuíferos de México, que comprende la disponibilidad, recarga, extracciones, aprovechamientos, población, usuarios, organismos de cuenca, región hidrológica, región hidrogeológica, cuenca, ubicaciones georreferenciada dentro de su estado y municipio.

## 4. Resultados

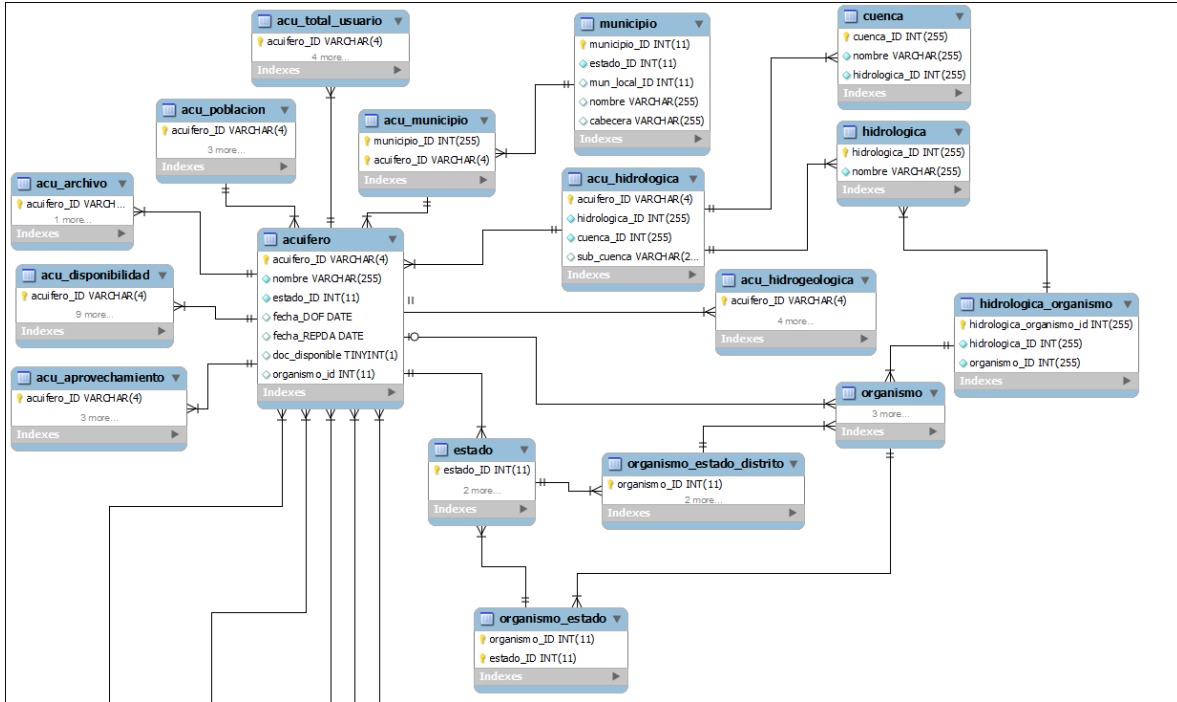


Figura 4.25. Base de datos (sección acuíferos)

En la **sección de pozos** (Figura 4.26), se encuentra almacenada toda la información de los pozos, la cual comprende el usuario, título de concesión, uso, ubicación geográfica, medidor, bomba, transformadores y los catálogos de sus tipos y marcas.

#### 4. Resultados

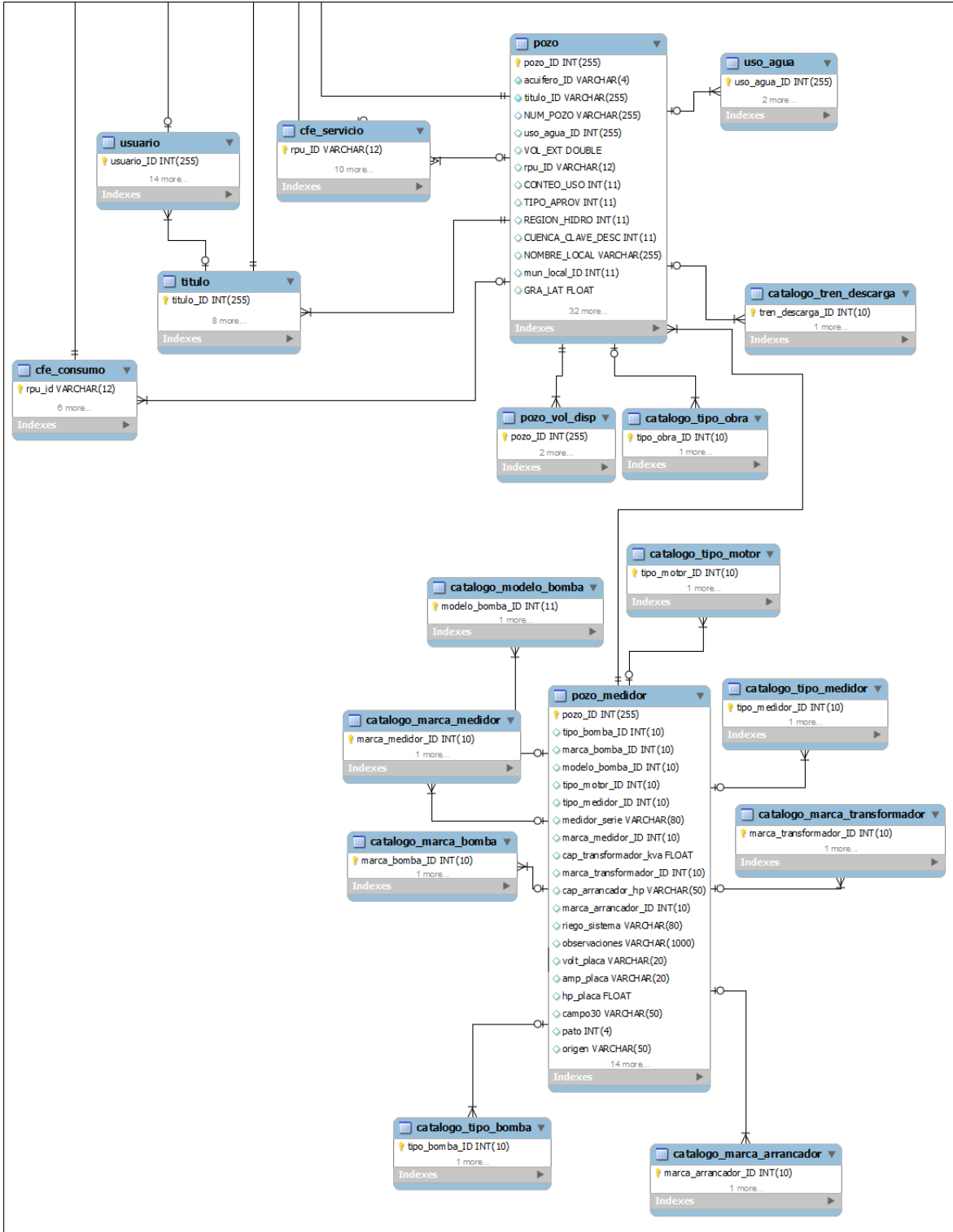


Figura 4.26. Base de datos (sección pozos)

La **sección de administración de usuarios** (Figura 4.27), contiene información de las personas que tendrán permisos para poder ingresar al sistema, como datos personales, el rol que tendrán en el sistema, nivel y contraseña.

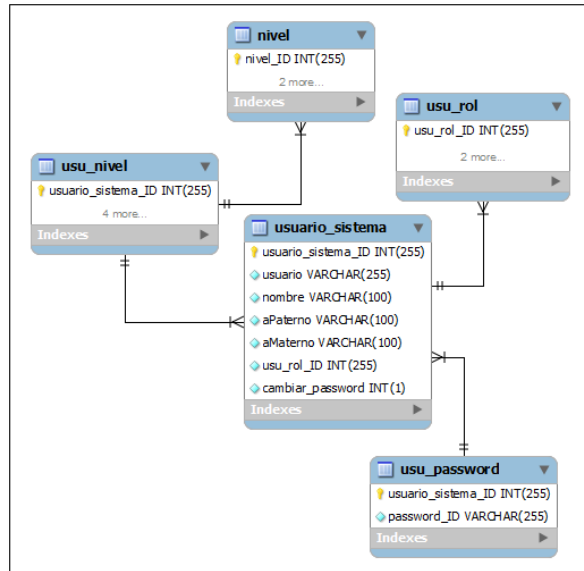


Figura 4.27. Base de datos (sección administración de usuarios)

En la **sección tablas de configuración** (Figura 4.28) se tienen las tablas auxiliares que ayudan al funcionamiento del sistema. En la tabla topico se tienen configuraciones para poder crear dinámicamente consultas de la misma base de datos. En la tabla color, se tienen asignados códigos de colores que el sistema ocupa para generar estilos en las gráficas. Y por último la tabla catálogo\_año, sirve para tomar el dato año para elaborar algunas búsquedas de los consumos energéticos.

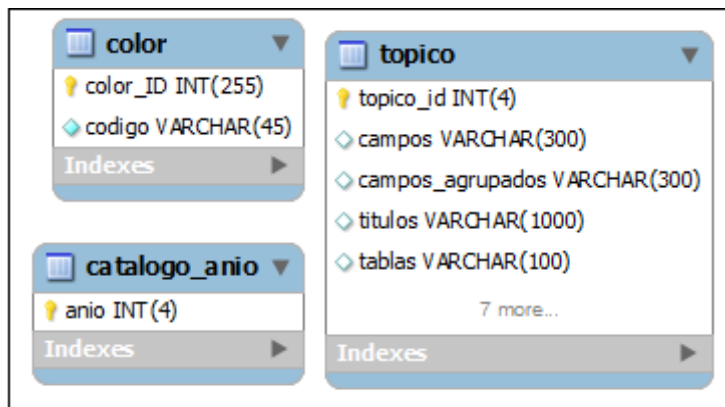


Figura 4.28. Base de datos (sección tablas de configuración)

### 4.3.2. Funcionamiento

En esta sección del documento se describe el funcionamiento del sistema, así como la organización de la interfaz de usuario. La interfaz de usuario está desarrollada para que cualquier persona pueda utilizar el sistema. La intención en el diseño fue hacer el ambiente amigable e intuitivo, con el fin de facilitar la ejecución del procedimiento y obtener la información requerida.

La interfaz del sistema está organizada de la siguiente manera:

- **Encabezado de la página:** muestra los logos y título principal, también se visualiza el usuario con el que se ingresó al sistema.
- **Menú desplegable** (ubicado en el lado izquierdo): muestra las opciones que puede realizar el sistema, tiene un estilo de acordeón (desplegables) que al darle clic con el puntero del mouse, muestra en pantalla el modulo que corresponde del sistema.
- **Cuerpo de la página:** muestra la interfaz del módulo en la parte central de la pantalla dependiendo lo que se haya seleccionado en el menú.
- **Pie de la página:** indica los derechos de autor y fin de la página.

SIEVA, tiene un menú con las siguientes secciones principales: Inicio, Documentación, Acuíferos, Pozos y Administración. A continuación se describe brevemente cada sección.

#### 4.3.2.1. Pantalla de inicio

Su función es acceder a la página principal de la aplicación (Figura 4.29).



Figura 4.29. Pantalla Principal

### 4.3.2.2. Submenú documentación

Esta sección muestra el **submenú llamado disponibilidad media**, la cual permite obtener el documento llamado “determinación de la disponibilidad del agua” publicado por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) entre los años 2008 y 2011, cuyo contenido es relacionado con el acuífero seleccionado, incluyendo información de estudios técnicos, la recarga, volumen concesionado, volumen extraído de estudios técnicos, disponibilidad/déficit, ubicación georreferenciada, temperatura, hidrografía, geomorfología y otros datos de interés técnico. Los documentos están organizados por organismo de cuenca, estado y acuífero para una búsqueda más rápida. Para poder visualizar o descargar estos documentos, la forma es seleccionar un organismo de cuenca, posteriormente el estado y finalmente el acuífero. La aplicación se encargará de mostrar en pantalla el documento como se muestra en la (Figura 4.30).



Figura 4.30. Pantalla documentos- disponibilidad media

#### 4.3.2.3. Acuíferos

Su función es mostrar un submenú con tres secciones: **Disponibilidad, Aprovechamientos y Usuarios**.

El submenú **Acuíferos/Disponibilidad** muestra en una tabla la información del organismo de cuenca, estado, municipio, acuífero, la recarga ( $\text{hm}^3$ ), descarga natural comprometida ( $\text{hm}^3$ ), volumen concesionado ( $\text{hm}^3$ ), volumen extraído para estudios técnicos ( $\text{hm}^3$ ), disponibilidad ( $\text{hm}^3$ ) y porcentaje de disponibilidad. En otra tabla se muestran sumas acumuladas y promedios de estas cantidades. Los resultados se muestran en tres opciones: de manera tabular, gráfica y mapa (no excluyentes entre sí).

En la gráfica, se muestra información agrupada por organismo de cuenta, estado, acuífero mostrando información de la recarga, volumen concesionado, volumen extraído para estudios técnicos, disponibilidad o déficit y el porcentaje de la sobreexplotación. Y en el mapa se muestra los límites geográficos de los organismos de cuenca, de los estados y de los acuíferos.

Para visualizar la información, en el cuerpo de la página aparecen varios listados de selección múltiple (organismo de cuenca, estado, municipio, acuífero), que servirán para filtrar la información resultante en la búsqueda final. Estas listas de selección son dinámicas y dependientes una de otra, ya que al seleccionar o deseleccionar una opción de la lista, se genera la siguiente. La pantalla también cuenta con un listado para indicar el nivel de desglose de información y una lista de verificación para indicar el formato de salida (llamado **muestra**), con las opciones tabla, gráfica y mapa. Debido a que la disponibilidad se puede estimar usando el volumen concesionado o el volumen disponible considerado en los estudios técnicos, la aplicación incluye un cuadro de selección para especificar cuál de estos dos volúmenes utilizar. Finalmente, se puede indicar cómo ordenar la búsqueda (ascendente/descendente). Si el usuario selecciona la opción mapa, se muestra una lista adicional para seleccionar el estilo que tomará el estilo del color de relleno de las zonas de interés que formarán el mapa, incluyendo las opciones color traslúcido o color sólido.

La información que se obtiene es la **disponibilidad media anual**, y la agrupación será dependiendo de lo seleccionado en los listados.

A continuación se muestran cómo se pueden presentar los resultados, en forma de tabla (Figura 4.31), b) en forma gráfica (Figura 4.31) y c) en forma de mapa (Figura 4.32).

## 4. Resultados

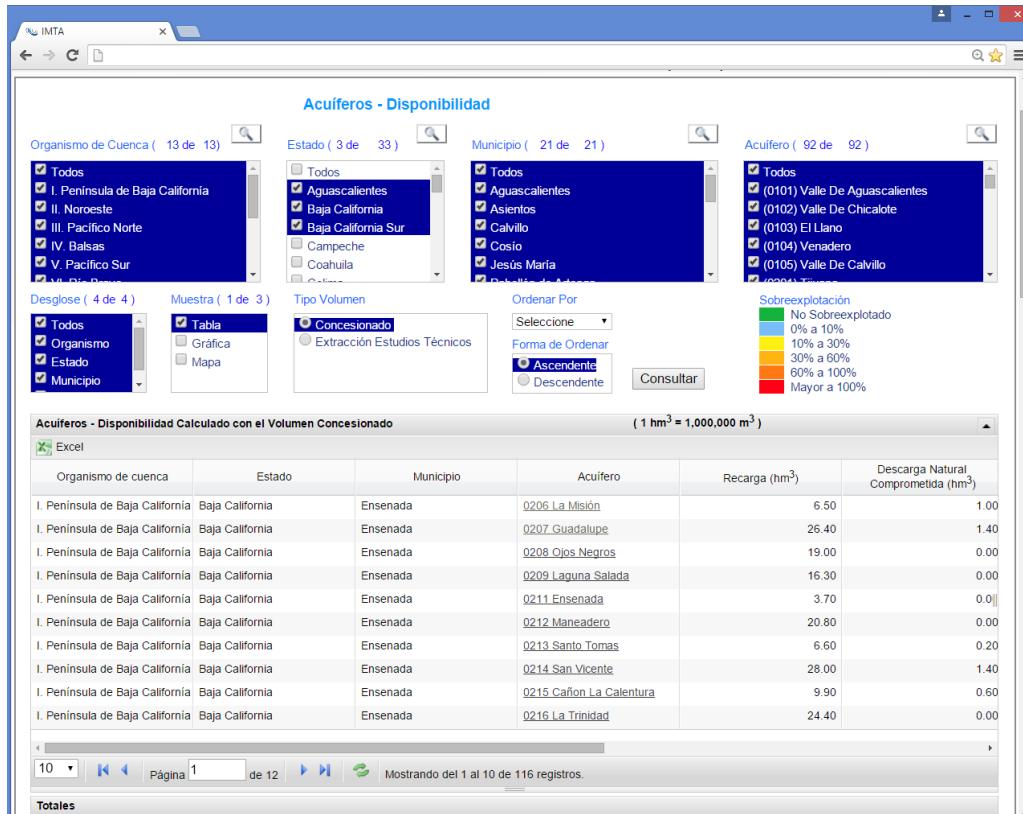


Figura 4.31. Pantalla acuíferos – disponibilidad – (salida en forma tabular)

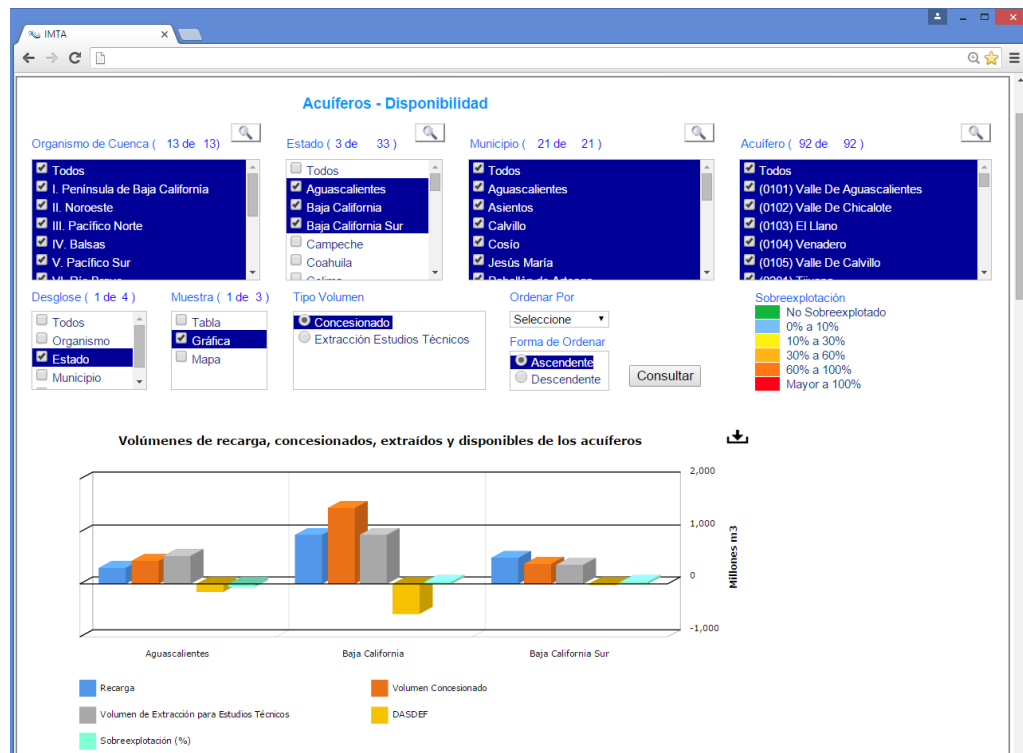


Figura 4.32. Pantalla acuíferos – disponibilidad (gráfica)



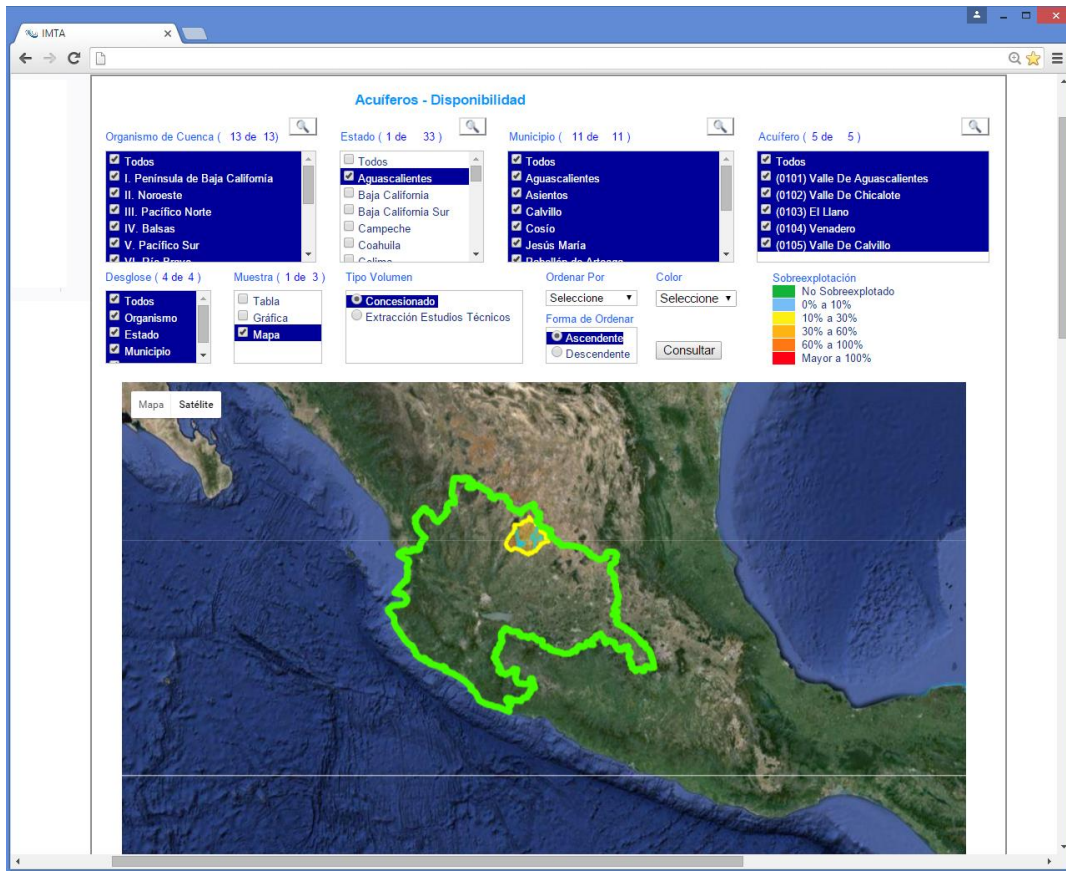


Figura 4.33. Pantalla acuíferos –disponibilidad (mapa)

Al ingresar al submenú **“Acuíferos/Aprovechamientos”**, los resultados que se obtienen se pueden mostrar de dos formas: tabla y gráfica. En ambas se visualizará el número de pozos, el número de norias y el número de manantiales que se encuentran en el o los acuíferos seleccionados. Para poder consultar la información, en el cuerpo de la página aparecen unos listados de selección múltiple (Organismo de cuenca, Estado, Municipio, Acuífero), que servirán para ir filtrando la información de la búsqueda final. Estas listas de selección múltiple, son dinámicas y dependientes una de otra, ya que al seleccionar o deseleccionar una opción de la lista, se genera la siguiente. También se cuenta con un listado de desglose de información, el listado llamado **muestra** (tabla y gráfica), que permitirá seleccionar como presentará el sistema los resultados encontrados de la búsqueda y por último, como ordenar la búsqueda.

La información que se obtiene son los **aprovechamientos (pozos, norias y manantiales)**, y la agrupación será dependiendo de lo seleccionado en las listas. De esta forma, al seleccionar tabla, se presenta la pantalla mostrada en la Figura 4.34:

## 4. Resultados

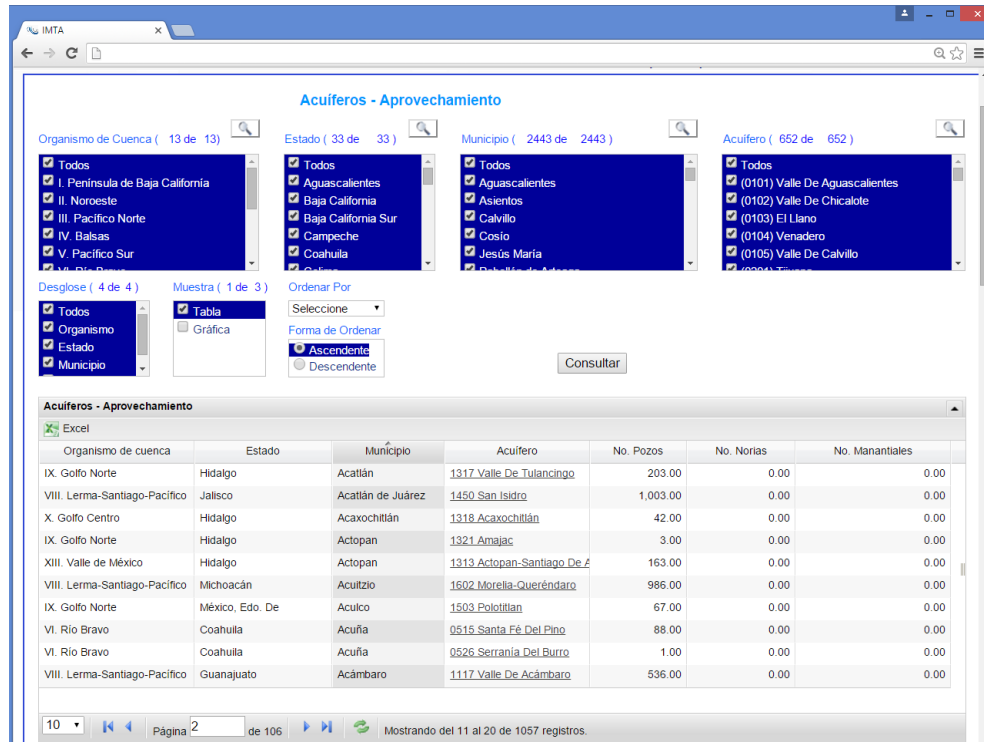


Figura 4.34. Pantalla acuíferos – aprovechamientos (tabla)

Si seleccionó gráfica de visualiza de la siguiente manera (

Figura 4.35):

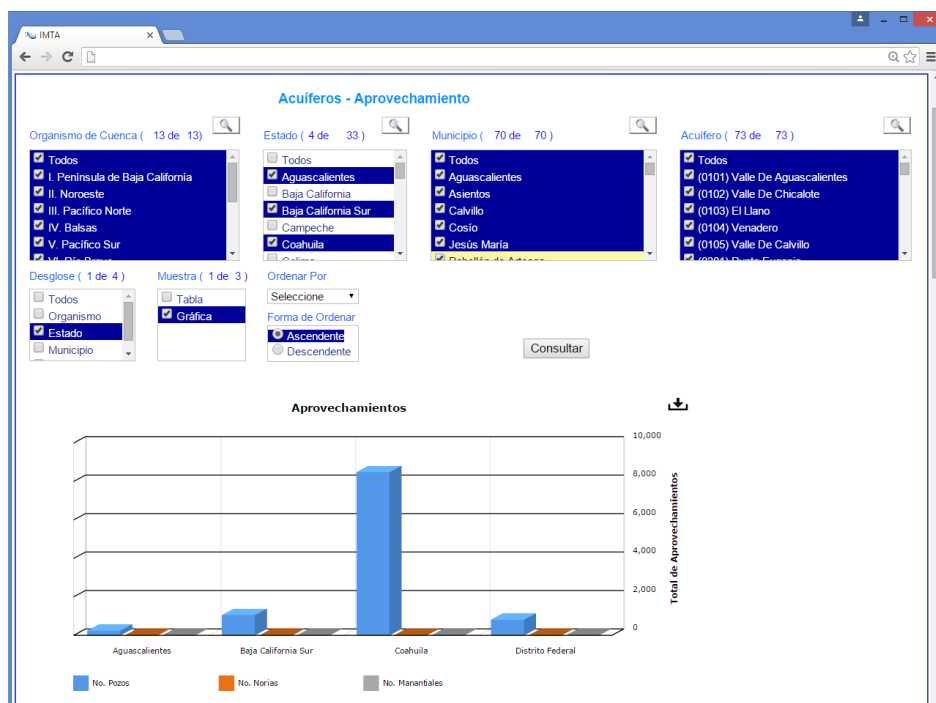


Figura 4.35. Pantalla acuíferos - aprovechamiento (gráfica)

Al ingresar al submenú **“Acuíferos/Usuarios”**, se presenta el número de usuarios que están dados de alta, agrupados por acuífero, municipio, estado y organismo de cuenca. La información se presenta en el cuerpo de la página, donde, aparecen unos listados de selección múltiple (Organismo de cuenca, Estado, Municipio, Acuífero), que servirán para ir filtrando la información de la búsqueda deseada. Estas listas de selección múltiple, son dinámicas y dependientes una de otra, ya que al seleccionar o deseleccionar una opción de la lista, se genera la siguiente. Cuenta con un listado de desglose de información, un listado llamado Muestra (Tabla y Gráfica), que permitirá mostrar los resultados encontrados de la búsqueda y por último, como ordenar la búsqueda.

La información final que se obtiene son **(Total Usuarios, Usuarios Ejidales y Usuarios Pequeños)**, y la agrupación será dependiendo de lo seleccionado en las listas. En la Figura 4.36 se muestra el resultado en un formato tabular.

Organismo de cuenca	Estado	Municipio	Acuífero	Total U.	U.Ejidales	U.Pequeños
III. Pacífico Norte	Durango	Canatlán	1001 Valle De Santiaguillo	0.00	0.00	0.00
III. Pacífico Norte	Durango	Canatlán	1002 Valle De Canatlán	0.00	0.00	0.00
III. Pacífico Norte	Durango	Durango	1002 Valle De Canatlán	0.00	0.00	0.00
III. Pacífico Norte	Durango	Durango	1003 Valle Del Guadiana	0.00	0.00	0.00
III. Pacífico Norte	Durango	Guadalupe Victoria	1005 Madero-Victoria	0.00	0.00	0.00
III. Pacífico Norte	Durango	Mezquital	1017 Valle Del Mezquital	0.00	0.00	0.00
III. Pacífico Norte	Durango	Nombre de Dios	1004 Vicente Guerrero-Poanas	0.00	0.00	0.00
III. Pacífico Norte	Durango	Nuevo Ideal	1001 Valle De Santiaguillo	0.00	0.00	0.00
III. Pacífico Norte	Durango	Pánuco de Coronado	1005 Madero-Victoria	0.00	0.00	0.00
III. Pacífico Norte	Durango	Poanas	1004 Vicente Guerrero-Poanas	0.00	0.00	0.00

Figura 4.36. Pantalla acuífero – usuarios (tabla)

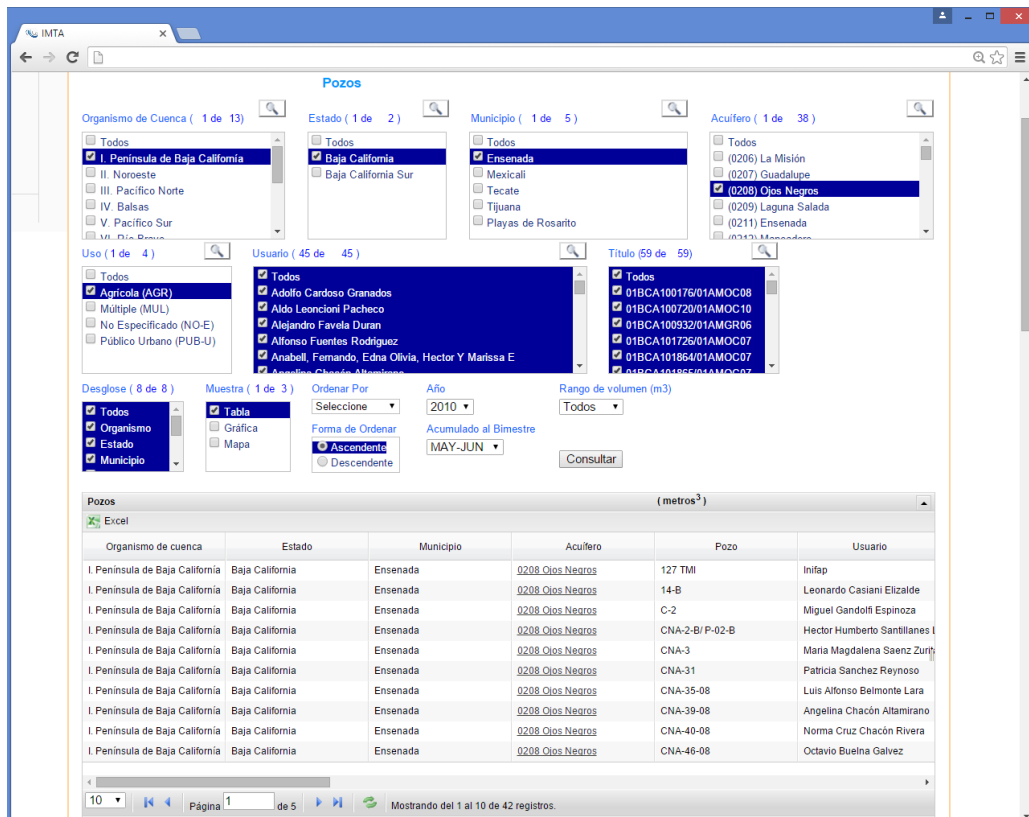
#### 4.3.2.4. Pozos

Esta opción muestra el **submenú Pozos**, que incluye entre sus datos el nombre del pozo, volumen concesionado, coordenadas geográficas, profundidad, nivel dinámico y estático, número

## 4. Resultados

de anexos, título de concesión, diámetro de obra, diámetro de ademe, gasto requerido, gasto máximo, tipo de bomba, tipo de motor, tipo de medidor, volumen utilizado y porcentaje de sobreexplotación. Dicha información puede ser representada en forma de tabla, gráfica y en mapa. Para realizar la consulta, en el sistema aparecen unos listados de selección múltiple (Organismo de cuenca, Estado, Municipio, Acuífero, Uso, Usuario, Título), los cuales servirán para ir filtrando la información de la búsqueda final. Estas listas de selección múltiple, son dinámicas y dependientes una de otra, ya que al seleccionar o deseleccionar una opción de la lista, se genera la siguiente. Cuenta con un listado de desglose de información, también se tiene un listado llamado Muestra (Tabla, Gráfica y Mapa), que permitirá seleccionar la opción de como presentará el sistema los resultados encontrados de la búsqueda. Otro listado es el ordenamiento de como presentar los resultados de la búsqueda, para este módulo se agregan las listas Año, Acumulado al Bimestre y el Rango de volumen. Estas últimas opciones, ayudarán, a filtrar la búsqueda y tener una mejor clasificación de la información.

La información que se obtiene es la **Información general de los pozos**, y la agrupación será dependiendo de lo seleccionado en los listados. Si seleccionó en muestra tabla, en pantalla se verá como la Figura 4.37 .



The screenshot displays the 'Pozos' search results in a table format. The interface includes several filter menus at the top: Organismo de Cuenca (1 de 13), Estado (1 de 2), Municipio (1 de 5), Acuífero (1 de 38), Uso (1 de 4), Usuario (45 de 45), and Título (59 de 59). Below these are options for 'Desglose' (8 de 8), 'Muestra' (1 de 3) with 'Tabla' selected, and 'Ordenar Por' (Seleccione) with 'Ascendente' selected. The 'Rango de volumen (m3)' is set to 'Todos'. A 'Consultar' button is visible. The table below shows the following data:

Organismo de cuenca	Estado	Municipio	Acuífero	Pozo	Usuario
I. Península de Baja California	Baja California	Ensenada	0208 Ojos Negros	127 TMI	Inifap
I. Península de Baja California	Baja California	Ensenada	0208 Ojos Negros	14-B	Leonardo Casiani Elizalde
I. Península de Baja California	Baja California	Ensenada	0208 Ojos Negros	C-2	Miguel Gandolfi Espinoza
I. Península de Baja California	Baja California	Ensenada	0208 Ojos Negros	CNA-2-B/ P-02-B	Hector Humberto Santillanes I
I. Península de Baja California	Baja California	Ensenada	0208 Ojos Negros	CNA-3	Maria Magdalena Saenz Zurth
I. Península de Baja California	Baja California	Ensenada	0208 Ojos Negros	CNA-31	Patricia Sanchez Reynoso
I. Península de Baja California	Baja California	Ensenada	0208 Ojos Negros	CNA-35-08	Luis Alfonso Belmonte Lara
I. Península de Baja California	Baja California	Ensenada	0208 Ojos Negros	CNA-39-08	Angelina Chacón Altamirano
I. Península de Baja California	Baja California	Ensenada	0208 Ojos Negros	CNA-40-08	Norma Cruz Chacón Rivera
I. Península de Baja California	Baja California	Ensenada	0208 Ojos Negros	CNA-46-08	Octavio Buelna Galvez

Figura 4.37. Pantalla pozos – pozos (Tabla)

Si se seleccionó gráfica se mostrará como aparece la Figura 4.38.

## 4. Resultados

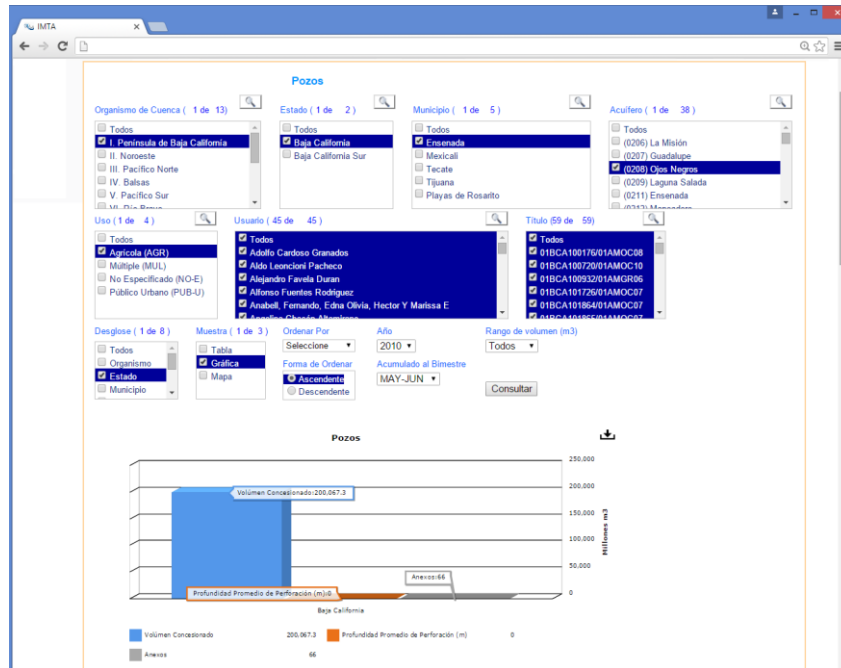


Figura 4.38. Pantalla pozos – pozos (gráfica)

Y si seleccionó mapa se verá como en la Figura 4.39.

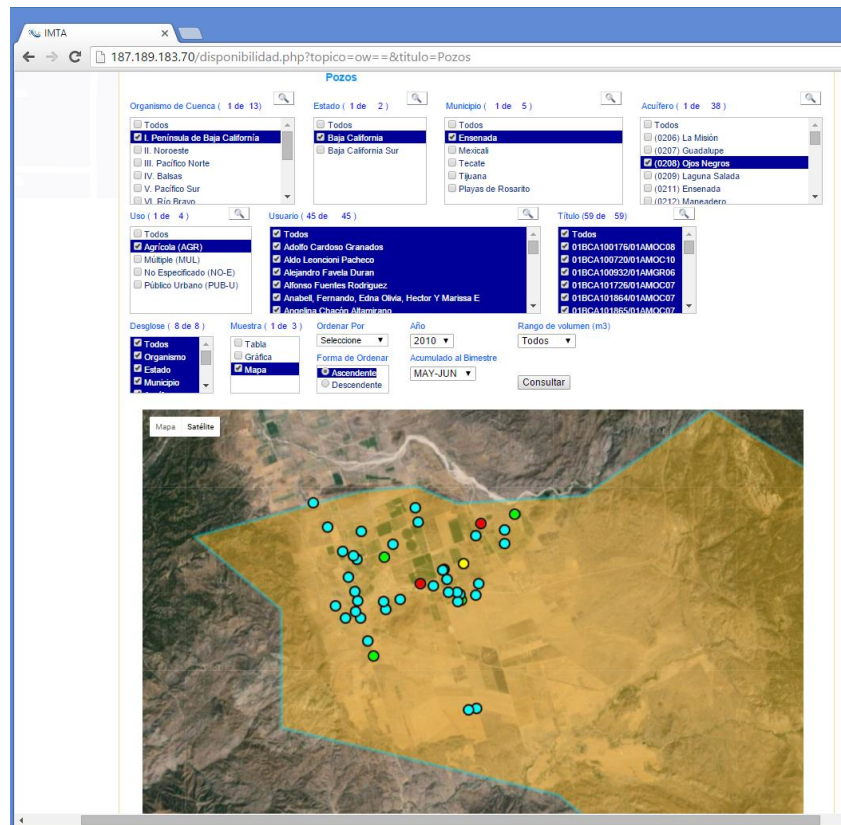


Figura 4.39. Pantalla pozos – pozos (mapa)

#### 4.3.2.5. Administración del sistema

La sección **administración** muestra un submenú con dos opciones llamadas: **Usuarios de Sistema y Captura de Información**.

El submenú **“Administración/Usuario de Sistema”** permite dar mantenimiento a los datos personales de los usuarios y administrar sus roles. Cabe mencionar que estos usuarios son las personas que estarán registradas para poder ingresar y usar el sistema, concepto que no debe confundirse con un usuario de riego.

Las funciones principales del administrador de usuarios son:

- 1) Permitir el ingreso al sistema solo a usuarios registrados.
- 2) Manejo de perfiles de usuarios con la finalidad de que solo pueda ver información según su rol asignado en el sistema.

En la Figura 4.40 se muestra la pantalla para la administración de los usuarios, en dicha pantalla se visualiza una tabla, en la cual tiene un menú con la opción de agregar y cancelar, para realizar modificaciones, dentro de cada uno de los registros de la tabla, se ve un botón que tiene una imagen que representa una hoja y un lápiz, este botón permitirá entrar a un formulario y poder realizar las actualizaciones necesarias. Al lado del botón modificar, se encuentra el botón eliminar, representado por una imagen de un bote de basura.

Adicional a esto, se presenta otro botón para cambiar usuarios y está representado por dos muñequitos dentro de cada registro de la tabla, este tiene la función cuando se requiere cambiar de usuario pero el usuario que se quiere eliminar tiene asignado otros usuarios, por lo cual se podría cambiar de usuario sin afectar a los usuarios de niveles inferiores.

## 4. Resultados

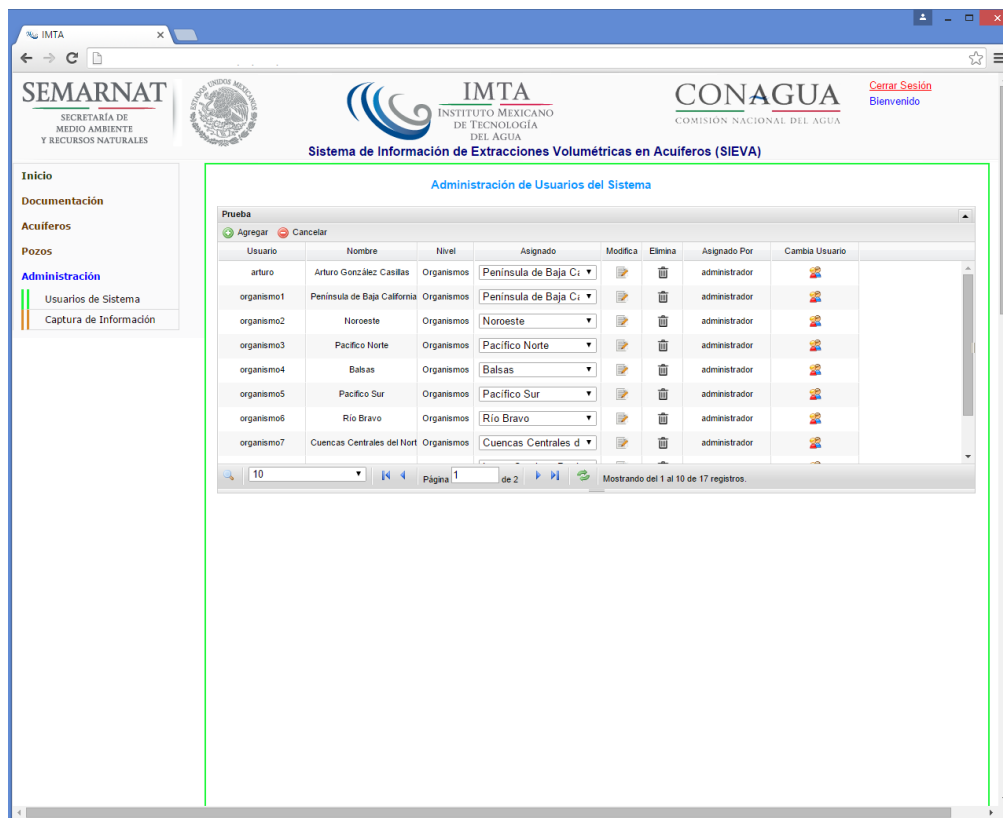


Figura 4.40. Pantalla administración - usuarios del sistema

Al ingresar al submenú **“Administración/Captura de Información”**, permite dar mantenimiento a toda la información de pozos, propietarios, títulos de concesión (REPDA) y el número de servicio RPU. Para poder ingresar se muestran las siguientes opciones de selección (organismo, estado, y acuífero) que sirven para cargar la información en un tabla.

Una vez seleccionado el acuífero, se cargará la información en las tablas que tienen cada una de las pestañas.

En la pestaña RPU es donde se da mantenimiento a los consumos eléctricos por cada pozo, bimestralmente y se actualiza el consumo energético anual. En cada pestaña tiene una tabla, esta tabla tiene un menú en la parte superior el cual cuenta con las opciones de agregar, editar, eliminar y cancelar, ahí basta con seleccionar con el mouse el registro al cual se requiere dar mantenimiento y después pulsar la acción que requiera, para el caso de agregar no es necesario, ya que sería un registro nuevo. En la parte inferior izquierda de la tabla se encuentra una imagen representando una lupa, servirá para realizar búsquedas dentro de la tabla. Como ejemplo, se muestra la pestaña pozo (Figura 4.41).

ID	Clave Pozo	Propietario	Título de Concesión	Volumen Concesionado (	Anexo	Uso	Latitud	Longitud	Número Servicio (RPU)
16376	CNA-C-23	Adobe Guadalupe Jose Manuel Fer	01BCA107802/01AMGR99	54080.0000	1	Agrícola	32.08244249	-116.62121105	010000602171
16314	583	Adobe Guadalupe S. De R. L. De C.	01BCA103082/01MOC08	60090.0000	1	Agrícola	32.08690678	-116.62256414	010980712325
16307	410	Alejandra Maria Cetto Salazar	01BCA101724/01AMGR96	240000.0000	1	Agrícola	32.11920912	-116.47570373	010030205681
16489	CNA-104	Alfonso Guillen	01BCA108323/01PGR00	0.0000		Agrícola	31.99455715	-116.6296098	
16387	P-66	Alfredo	01BCA102301/01AMGR97	12000.0000	1	Múltiple	32.0489624	-116.64699337	
16427	10N	Alfredo Mora Soto	01BCA102650/01PGR97	0.0000		Múltiple	32.03811455	-116.6731908	
16402	113	Amao Manriquez Maria Teresa	01BCA108070/01S0C08	30000.0000	1	Agrícola	32.0976911	-116.62241628	010001003998
16401	112	Amao Manriquez Maria Teresa	01BCA108070/01S0C08	30000.0000	2	Agrícola	32.09754165	-116.62281241	010001003998
16366	CNA-B-6	Anastacio Martinez Cortez	1BCA101428/01AMGR96	120900.0000	1	Agrícola	32.13740699	-116.44529343	010911207732
16371	CNA-B-79	Angelica Maria Cetto Salazar	1BCA100589/01AMGE94	66000.0000	3	Agrícola	32.08231718	-116.58412079	010000204892

Figura 4.41. Pantalla administración – captura de Información – (pestaña Pozos)

### 4.3.3. Comparación del SIEVA y otras aplicaciones

El SIEVA fue comparado en sus características con las aplicaciones SILOG (Sistema de Localización Geográfica) y el Sistema de Información Geográfica de Acuíferos y Cuencas (SIGACUA), ambos a cargo de la Gerencia de Aguas Subterráneas de la CONAGUA. Estos sistemas fueron descritos con detalle en la sección 2.4.2. Entre los puntos que tienen en común estas aplicaciones destacan los siguientes:

- Los tres sistemas ofrecen la consulta por lista de estados, municipios, acuíferos. Sin embargo, SIEVA incluye el nivel organismo de cuenca, el cual no es contemplado por SILOG ni SIGACUA.
- Las tres aplicaciones muestran objetos de interés (estados, municipios, ríos, acuíferos). Sin embargo, ni SILOG ni SIAGACU@ muestran pozos, ni organismos de cuenca. El nivel de detalle en los mapas es mayor en SILOG y SIGACUA que en SIEVA, al mostrar la cuenca y los poblados rurales (no obstante, esto puede ser agregado a SIEVA, pues se tiene disponible dicha capa de información en Google Maps o en su defecto, se podría agregar el KML correspondiente).
- SIEVA y SILOG tienen los documentos PDF de los acuerdos para la estimación de la disponibilidad de agua en los acuíferos. En el caso del SILOG, es el sitio de la CONAGUA el que proporciona la información, y no la aplicación SILOG por sí misma. Esta funcionalidad no está presente en SIGACUA.

La única característica que tienen tanto SILOG como SIGACUA y que no está presente en SIEVA es la búsqueda en el mapa en base a una coordenada. No obstante, dicha funcionalidad podría ser agregada con relativa funcionalidad al SIEVA.



También se pueden destacar aquellos puntos que SIEVA presenta como característica única:

- a) Acumulación de volúmenes concesionados, recargados, extracciones y déficits desde el nivel de acuífero hasta organismo de cuenca. Esta información se presenta en forma tabular y se calculan algunas estadísticas de manera automática, como la suma, el promedio, el valor mínimo y el máximo relativo al nivel y los objetos seleccionados en la consulta.
- b) Consulta de volúmenes concesionados y extraídos de pozos por nombre de usuario o título de concesión. Ni SILOG ni SIGACUA contemplan este nivel en su consulta.
- c) Generación automática de gráficas de la información numérica consultada. SIEVA genera una gráfica agrupando los valores de acuerdo al nivel de consulta.
- d) Determinación del volumen extraído en base al indicador kWh/m<sup>3</sup>. Esta funcionalidad está sujeta a disponibilidad del indicador kWh/ m<sup>3</sup>. De momento se cuenta con la información e 600 pozos. Durante el año 2015, se planea obtener la información de 1000 pozos en Zacatecas.
- e) De momento, SIEVA contempla en su base de datos la estructura para almacenar el número de pozos, norias y manantiales, así como también la cantidad de usuarios clasificados por ejidales, pequeños propietarios. Una vez capturada, esta información podrá ser mostrada acumulada desde el nivel de pozo hasta el nivel de organismo de cuenca.
- f) Control jerárquico de usuarios, considerando niveles desde pozo hasta organismo de cuenca, gerencia nacional y administrador. SIEVA solicita una contraseña de acceso al usuario, y lo identifica. Entre las características del usuario, se encuentra su nivel jerárquico, el cual establece el nivel de información que el usuario puede consultar, así como lo que el usuario puede modificar.

La tabla A2.1 en el Anexo 2 presenta un cuadro comparativo detallado entre las tres aplicaciones.

## 5. Conclusiones

Como primer conclusión, se afirma que, dada a la ejecución del proyecto, hoy en día el IMTA cuenta el SIEVA, una plataforma informática que facilita la ubicación de los acuíferos en una entidad federativa, la cual proporciona la disponibilidad de agua en un acuífero dada la información de estudios de extracción y recarga realizados por la CONAGUA y los volúmenes concesionados. Además, esta plataforma incluye un mecanismo para estimar los volúmenes extraídos mensuales obtenidos de forma indirecta usando los consumos de electricidad y el denominado Índice Energético (kWh/m<sup>3</sup>).

De la obtención de parámetros energéticos de pozos de Zacatecas, se desprende que, en total, se realizó la captura de información de cerca de 1007 expedientes técnicos de unidades de riego beneficiadas por el programa PMTEUR, cada incluyendo el resultado de una prueba electromecánica realizada a la entrega de los equipos modernizados. Esto proporciona un conjunto potencia para la aplicación de la estimación indirecta del volumen extraído. 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. Resultados promedio de esta validación permiten inferir (con reservas), un coeficiente de correlación lineal entre la eficiencia electromecánica y el índice energético de -0.462, un nivel de disminución anual en la eficiencia electromecánica del 1.425%, y un decaimiento en el índice energético del 2.03% (menor costo energético por metro cúbico de agua) por cada 1% de incremento en la eficiencia electromecánica. Una estimación del error del índice energético contemplando la desviación de la potencia activa de la media, indica que el porcentaje de dicha desviación tiene un valor del 5.58%, con una desviación de  $\pm 3.5$ .

Por otro lado, es necesario mencionar que derivado de la información del proyecto, se cuenta actualmente con un artículo publicado en un congreso nacional, el cual está orientado al uso de sistemas de información para apoyar el seguimiento y el control de extracciones en acuíferos. El artículo se incluye en el Anexo 4 de este documento.

Con la información de consumos de energía de 70 pozos, SIEVA pudo determinar que, con un consumo parcial del año 2015 (al mes de septiembre), 15 pozos (21.43%) ya habían excedido su volumen concesionado, con una extracción promedio estimada del 161.18% de dicho volumen. Esta información, así como los mapas geo-referenciados y los porcentajes de sobreexplotación de los acuíferos, permitirán tomar medidas de control en las extracciones, sobre todo en aquellos acuíferos donde la sobreexplotación es superior al 30% del volumen de recarga, así como determinar qué pozos y su ubicación son los que deben disminuir significativamente sus extracciones.

El SIEVA fue comparado en sus características con las aplicaciones SILOG (Sistema de Localización Geográfica) y el Sistema de Información Geográfica de Acuíferos y Cuencas (SIGACUA).

Como se puede observar en la sección 4.3.3, la mayor parte de las coincidencias entre sistemas se da en el manejo gráfico de los resultados de la consulta, ya que los tres sistemas localizan entidades, municipios y acuíferos en el mapa. La principal diferencia en este aspecto es que SIGACUA y SILOG encuentra municipios, acuíferos y otras regiones con base a una coordenada, cuestión que no realiza SIEVA. No obstante, SIEVA se diferencia claramente de las otras aplicaciones al ofrecer una tabla con el resultado cuantitativo de la consulta (además del mapa), ofreciendo la posibilidad al usuario de acumular las cantidades desde el nivel más bajo hasta el más alto. Otro aspecto relevante de SIEVA es la gráfica que ofrece como salida, el cual se construye automáticamente de la información consultada. También, debe considerarse, que de las tres aplicaciones evaluadas, es SIEVA la única que ofrece realizar una estimación del volumen extraído en base al consumo energético y al indicador kWh/m<sup>3</sup>. Esta información, al ser numérica, también puede acumularse desde el nivel de pozo, hasta el nivel de organismo de cuenca. Esta cualidad del sistema le permite realizar una estimación más precisa del volumen extraído, proporcionando una base más sólida y congruente para la toma de decisiones a nivel Federal.

## 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). SEMARNAT. *Estadísticas del Agua en México. Edición 2013*. México. 2014.

Conagua.gob.mx (2015a). Registro Público de Derechos de Agua (REPDA). Recuperado el 10 de noviembre de 2015 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 2015 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 2015, 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](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 2015, 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  $\Phi$  ( $\text{Cos } \theta$ ).

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

## ANEXOS

### Anexo 1. Métodos de aforo para descargas en equipos de bombeo

Para obtener el gasto en equipos de bombeo, se pueden utilizar los siguientes métodos; sin embargo, el método a utilizar depende de la cantidad de caudal, las condiciones bajo las cuales se efectuará la medición y el índice de exactitud que se requiera.

#### A. Método Directo

##### Aforo Volumétrico

Este método consiste en medir directamente el volumen y el tiempo. Por ejemplo llenar un recipiente de volumen conocido y medir el tiempo de llenado, ver figura A1.1. Se realizan tres repeticiones de medición y se promedian los valores. El gasto se obtiene con la fórmula:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde:

Q = Gasto, en l/s.

V = Volumen del recipiente, en l.

t = Tiempo de llenado, en s.



Figura A1.1. Medición de flujo por el método volumétrico.



## B. Métodos Indirectos

### B.1. Método de la escuadra o coordenadas

Para medir el gasto en tubos horizontales es necesario medir una distancia horizontal y una vertical; la primera se mide desde la cúspide del interior del tubo hasta un punto de intersección con la componente vertical, esta última se mide a partir de este punto hasta el punto donde el chorro cae en forma vertical, figura A1.2. Este método de aforo es práctico y rápido, se aplica a tubos horizontales con descarga libre llenos o parcialmente llenos.

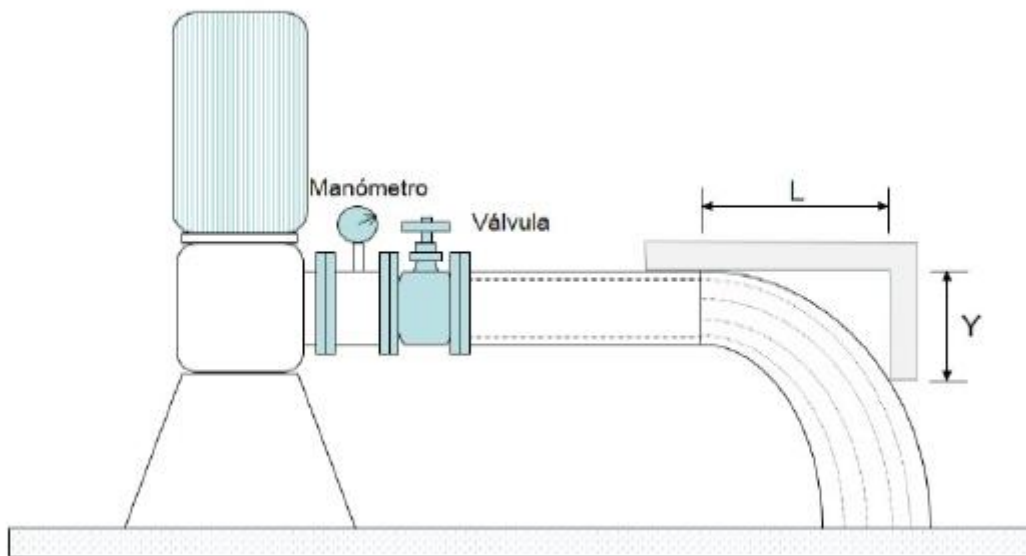


Figura A1.2. Medición de flujo por el método de la escuadra.

El principio en que se basa es el mismo que el del tiro parabólico. La velocidad del chorro de agua que sale de un tubo permanece constante en la dirección horizontal (eje X) y es afectada por la gravedad en la dirección vertical (eje Y), por lo que el chorro describe una trayectoria parabólica en su caída.

Si la velocidad inicial se designa como  $V_0$ . A su componente horizontal se le llama  $V_{0x}$  y a su componente vertical  $V_{0y}$ . La trayectoria del chorro sigue la siguiente ley:

$$X = V_{0x} t$$
$$Y = \frac{gt^2}{2} - V_{0y} t$$

Donde:

$g$  = Aceleración de la gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)

$t$  = Tiempo transcurrido en el viaje de una partícula de agua desde la salida de la tubería, en s.

Así se puede escribir:

$$Y = \frac{g}{2} \left( \frac{X}{V_{ox}} \right)^2 - \frac{V_{oy}}{V_{ox}} X$$

La técnica consiste en fijar  $Y$  que comúnmente es de 30 cm o 1 pie, y con una escuadra medir la distancia al chorro  $X$  en forma horizontal. La velocidad del chorro se puede despejar de la ecuación anterior si, además, se conoce el ángulo de inclinación del tubo en la salida.

Ya que el chorro no sigue exactamente la ley anterior debido a la fricción con el aire y a que la velocidad de salida del tubo no es completamente uniforme, se han tabulado los resultados de mediciones en tablas para utilizarlos en forma práctica.

Este método normalmente se aplica sólo a tubos con descarga horizontal. En la tabla 1, se tiene el gasto en (l/s), para diferentes diámetros de tubería y longitud del chorro.

El gasto de la tabla A1.1 se refiere a un tubo que está descargando completamente lleno. Si el tubo está parcialmente lleno se debe corregir. Para ello debe considerarse el área parcial del chorro dividida por el área del tubo totalmente lleno y multiplicado por el resultado de la tabla. Para facilitar esto se ha tabulado en forma de porcentaje del gasto que pasa por el tubo parcialmente lleno en la tabla 2, donde  $X$  es el tirante a la salida del tubo y  $D$  es el diámetro del tubo.

Longitud del chorro (cm)	Diámetro de la tubería: cm (pulgadas)						
	5.08 (2")	7.62 (3")	10.16 (4")	15.24 (6")	20.32 (8")	25.4 (10")	30.48 (12")
20	1.7	3.7	6.4	14.6	25.3	39.7	56.9
22	1.9	4.1	7.0	16.0	27.8	43.7	62.6
24	2.0	4.5	7.7	17.5	30.3	47.7	68.3
26	2.2	4.8	8.3	19.0	32.8	51.7	73.9
28	2.4	5.2	9.0	20.4	35.4	55.6	79.6
30	2.6	5.6	9.6	21.9	37.9	59.6	85.3
32	2.7	6.0	10.2	23.3	40.4	63.6	91.0
34	2.9	6.3	10.9	24.8	42.9	67.6	96.7
36	3.1	6.7	11.5	26.2	45.5	71.5	102.4
38	3.2	7.0	12.2	27.7	48.8	75.5	108.1
40	3.4	7.4	12.8	29.2	50.5	79.5	113.8
42	3.6	7.8	13.4	30.6	53.0	83.5	119.4
44	3.7	8.2	14.1	32.1	55.6	87.4	125.1
46	3.9	8.6	14.7	33.5	58.1	91.4	130.8
48	4.1	8.9	15.4	35.0	60.6	95.4	136.5
50	4.3	9.3	16.0	36.5	63.2	99.4	142.2
52	4.4	9.7	16.6	37.9	65.7	103.3	147.9
54	4.6	10.0	17.3	39.4	68.2	107.3	153.6
56	4.8	10.4	17.9	40.8	70.7	111.3	159.3
58	4.9	10.8	18.6	42.3	73.3	115.2	165.0
60	5.1	11.2	19.2	43.7	75.8	119.2	170.6
62	5.3	11.5	19.8	45.2	78.3	123.2	176.3
64	5.4	11.9	20.5	46.7	80.8	127.2	182.0
66	5.6	12.3	21.1	48.1	83.4	131.1	187.7
68	5.8	12.6	21.8	49.6	85.9	135.1	193.4
70	6.0	13.0	22.4	51.0	88.4	139.1	199.1
72	6.1	13.4	23.0	52.5	90.9	143.1	204.8
74	6.3	13.8	23.7	53.9	93.5	147.0	210.5
76	6.5	14.1	24.3	55.4	96.0	151.0	216.1
78	6.6	14.5	25.0	56.9	98.5	155.0	221.8
80	6.8	14.9	25.6	58.3	101.0	159.0	227.5
82	7.0	15.3	26.2	59.8	103.6	162.9	233.2
84	7.1	15.6	26.99	61.2	106.1	166.9	238.9
86	7.3	16.0	27.5	62.7	108.6	170.9	244.6
88	7.5	16.4	28.2	64.2	111.1	174.9	250.3
90	7.7	16.7	28.8	65.6	113.7	178.8	256.0
92	7.8	17.1	29.4	67.1	116.2	182.2	261.6
94	8.0	17.5	30.0	68.5	118.7	186.8	267.3
96	8.2	17.9	30.7	70.0	121.2	190.8	273.6
98	8.3	18.2	31.4	71.4	123.8	194.7	278.7
100	8.5	18.6	32.0	72.9	126.3	198.7	284.4

Tabla A1.1. Gasto en litros por segundo a tubo lleno.

X/D	%	X/D	%	X/D	%
0.01	0.169	0.34	29.981	0.67	71.220
0.02	0.477	0.35	31.192	0.68	72.413
0.03	0.874	0.36	32.410	0.69	73.596
0.04	1.342	0.37	33.636	0.70	74.768
0.05	1.869	0.38	34.869	0.71	75.930
0.06	2.450	0.39	36.108	0.72	77.079
0.07	3.077	0.40	37.353	0.73	78.216
0.08	3.748	0.41	38.603	0.74	79.340
0.09	4.458	0.42	39.858	0.75	80.450
0.10	5.204	0.43	41.117	0.76	81.545
0.11	5.985	0.44	42.379	0.77	82.625
0.12	6.797	0.45	43.644	0.78	83.688
0.13	7.639	0.46	44.912	0.79	84.734
0.14	8.509	0.47	46.183	0.80	85.762
0.15	9.406	0.48	47.454	0.81	86.771
0.16	10.328	0.49	48.727	0.82	87.760
<b>0.17</b>	<b>11.273</b>	<b>0.50</b>	<b>50.000</b>	<b>0.83</b>	<b>88.727</b>
<b>0.18</b>	<b>12.240</b>	<b>0.51</b>	<b>51.273</b>	<b>0.84</b>	<b>89.672</b>
0.19	13.229	0.52	52.546	0.85	90.594
0.20	14.238	0.53	53.817	0.86	91.491
0.21	15.266	0.54	55.088	0.87	92.361
0.22	16.312	0.55	56.356	0.88	93.203
0.23	17.375	0.56	57.621	0.89	94.015
0.24	18.455	0.57	58.883	0.90	94.796
0.25	19.550	0.58	60.142	0.91	95.542
0.26	20.660	0.59	61.397	0.92	96.252
0.27	21.784	0.60	62.647	0.93	96.923
0.28	22.921	0.61	63.892	0.94	97.550
0.29	24.070	0.62	65.131	0.95	98.131
0.30	25.232	0.63	66.364	0.96	98.658
0.31	26.404	0.64	67.590	0.97	99.126
0.32	25.787	0.65	68.808	0.98	99.523
0.33	28.780	0.66	70.019	0.99	99.831

Tabla A1.2. Porcentaje de área con respecto a tubo lleno.

## B.2. Métodos de Carga Piezométrica

Otro método indirecto para medir el gasto en pozos, es el que expresa este gasto como una función de la carga piezométrica o tirante.

### B.2.1. Orificio calibrado

Son generalmente circulares y se encuentran dentro del tubo horizontal o en su extremo de descarga. Cuando el orificio se encuentra en el tubo, la descarga no es libre y la carga debe medirse en puntos situados aguas arriba y abajo, respecto al orificio calibrado. Esta carga se mide generalmente con un manómetro. Los tubos de uso más generalizado para el aforo de agua de riego en pozos agrícolas tienen localizado el orificio, circular calibrado, en la descarga del tubo. Permite la medición de gastos desde 3 l/s hasta 130 l/s. El tubo debe estar a nivel y el orificio calibrado debe quedar alejado de codos, válvulas u otros accesorios a una distancia mayor de 122 cm u 8 veces el diámetro de descarga. La relación entre el diámetro del orificio y el del tubo no debe ser menor de 0.50 ni mayor de 0.83. Las dimensiones mínimas de una instalación típica se muestran en la figura A1.3.

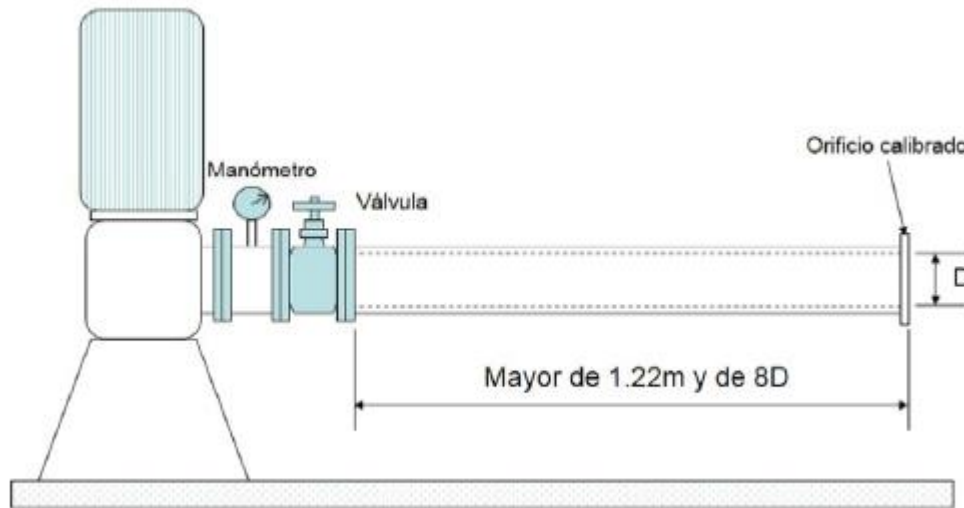


Figura A1.3. Medición de flujo mediante orificio calibrado.

El gasto a través del orificio se obtiene con la fórmula:

$$Q = \frac{CA\sqrt{2gh}}{1000}$$

Donde:

Q = Gasto, en l/s.

C = Coeficiente de descarga.

A = Área del orificio, en cm<sup>2</sup>.

g = Aceleración de la gravedad (981 cm/s<sup>2</sup>)

h = Carga sobre el orificio, en cm

El coeficiente de descarga (C) depende de la relación (R), que resulta del cociente de los diámetros de orificio y del tubo, así como de otros factores que afectan el gasto en orificios. El valor del coeficiente (C) puede obtenerse de la figura A1.4.

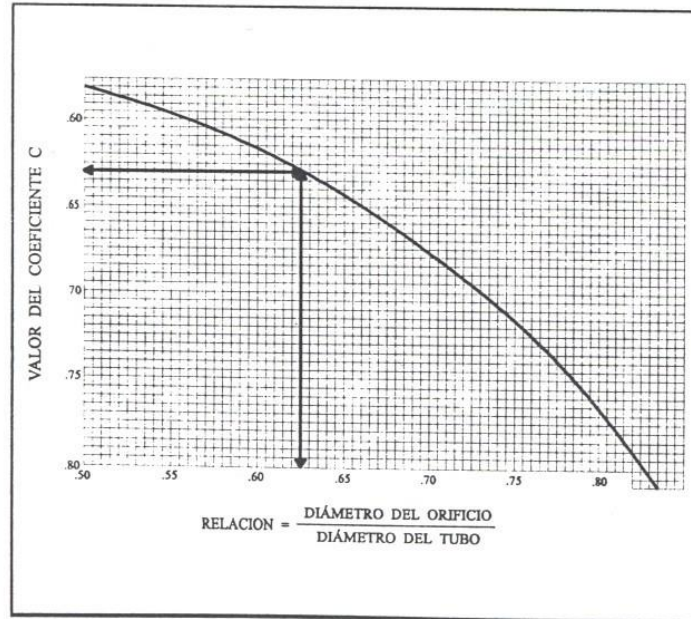


Figura A1.4. Coeficiente de descarga para mamparas.

### B.2.2. Tubo Venturi

El medidor venturi mide el gasto en tuberías con flujo bajo presión. Su principio consiste en aumentar la velocidad del flujo reduciendo el área de paso, lo que provoca una reducción en la carga de presión. Las secciones de paso a través del venturi son conocidas y el flujo es determinado por la caída de presión.

El medidor venturi es uno de los dispositivos más precisos para medir el gasto en tuberías y tiene la desventaja de tener un costo elevado. Causa una muy baja pérdida de carga y, con las precauciones debidas, se puede usar para líquidos con determinadas concentraciones de sólidos. El tubo venturi se compone de tres secciones, como se muestra en la figura A1.5:

1. Entrada
2. Garganta
3. Salida

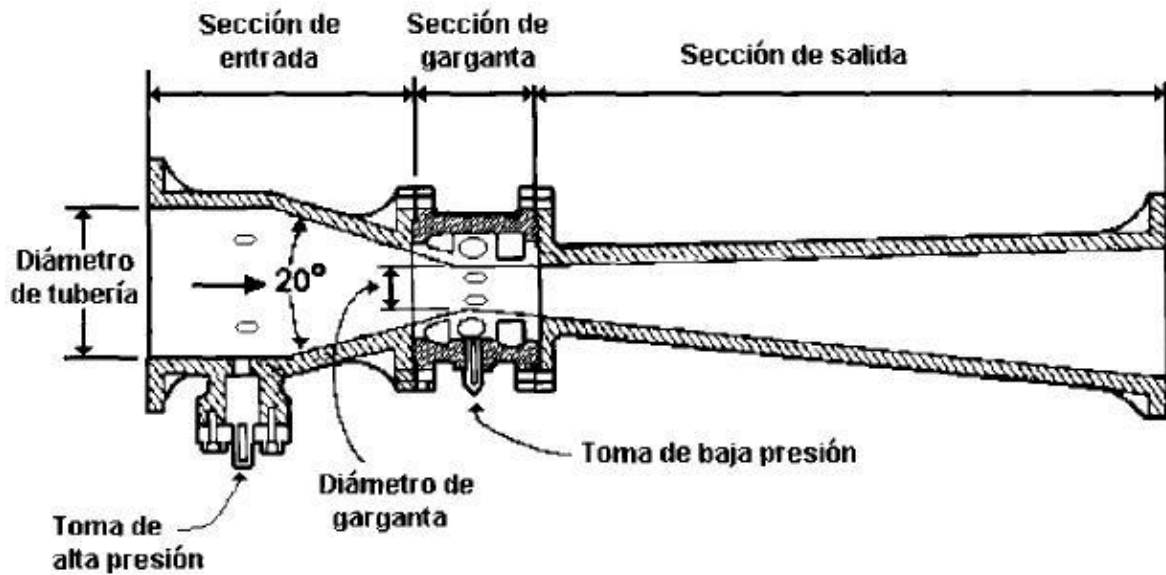


Figura A1.5. Sección transversal de un tubo venturi.

La sección de entrada tiene un diámetro inicial igual al diámetro de la tubería y una sección cónica convergente que termina con un diámetro igual al de la garganta: la salida consiste en una sección cónica divergente que concluye con el diámetro de la tubería, figura A1.6.

Bajo condiciones ideales un venturi puede tener un error del  $\pm 0.5\%$  de la lectura, pero comúnmente los errores alcanzan valores del  $\pm 1.0$  o  $2.0\%$ .

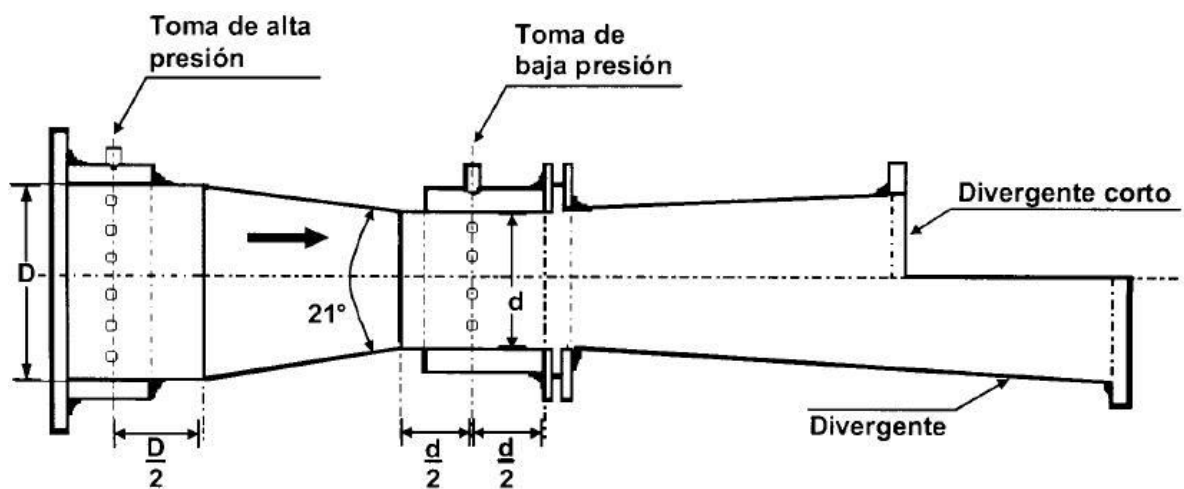


Figura A1.6. Dimensiones constructivas para el tubo medidor venturi.

El gasto se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$Q = CKd_2^2\sqrt{h_1 - h_2}$$

Donde:

Q = Gasto, en m<sup>3</sup>/s.

C = Coeficiente empírico de descarga que puede ser tomado de la tabla A1.3.

D<sub>1</sub> = Diámetro de la entrada, en m.

d<sub>2</sub> = Diámetro de la garganta, en m.

h<sub>1</sub> = Carga de presión antes de la garganta, en m.

h<sub>2</sub> = Carga de presión en la garganta, en m.

K = Factor que corresponde a la relación de diámetros de entrada y garganta. Se calcula como:

$$K = \frac{\pi}{4} \sqrt{\frac{2g}{1 - \left(\frac{d_2}{D_1}\right)^4}}$$

Tabla A1.3. Coeficientes de descarga para medidores Venturi.

DIÁMETRO DE LA GARGANTA (CM)	VELOCIDAD EN LA GARGANTA (M/S)								
	0.9	1.2	1.5	3.0	4.5	6	9	12	15
2.5	0.935	0.945	0.949	0.958	0.963	0.966	0.969	0.970	0.972
5	0.939	0.948	0.953	0.965	0.970	0.973	0.974	0.975	0.977
10	0.943	0.952	0.957	0.970	0.975	0.977	0.978	0.979	0.980
15	0.948	0.957	0.962	0.974	0.978	0.980	0.981	0.982	0.983
20	0.955	0.962	0.967	0.978	0.981	0.982	0.983	0.984	0.985

### B.3. Métodos de área-velocidad

En este método se utiliza el principio de continuidad a través de la ecuación para flujo incompresible  $Q = A \times V = \text{constante}$ .

El área hidráulica perpendicular al flujo es sencilla de obtener en un conducto circular a presión, midiendo su diámetro, d, y calculando con:



$$A = \pi \left( \frac{d^2}{4} \right)$$

### B.3.1. Medidores de propela o hélice.

Este tipo de medidor consiste de un propulsor cónico conectado a un registrador de carga mediante una serie de engranes. La hélice queda suspendida frente al centro del flujo. La velocidad de la hélice (rpm) es proporcional a la velocidad del flujo en la tubería y como el área de la sección transversal del tubo es conocida, entonces se conoce el gasto medio. Se puede emplear en tuberías desde 10 cm hasta 183 cm (desde 4" hasta 72"). El medidor registra el gasto instantáneo o el volumen total; cuando esto último ocurre se conoce como medidor volumétrico totalizador, Figura A1.7.

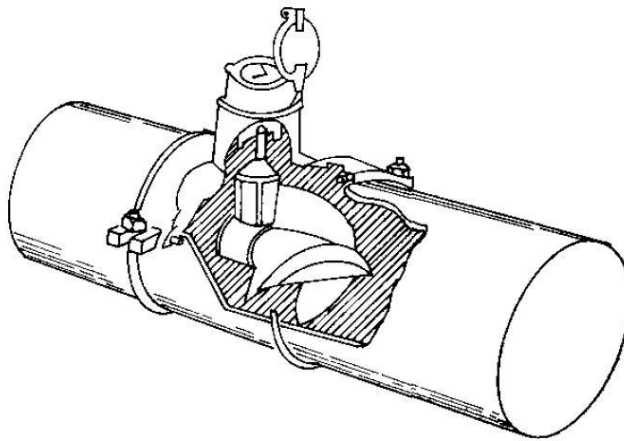


Figura A1.7. Medición de flujo de hélice.

### B.3.2. Tubo Pitot

Es un instrumento para la medición del caudal a través de la cuantificación de la velocidad del flujo aplicando la ecuación de continuidad. La distribución de la carga de velocidad en la tubería no es uniforme y para obtener una exactitud aceptable es recomendable medir múltiples puntos en la sección transversal de la tubería. Es un medidor indirecto de caudal, y puede utilizarse tanto en conductos libres como a presión. Las dimensiones mínimas de una instalación de este tipo se muestran en la figura A1.8.

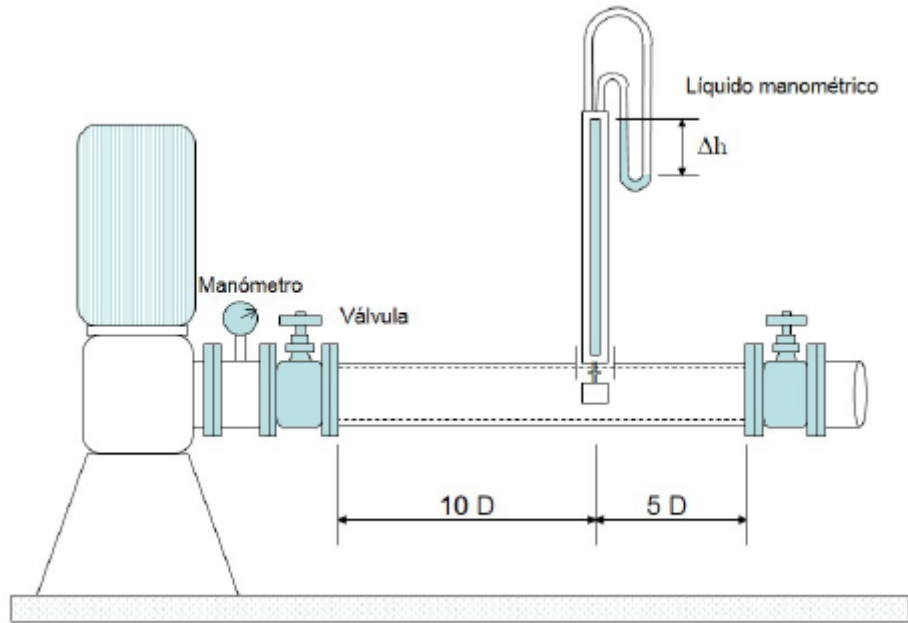


Figura A1.8. Medición de flujo mediante tubo Pitot.

En el extremo inferior, el tubo Pitot tiene dos pequeños tubos en forma de gancho que están orientados a 180 grados uno del otro, los cuales se colocan uno a favor del flujo y el otro en contra de él. Estos pequeños orificios cumplen la función de medir por un lado la carga de presión más la carga de velocidad que es la energía de impacto, equivalente a la cantidad de movimiento del fluido dentro de la tubería, que viene siendo  $\left(\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g}\right)$  y por el otro registra solamente la carga de presión  $\left(\frac{P_2}{\gamma}\right)$  del flujo en el tubo, debido a que la  $V_2 = 0$ , como se muestra en la figura A1.9.

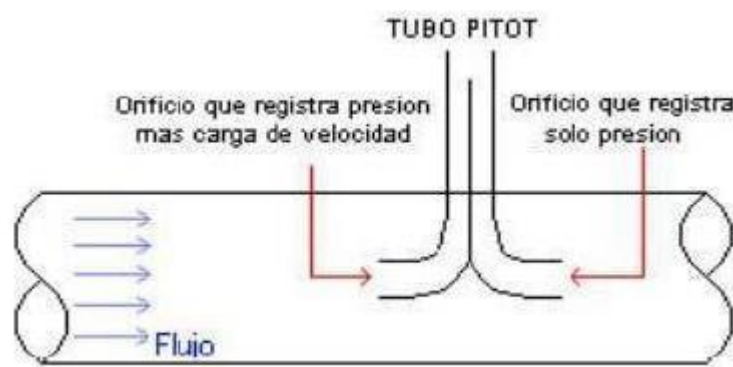


Figura A1.9. Detalle de orificios por los cuales entra el flujo.

De la diferencia aritmética de estos dos registros se obtiene la energía de velocidad, expresada en metros columna del líquido empleado en el manómetro "U", que es donde se determina la

diferencial de presión "h"; por lo que la velocidad queda expresada en función de esta "h" y relacionada de la siguiente forma:

$$v = C\sqrt{2gh}$$

Donde:

v = velocidad del fluido, en m/s

C = Constante de calibración del elemento primario, sin dimensiones.

g = Aceleración de la gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)

h = Altura de la columna del líquido, en m

El gasto se obtiene con la fórmula:

$$Q = Av$$

$$Q = AC\sqrt{2gh}$$

Donde:

Q = Gasto, en m<sup>3</sup>/s.

A = Área transversal del orificio, en m<sup>2</sup>.

C = Constante de calibración del elemento primario, sin dimensiones.

g = Aceleración de la gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)

h = Carga dinámica usualmente llamada "diferencial de presión", en m.

### B.3.3. Equipos electromagnéticos

Consta de dos bobinas colocadas una a cada lado del cuerpo del aparato, que son excitadas por una corriente alterna, con lo que se produce un campo magnético uniforme a través de la parte interna del tubo; conforme pasa el flujo de agua por dicho campo magnético, se genera una inducción de voltaje que es percibida por dos electrodos diametralmente opuestos. El cambio de voltaje se relaciona con la velocidad del escurrimiento. El medidor es de acero inoxidable o aluminio, recubierto de neopreno, plástico o cerámica. Prácticamente no provoca pérdida de carga piezométrica, tiene mucha exactitud, pero alto costo de adquisición. La precisión cuando se miden flujos rápidos (relativos a la capacidad del medidor) es buena, pero, en los flujos lentos es baja, figura 10.

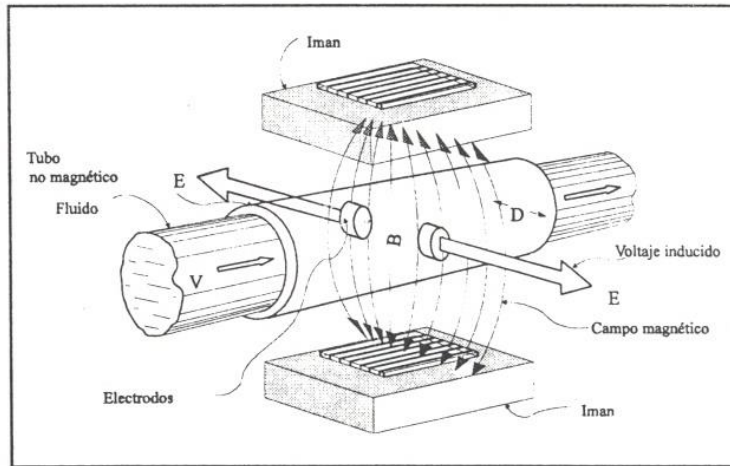


Figura A1.10. Medidor electromagnético.

#### B.3.4. Aparatos ultrasónicos

Se componen de sensores que envían y reciben señales de sonido de alta frecuencia, diagonalmente al flujo de 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 de instalación.

Los de onda de ida y regreso, se mide la velocidad en dirección del flujo y en su contra, entre dos puntos (electrodos) que están a una distancia dada; la diferencia de estas velocidades será la velocidad del agua.

El efecto dopler consiste en el "corrimiento" de la frecuencia por el desplazamiento. Esto se puede ejemplificar en una sirena, cuyo sonido, al acercarse es más agudo de lo que en realidad emite, y cuando se aleja se vuelve más grave. Este corrimiento o desplazamiento de la frecuencia es proporcional a la velocidad del fluido. Figura A1.11.

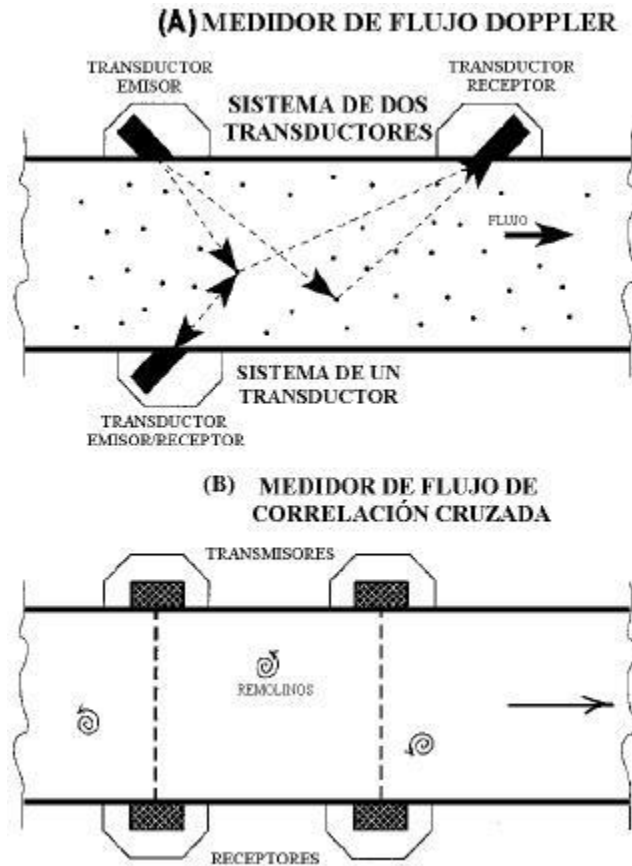


Figura A1.11. Colocación de transductores acústicos de efecto Doppler.

Los medidores de onda de ida y regreso son más adecuados para medir agua limpia, sin aire, ni fuertes turbulencias, debido a que estos facilitan la captación de la señal ultrasónica de un electrodo al otro. Los medidores de efecto doppler son más adecuados para medir aguas turbias o con inclusión de aire, debido a que se necesita que la señal rebote en estas partículas para ser medida. La precisión de este tipo de aparatos, bajo condiciones óptimas, es de alrededor de 1%.

## Anexo 2. Tabla comparativa de SIEVA y otros sistemas

**Tabla A2.1.** Tabla comparativa entre sistemas SIEVA, SILOG y SIGACUA

Características	SIEVA	SILOG	SIGACUA	Comentarios
Consulta por lista de organismos de cuenca, estados, municipios, acuíferos	√	√*	√*	* No para organismos de cuenca
Acumula volúmenes: concesionados, recargados, extracciones y déficits desde el nivel de acuífero hasta organismo de cuenca.	√			
Cálculo automático de totales (sumas, promedios).	√			
Muestra los objetos de interés (estados, municipios, acuíferos, ríos, pozos) en un mapa.	√**	√*	√*	* No incluyen pozos. Su mapa es más detallado que el de SIEVA.  ** Muestra organismos de cuenca.
Consulta de volúmenes concesionados y extraídos de pozos por usuario, título de concesión.	√			
Generación automática de gráficas de los resultados de la consulta.	√			
Consulta de documentos de disponibilidad de agua en acuíferos especificando organismo de cuenca, estado y acuífero	√	√*		* No es el SILOG, si no el sitio CONAGUA
Determina volumen extraído en pozos en base al indicador kWh/m3.	√			
Consulta del número de pozos, norias y manantiales, está organizada por organismo de cuenca, estado, municipio, acuífero.	√			
Consulta de cantidad de usuarios clasificados por ejidales, pequeños propietarios por organismo de cuenca, estado, municipio, acuífero.	√			
Control jerárquico de usuarios, considerando niveles desde pozo hasta	√			

organismo de cuenca, gerencia nacional y administrador.				
Ubicación de estados, municipios y acuíferos en base a una coordenada (en forma de grados sexagesimales o decimales).		√		
Muestra la disponibilidad y el nombre de la zona, al dar clic en el mapa.	√	√	√	
Muestra la disponibilidad, la recarga y el déficit por acuífero, seleccionando el estado correspondiente.	√	√*	√	* No es el SILOG, si es el sitio CONAGUA
Muestra los documentos pdf de los acuerdos para la estimación de la disponibilidad de agua en los acuíferos.		√*		* No es el SILOG, es el sitio CONAGUA
Muestra los documentos pdf para la disponibilidad de agua en los acuíferos (Gerencia de aguas subterráneas, 2007-2009).	√	√*		* No es el SILOG, es el sitio CONAGUA
Muestra un prontuario (resumen) de datos numéricos de los acuíferos (dos páginas).		√*		* No es el SILOG, es el sitio CONAGUA
Muestra un documento con la metodología para clasificar acuíferos.		√*		* No es el SILOG, es el sitio CONAGUA
Ubicación geográfica de la fuente de extracción por coordenadas.		√	√	
Localización por medio del domicilio del aprovechamiento.			√	
Proporciona información a nivel de cuenca (número de región hidrológica, zona disponibilidad, oferta y demanda de agua, escurrimiento, extracciones, disponibilidad relativa).			√	
Proporciona información a nivel de acuífero (clave acuífero, clave organismo, disponibilidad media, recarga, índice disponibilidad).	√	√*	√	* Sólo volumen disponible

### Anexo 3. Pozos seleccionados para las pruebas de eficiencia electromecánica

Tabla A3.1. Listado con resultados de la ejecución de pruebas de eficiencia electromecánica a 80 pozos del estado de Zacatecas.

#	Folio	Año	Acuífero	Título de concesión	Profundidad del pozo (m)	Diámetro tubería de succión (pulg)	Gasto (m <sup>3</sup> /s)	Eficiencia electromecánica (%)	Índice energético (kWh/m <sup>3</sup> )
1	2013-132	2013	Aguanaval	07ZAC104945/ 36AMDL07	80	4	0.0162	49.70	0.45
2	2013-486	2013	Calera	07ZAC106044/ 37AMDL13	112	6	0.0266	54.26	0.51
3	2013-201	2013	Calera	07ZAC118599/ 37AMGE06	200	6	0.0363	52.79	0.67
4	2013-165	2013	Calera	07ZAC117144/ 37AMDL08	220	6	0.0410	53.54	0.60
5	2013-487	2013	Calera	07ZAC121563/ 37AMDL12	220	4	0.0085	42.86	0.94
6	2013-86	2013	Calera	07ZAC102773/ 37AMDL11	150	4	0.0153	55.75	0.48
7	2013-421	2013	Calera	3ZAC101624/ 37AMGE98	180	4	0.0173	58.61	0.61
8	2013-84	2013	Calera	07ZAC104133/ 37AMDL12	150	4	0.0216	56.85	0.35
9	2013-516	2013	Calera	07ZAC101591/ 37AMGE06	200	4	0.0156	53.21	0.69
10	2013-143	2013	Chupaderos	07ZAC118997/ 37AMDL10	140	4	0.0114	48.57	0.62
11	2013-397	2013	Chupaderos	07ZAC113141/ 37AMDL08	180	6	0.0262	41.89	0.76
12	2013-174	2013	Chupaderos	07ZAC106406/ 37AMDA07	150	6	0.0172	46.61	0.81
13	2013-270	2013	Chupaderos	07ZAC104248/ 37AMDL07	178	4	0.0146	56.15	0.80
14	2013-68	2013	Chupaderos	07ZAC104213/ 37AMGE06	230	6	0.0224	58.24	0.80
15	2013-555	2013	Chupaderos	07ZAC102118/ 37AMGE06	200	4	0.0128	43.92	1.09
16	2013-210	2013	La Blanca	07ZAC113796/ 37AMGE00	250	4	0.0145	62.89	0.79
17	2013-519	2013	La Blanca	07ZAC102415/ 37AMGE98	80	4	0.0036	38.60	0.43



18	2013-479	2013	La Blanca	07ZAC118858/ 37AMGE02	210	4	0.0101	42.00	1.29
19	2013-316	2013	Loreto	2ZAC100735/ 12AMGR94	146	4	0.0134	39.52	0.89
20	2013-376	2013	Loreto	07ZAC106116/ 37AMDL07	150	4	0.0080	46.95	0.72
21	2013-44	2013	Loreto	07ZAC101158/ 37AMGE05	252	6	0.0234	50.16	0.71
22	2013-75	2013	Loreto	07ZAC115388/ 37AMGE99	130	6	0.0200	41.24	0.55
23	2013-559	2013	Loreto	07ZAC118437/ 12AMGE01	200	4	0.0102	42.73	0.86
24	2013-52	2013	Loreto	07ZAC112805/ 37AMDL12	230	4	0.0205	66.65	0.70
25	2013-297	2013	Loreto	07ZAC101639/ 37AMDL08	128	4	0.0168	45.64	0.50
26	2013-503	2013	Loreto	07ZAC112669/ 37AMGE98	250	6	0.0248	48.92	0.81
27	2013-74	2013	Loreto	3ZAC104118/ 37AMGR96	150	4	0.0042	30.64	1.09
28	2013-142	2013	Loreto	08ZAC116441/ 37AMGE99	145	6	0.0307	43.16	0.66
29	2013-251	2013	Loreto	07ZAC116134/ 37AMGE99	180	6	0.0141	54.66	0.77
30	2014-580	2014	Calera	07ZAC102363/ 37AMGE06	128	4	0.0168	51.05	0.51
31	2014-383	2014	Calera	07ZAC118763/ 37AMGE02	200	8	0.0313	52.67	0.69
32	2014-496	2014	Calera	03ZAC102232/ 37AMGE98	80	4	0.0178	46.58	0.38
33	2014-311	2014	Calera	07ZAC101855/ 37AMGE06	110	4	0.0117	52.67	0.58
34	2014-477	2014	Calera	07ZAC119382/ 37AMGE06	106	4	0.0089	42.28	0.69
35	2014-121	2014	Calera	07ZAC111204/ 37AMGE03	180	4	0.0098	41.52	1.09
36	2014-312	2014	Calera	07ZAC106235/ 37AMDL07	115	6	0.0170	46.95	0.66
37	2014-309	2014	Calera	07ZAC101086/ 27AMDL09	200	6	0.0334	62.82	0.49
38	2014-278	2014	Calera	07ZAC100709/ 37AMDL09	140	6	0.0228	49.95	0.65
39	2014-308	2014	Calera	07ZAC113929/ 37AMGE98	140	6	0.0239	57.76	0.51

40	2014-310	2014	Calera	07ZAC103738/ 37AMGE06	130	6	0.0234	47.90	0.57
41	2014-605	2014	Calera	07ZAC116848/ 37AMGE99	160	6	0.0216	44.86	0.69
42	2014-418	2014	Calera	07ZAC114671/ 37AMGE99	230	4	0.0096	45.55	1.10
43	2014-485	2014	Calera	07ZAC103669/ 27AMGE06	100	4	0.0171	55.69	0.32
44	2014-407	2014	Calera	07ZAC114673/ 37AMDL13	178	4	0.0095	49.96	0.97
45	2014-598	2014	Calera	07ZAC102650/ 37AMDL08	180	4	0.0099	45.88	0.80
46	2014-361	2014	Chupaderos	07ZAC118254/ 37AMDL08	110	6	0.0277	53.17	0.84
47	2014-581	2014	Chupaderos	07ZAC103425/ 37AMDL13	174.7	6	0.0221	42.51	1.11
48	2014-553	2014	Chupaderos	07ZAC113316/ 37AMDL11	140	4	0.0037	37.21	0.97
49	2014-394	2014	Chupaderos	07ZAC116063/ 37AMGE05	180	6	0.0111	38.99	0.88
50	2014-252	2014	Chupaderos	07ZAC104241/ 37AMGE06	75	4	0.0193	50.34	0.36
51	2014-388	2014	Chupaderos	3ZAC108549/ 37AMGR97	150	4	0.0081	48.42	0.70
52	2014-603	2014	Chupaderos	07ZAC115775/ 37AMGE99	200	4	0.0110	49.90	0.95
53	2014-75	2014	Chupaderos	07ZAC102360/ 37AMDL07	140	4	0.0100	49.21	0.75
54	2014-249	2014	Chupaderos	07ZAC152237/ 37AMDL12	200	4	0.0148	51.73	0.98
55	2015-108	2015	Calera	07ZAC116057/ 37AMGE03	180	4	0.0150	52.71	0.68
56	2015-110	2015	Calera	07ZAC117903/ 37AMDL13	105	4	0.0174	48.69	0.50
57	2015-57	2015	Calera	07ZAC103273/ 37AMGE05	120	4	0.0120	53.46	0.43
58	2015-7	2015	Calera	07ZAC106319/ 37AMDA07	200	4	0.0123	36.66	1.15
59	2015-47	2015	Calera	07ZAC102625/ 37AMGE06	125	4	0.0151	60.29	0.39
60	2015-71	2015	Calera	07ZAC111186/ 37AMDL12	200	4	0.0095	46.32	0.55
61	2015-38	2015	Calera	07ZAC106404/ 37AMDA07	200	4	0.0185	50.04	0.70

<b>62</b>	<b>2015-6</b>	2015	Calera	07ZAC118197/ 37AMGE01	200	6	0.0235	50.00	0.79
<b>63</b>	<b>2015-103</b>	2015	Chupaderos	07ZAC101497/ 37AMDL08	80	4	0.0130	47.18	0.23
<b>64</b>	<b>2015-111</b>	2015	Chupaderos	07ZAC114372/ 37AMDL13	100	4	0.0070	36.17	0.62
<b>65</b>	<b>2015-50</b>	2015	Chupaderos	07ZAC119222/ 37AMGE03	150	6	0.0132	41.99	0.64
<b>66</b>	<b>2015-70</b>	2015	Chupaderos	07ZAC104173/ 37AMDL07	180	6	0.0239	54.87	0.54
<b>67</b>	<b>2015-94</b>	2015	Chupaderos	07ZAC108551/ 37AMDL07	200	6	0.0233	50.54	0.68
<b>68</b>	<b>2015-68</b>	2015	Chupaderos	07ZAC104408/ 37AMGE06	200	4	0.0085	39.49	1.13
<b>69</b>	<b>2015-20</b>	2015	La Blanca	07ZAC103799/ 37AMGL11	125	4	0.0136	59.15	0.52
<b>70</b>	<b>2015-85</b>	2015	La Blanca	3ZAC102123/ 37AMGE98	200	4	0.0141	60.52	0.56
<b>71</b>	<b>2015-62</b>	2015	La Blanca	08ZAC120801/ AMDL09	160	6	0.0291	55.50	0.59
<b>72</b>	<b>2015-87</b>	2015	Loreto	07ZAC104222/ 37AMGE06	150	4	0.0111	46.97	0.68
<b>73</b>	<b>2015-58</b>	2015	Loreto	07ZAC113082/ 37AMGE98	200	6	0.0217	49.25	0.78
<b>74</b>	<b>2015-2</b>	2015	Loreto	07ZAC119668/ 37AMGE05	230	6	0.0242	47.34	0.72
<b>75</b>	<b>2015-66</b>	2015	Loreto	07ZAC103916/ 37AMGE06	135	6	0.0160	52.25	0.58
<b>76</b>	<b>2015-88</b>	2015	Loreto	08ZAC117434/ 37AMDL11	250	4	0.0163	45.38	0.81
<b>77</b>	<b>2015-90</b>	2015	Ojocaliente	08ZAC101656/ 12AMDL09	250	4	0.0183	50.07	0.85
<b>78</b>	<b>2015-17</b>	2015	Ojocaliente	08ZAC104903/ 12AMGE06	145	4	0.0110	47.25	0.80
<b>79</b>	<b>2015-74</b>	2015	Ojocaliente	08ZAC118115/ 12AMGE01	200	8	0.0457	63.06	0.56
<b>80</b>	<b>2015-97</b>	2015	Ojocaliente	08ZAC117486/ 12AMGE05	150	6	0.0335	63.66	0.61

## Anexo 4. Artículo congreso



Artículo: COMEII-15002

### I CONGRESO NACIONAL COMEII 2015

#### Reunión anual de riego y drenaje

Jiutepec, Morelos, México, 23 y 24 de noviembre

#### SISTEMA DE INFORMACIÓN DE EXTRACCIONES VOLUMÉTRICAS EN ACUÍFEROS (SIEVA)

**Alberto González-Sánchez<sup>1</sup>; Arturo González-Casillas<sup>1</sup>; José Miguel Rosales-Rodríguez<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Investigadores del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Paseo Cuauhnahuac No. 8532 Col. Progreso C.P. 62550. Jiutepec, Morelos, México. Tel: (777) 3293600 ext. 620.

<sup>2</sup> Estudiante de Posgrado, Universidad Politécnica del Estado de Morelos (UPEMOR). Paseo Cuauhnahuac No. 566, Col. Lomas del Texcal. Jiutepec, Morelos, México.

\*[alberto\\_gonzalez@tlaloc.imta.mx](mailto:alberto_gonzalez@tlaloc.imta.mx); [arturo\\_gonzalez@tlaloc.imta.mx](mailto:arturo_gonzalez@tlaloc.imta.mx); [ingimrosales@gmail.com](mailto:ingimrosales@gmail.com)

#### Resumen

El aprovechamiento sustentable de los acuíferos es de vital importancia en México, pues éstos proveen el 38% del volumen utilizado para usos consuntivos. Lamentablemente, hoy en día, 106 de los 653 acuíferos están sobreexplotados. En este contexto, el Gobierno Federal a través de la CONAGUA ha emprendido diversas acciones para el monitoreo y control de las extracciones, tales como la elaboración de estudios de disponibilidad y el equipamiento masivo de medidores volumétricos. No obstante, la información del volumen disponible tarda en ser actualizada, y suele presentarse por acuífero, sin ningún tipo de agrupamiento que facilite su interpretación. Por otro lado, los medidores instalados a la fecha, así como el personal disponible para las lecturas, resultan insuficientes. Dada esta problemática, el IMTA desarrolla actualmente el Sistema de Información de Extracciones Volumétricas en Acuíferos (SIEVA), el cual integra las bases de datos de los volúmenes disponibles y concesionados de los acuíferos de todo el país, agrupando totales por organismo de cuenca, entidad federativa y municipio, mostrando la información en mapas georreferenciados. SIEVA incorpora la estimación indirecta del volumen extraído a nivel de pozo usando la relación  $m^3/kWh$ , con el fin de comparar las extracciones contra el volumen concesionado. SIEVA es un proyecto aún en desarrollo, pero se estima que puede llegar a ser una herramienta de apoyo para la toma de decisiones en materia de políticas de operación de acuíferos de México, ya que permitirá establecer medidas de control en las extracciones, sobre todo en aquellos acuíferos con un alto grado de sobreexplotación.

**Palabras clave:** Pozos, Aprovechamiento subterráneo, Índice energético.



## Introducción

Los acuíferos en México aportan cada año el 35% del agua utilizada en la agricultura, y un 12% del agua utilizada para otros usos consuntivos (CONAGUA-SEMARNAT, 2014), por lo que su aprovechamiento óptimo y sustentable resulta de vital importancia. Lamentablemente, se estima que una cantidad de 106 acuíferos de un total de 653 se encuentran en algún nivel de sobreexplotación, al exceder el volumen de extracciones al volumen del agua en la recarga. En la última década, diversas medidas y políticas a nivel nacional se han desarrollado para controlar y monitorear 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 o gerencial. Por otro lado, no obstante la existencia de información estimada a nivel de acuífero, la cantidad de extracciones a nivel de pozo son casi desconocidas. Pese a que en los últimos años la CONAGUA ha puesto en marcha un programa intensivo para la instalación de medidores volumétricos en acuíferos, se estima que cuando mucho se han instalado cerca del 10% de los medidores requeridos (González et al., 2014). A esta situación se le añade la falta de personal para realizar la captura de las lecturas, así como de interés por parte del productor para instalar y dar mantenimiento al equipo.

Dada esta problemática, se requiere la creación de nuevas herramientas informáticas que faciliten la consulta del volumen disponible en los acuíferos, considerando también la estimación del volumen extraído a nivel de pozo. Por tal razón, durante el año 2015 el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) emprendió el desarrollo del Sistema de Información de Extracciones Volumétricas en Acuíferos (SIEVA), el cual permite acceder a la información de los volúmenes extraídos, concesionados y recargados de todos los acuíferos de país de manera flexible y organizada, clasificando los totales por grupos de interés. Entre sus funciones, el sistema incluye la posibilidad de realizar una estimación indirecta del volumen extraído usando el índice de consumo energético  $m^3/kWh$  (CONUEE, 2011), lo cual permite detectar cuando un pozo se acerca o excede su volumen concesionado. Se considera que contar con esta herramienta para el registro y control de extracciones de todos los acuíferos del país es de gran valor, especialmente para llevar un control del balance en su contenido volumétrico total, así como para la toma de decisiones y control en las medidas de extracción.

El presente artículo describe la metodología empleada para desarrollar el SIEVA, así como sus principales características. Además, se incluye una comparativa contra otros sistemas de información de acuíferos, con el fin de detectar las ventajas y áreas de oportunidad de la aplicación.



### Materiales y métodos

Esta sección se divide en dos partes: a) Métodos recolección y generación de datos y b) Metodología para el desarrollo del sistema.

#### *a) Métodos de recolección y generación de datos*

Esta primera etapa para el desarrollo del sistema se sustentó en una investigación de diseño documental y de tipo proyectivo. Los objetivos que guiaron esta investigación fueron los siguientes:

- 1) Obtener los volúmenes actuales disponibles en los mantos acuíferos.
- 2) Obtener los volúmenes concesionados de origen subterráneo para cada pozo.
- 3) Determinar métodos viables para la estimación masiva del volumen extraído en pozos.

En el caso de los volúmenes disponibles (objetivo 1), la Ley de Aguas Nacionales (LAN) señala que para el otorgamiento de una concesión o asignación, debe tomarse en cuenta la disponibilidad media anual del agua del acuífero, misma que deberá revisarse al menos cada tres años. En función de esto, la CONAGUA estableció en el año 2002 la NOM-011-CONAGUA-2000 el método para la determinación de la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. A partir de entonces, la CONAGUA ha estado realizando de manera periódica estudios técnicos de disponibilidad en los acuíferos, siendo la última la del año 2015, misma que presenta una actualización para la disponibilidad para los 653 acuíferos de la república (DOF, 2015).

Los volúmenes concesionados por otro lado (objetivo 2), se inscriben en Registro Público de Derechos de Agua (REPDa), agrupándose para fines prácticos en usos consuntivos (agrícola, abastecimiento público, industria autoabastecida y termoeléctricas) y no consuntivos (hidroeléctricas). El registro tiene como función esencial, la de inscripción de títulos con el fin de otorgar seguridad jurídica a los usuarios de aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes. Los títulos abarcan un volumen superficial y subterráneo a nivel de pozo, siendo ésta información pública que se distribuye a través de Internet desde el sitio oficial de la CONAGUA (Conagua.gob.mx, 2015).

Respecto a la estimación indirecta del volumen (objetivo 3), diversos autores (López Geta, 1998; Campos, 2002; González et al., 2014) han señalado que el llamado índice de consumo energético puede utilizarse para la estimación de las extracciones. Este indicador representa el volumen de agua extraído por cada unidad de energía que consume la instalación (CONUEE, 2011). En el caso particular de volúmenes subterráneos, la instalación se refiere al sistema de bombeo de pozo profundo sumergible o de turbina de flecha, según sea el caso, cuyo costo energético depende de la profundidad del pozo y el gasto de extracción (Campos, 2002). La forma general del índice se muestra en la ecuación 1.

$$E = \frac{Q}{P_a} \quad (1)$$

Donde:

Q es el caudal expresado en metros cúbicos por hora (m<sup>3</sup>/h).

P<sub>a</sub> es la potencia activa en kilovatios (kW).



Tanto  $Q$  como  $P_a$  en (1) deben ser determinados por medio de una prueba de eficiencia electromecánica (Guillén et al., 2014), la cual se debe aplicar a todos los pozos involucrados. Esto puede resultar inviable de realizar para los 350,000 pozos inscritos en el REPD. No obstante, debe considerarse que 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 presente proyecto se recopiló los parámetros eléctricos de 1000 expedientes técnicos de obras concluidas en el marco de ejecución del proyecto PMTUR del estado de Zacatecas, lo cual permite el cálculo del índice energético para la misma cantidad de pozos. Sin embargo, no fue posible obtener los consumos eléctricos de esta misma cantidad de pozos, ya que la Comisión Federal de Electricidad (CFE) considera dicha información de carácter sensible. Por esta razón, la información de los consumos eléctricos fue limitada a 70 pozos, mismos que fueron visitados de forma directa y proporcionaron sus datos de manera voluntaria. Este último grupo de pozos también fue sometido a una prueba de eficiencia electromecánica con el fin de obtener información de la estabilidad del índice energético y de otorgar mayor confiabilidad a la estimación indirecta del volumen extraído.

#### *b) Metodología para el desarrollo del sistema*

El desarrollo de la aplicación se llevó a cabo siguiendo el ciclo propuesto por Pressman (2002) para el desarrollo de software, que en términos generales incluye las siguientes etapas:

- a) Análisis de requisitos. Es un proceso de descubrimiento, refinamiento, modelado y especificación, en el que se describe el comportamiento del sistema en términos de requerimientos funcionales y no funcionales. Los primeros describen las funciones que el sistema debe cumplir que están relacionadas con el problema de fondo y su dominio. Las no funcionales están más relacionadas con características técnicas o de implementación, como el ambiente de ejecución, la capacidad de almacenamiento y la seguridad.
- b) Diseño. Se refiere al establecimiento de las estructuras de datos, la arquitectura general del software, la representación de interfaz y algoritmos. El proceso de diseño traduce requisitos en una representación de software. Productos importantes de esta etapa lo son los modelos que describen la organización del código (diagrama de clases, diagramas de paquetes), la ejecución de procesos (diagramas de interacción, diagramas de procesos) y el diagrama entidad-relación que describe la base de datos (modelo de persistencia).
- c) Codificación. Se traduce el diseño de la aplicación en una forma ejecutable por medio de la computadora. Se utiliza un lenguaje de programación para la implementación de los algoritmos y un sistema gestor de base de datos para la implementación del modelo de persistencia.



- d) Pruebas. Se verifica la correcta ejecución de los procesos lógicos internos del software, asegurando que todas las sentencias se han comprobado, y en los procesos externos funcionales, es decir, una verificación del funcionamiento aplicativo en su entorno de ejecución. Evidentemente, lo mejor es verificar el comportamiento de la aplicación en condiciones realistas, con fin de obtener retroalimentación y hacer los ajustes correspondientes a tiempo.
- e) Mantenimiento. Consiste en adaptar el funcionamiento del sistema a los cambios que sufre su entorno de ejecución, tanto del dominio del problema como su entorno tecnológico.

En el desarrollo del SIEVA, La metodología descrita fue implementada usando principalmente el enfoque de desarrollo en cascada (Pressman, 2002), empleando el enfoque basado en prototipos para la etapa de codificación y pruebas. La siguiente sección describe el resultado del desarrollo del sistema.

### Resultados

Los requerimientos de información y el contenido de la base de datos fueron definidos por la investigación documental descrita en la sección de materiales y métodos. Esto permitió identificar y recopilar las bases de datos de los acuíferos, los volúmenes de concesión del REPDA, los índices energéticos y los registros de consumos eléctricos de 70 pozos. Además de considerar la información numérica, se tomó en cuenta su contraparte geográfica, así se obtuvieron las delimitaciones de los acuíferos, la localización de los pozos y los límites de estados, municipios y organismos de cuenca. El Cuadro 1 muestra la información considerada en el sistema, así como su origen.

**Cuadro 1.** Información base para el sistema SIEVA

Dato	Origen
Volúmenes disponibles en acuíferos	CONAGUA-Gerencia de Aguas Subterráneas, Subgerencia de evaluación y ordenamiento de acuíferos (2007-2009), DOF 20-Abr-2015. Incluye la información de 653 acuíferos actualizada al año 2015.
Localización de pozos	REPDA actualizado al año 2005 (actualización al año actual en proceso). Información de 472,037 títulos de concesión.
Índices energéticos	Expedientes técnicos de unidades de riego modernizadas en el programa PMTEUR en Zacatecas, años 2013 y 2014. Aproximadamente 1000 registros.
Documentos de disponibilidad	CONAGUA-Gerencia de Aguas Subterráneas, Subgerencia de evaluación y ordenamiento de acuíferos (2008-2009). 653 Documentos.
Mapas de acuíferos y organismos de cuenca	Subgerencia de Información Geográfica del Agua (Siga.conagua.gob.mx, 2015). Aprovechamientos subterráneos por Estado. 656 archivos KML de acuíferos y 13 de Organismos de Cuenca.
Límites Estatales y Municipales	Información de INEGI. 2443 archivos KML para la capa de municipios y 32 para los estados.
Mapas base	Imágenes Google Maps (compañía DigitalGlobe). Resolución variable.

La funcionalidad del sistema, por otro lado, fue definida en primera instancia por personal del IMTA con experiencia en la administración de información de acuíferos y extracciones en pozos. En una etapa avanzada de esta definición, se consultó a personal de la CONAGUA





de la Subdirección de Sistemas de Información Geohidrológicos con el fin de obtener opinión respecto a la presentación de la información. Por otro lado, también se analizaron sistemas similares desarrolladas por la CONAGUA, con el fin evitar la duplicidad de recursos y maximizar la utilidad de la aplicación. De esta forma, las funciones que se incluyeron en la aplicación fueron las siguientes:

- a) Consulta en formato tabular de información del estado del volumen concesionado, la recarga, el volumen de extracción, déficit o disponibilidad y nivel de sobreexplotación de los acuíferos.
- b) Consulta de los documentos PDF de la determinación de volumen disponible por acuífero elaborados por la Gerencia de Aguas Subterráneas.
- c) Consulta en formato tabular de la estimación del volumen extraído en pozos en el año en base al consumo de energía eléctrica (sujeto a disponibilidad del índice energético).
- d) Acumulación automática de la información a niveles superiores, como a nivel de Estados y Organismos de Cuenca.
- e) Cálculo automatizado totales y de estadísticos (mínimos, máximos, promedios).
- f) Generación automatizada de gráficas (para atributos de interés pre-seleccionados).
- g) Visualización geográfica de los objetos en mapas de Google (Google Maps). Los objetos considerados son acuíferos, pozos, estados y municipios.

La interfaz de consulta de la aplicación se muestra en la Figura 1. El usuario puede seleccionar fácilmente los objetos de interés en base a un orden jerárquico, que para el caso de acuíferos es organismos de cuenca – estados - municipios y que para el nivel de pozo se extiende hasta el título de concesión. En este último caso, también se permite especificar el tipo de uso para el volumen que ampara la concesión, siendo las opciones disponibles el uso agrícola, agroindustrial, doméstico, industrial, múltiple, pecuario, público-urbano y servicios.

Una característica importante de SIEVA es el agrupamiento automático de las cantidades. Por ejemplo, la Figura 1 muestra el resultado de la consulta del volumen disponible a nivel organismo de cuenca, resultado de acumular la disponibilidad que existe a nivel de acuífero, para los elementos registrados en cada organismo de cuenca por la relación estado-municipio-acuífero. Otra ventaja es que toda salida tabular de una consulta puede ser exportada a Excel. También es posible generar una gráfica de forma opcional, y localizar geográficamente de los objetos de la consulta en la interfaz Google Maps. Como ejemplo de esto último, considere la Figura 2, la cual muestra la clasificación del volumen disponible en todos los acuíferos de la república.

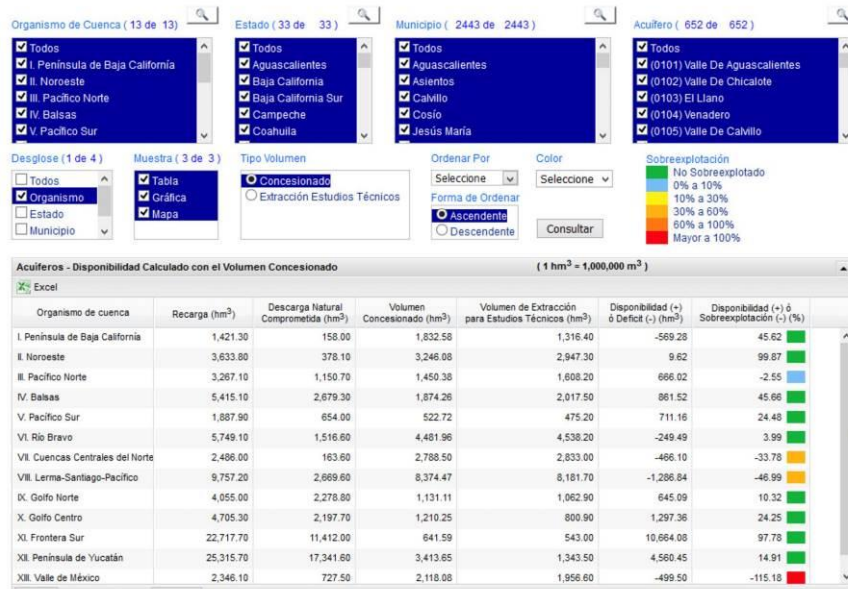


Figura 3. Consulta de disponibilidad de volumen a nivel organismo de cuenca en SIEVA.

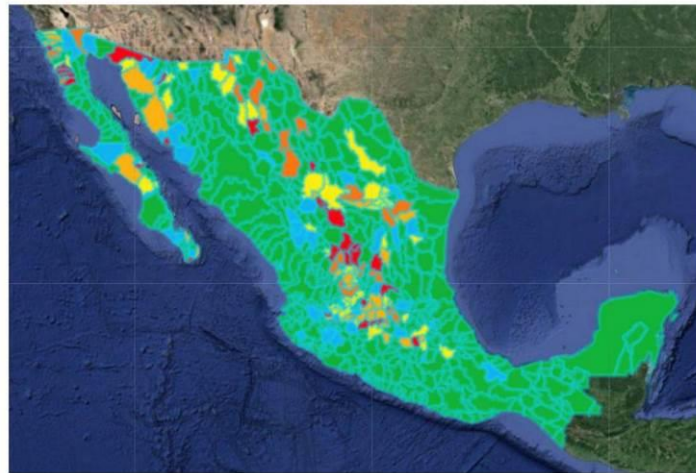


Figura 2. Disponibilidad de volúmenes en acuíferos generados en SIEVA. Los colores indican el nivel de sobre-explotación: no sobre-explotado (verde), de 0 a 10 % (azul), de 10 a 30% (amarillo), de 30 a 60% (naranja claro), de 60 a 100% (naranja intenso), mayor a 100% (rojo).



Para su implementación, la aplicación fue desarrollada en el lenguaje de programación web PHP 5.2.6 y el manejador de base de datos MySQL 5.0. La aplicación fue montada en un servidor de aplicaciones web de tipo Apache con sistema operativo Linux, distribución CentOS. Esta versión se encuentra actualmente en pruebas y se estima será liberada a inicios del próximo año fiscal.

### Discusión

El SIEVA fue comparado en sus características con las aplicaciones SILOG (Sistema de Localización Geográfica) y el Sistema de Información Geográfica de Acuíferos y Cuencas (SIGACUA), ambos a cargo de la Gerencia de Aguas Subterráneas de la CONAGUA. SILOG (Figura 3) es un sistema de consulta gráfico, que permite establecer en qué acuífero, municipio, subcuenca o zona de veda se ubica una captación de agua existente o cualquier punto que se requiera localizar, solamente escribiendo las coordenadas geográficas conocidas. El sistema puede localizar coordenadas (decimales o sexagesimales) en un mapa estatal y detectar en qué acuífero, subcuenca, zona de veda o de agua subterránea se encuentra el punto localizado. También es posible localizar dichos elementos por nombre. Por otro lado, SIGACUA (Figura 4) es una aplicación visual interactiva guiada principalmente por un mapa, el cual permite visualizar distintos elementos de interés como las cuencas y acuíferos del país, así como sus nombres oficiales y su zona de disponibilidad respectiva; la delimitación territorial de los estados y municipios, y sus principales localidades urbanas y los principales ríos y cuerpos de agua. SIGACUA muestra imágenes satelitales del país, lo cual facilita la ubicación visual de las fuentes de extracción. Además del mapa, el sistema ofrece un menú para encontrar ubicaciones en el mapa por nombre, donde se incluyen ríos, municipios, entidades y localidades urbanas. La principal ventaja de SIGACUA es la búsqueda de ubicaciones por direcciones, por lo que su principal ventaja es proporcionar al usuario la cuenca, sub-cuenca y el acuífero de un domicilio en particular.

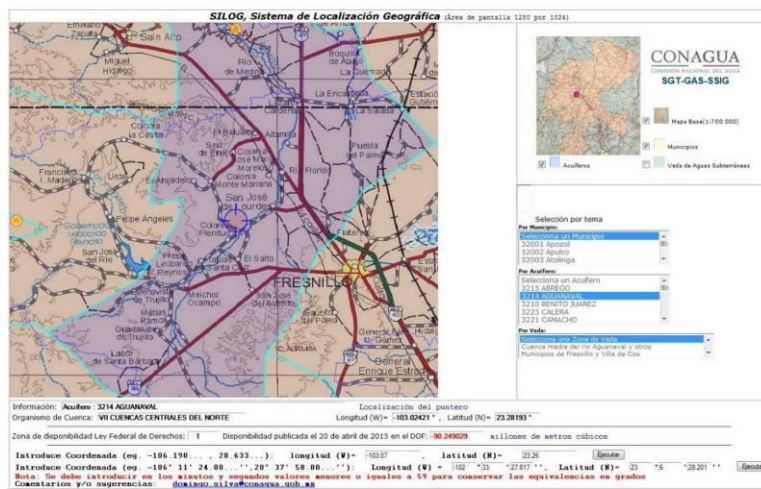


Figura 3. Sistema de localización geográfica (SILOG), (Conagua.gob.mx, 2015c).



Figura 4. Sistema de Información Geográfica de acuíferos y cuencas (SIGACUA), (Conagua.gob.mx, 2015b).

Entre los puntos que tienen en común las tres aplicaciones destacan los siguientes:

- Los tres sistemas ofrecen la consulta por lista de estados, municipios, acuíferos. Sin embargo, SIEVA incluye el nivel organismo de cuenca, el cual no es contemplado por SILOG ni SIGACUA.
- Las tres aplicaciones muestran objetos de interés (estados, municipios, ríos, acuíferos). Sin embargo, ni SILOG ni SIGACUA muestran pozos, ni organismos de



- cuenca. El nivel de detalle en los mapas es mayor en SILOG y SIGACUA que en SIEVA, al mostrar la cuenca y los poblados rurales.
- c) SIEVA y SILOG muestran los documentos PDF de los acuerdos para la estimación de la disponibilidad de agua en los acuíferos. En el caso del SILOG, es el sitio de la CONAGUA el que proporciona la información, y no la aplicación SILOG por sí misma. Esta funcionalidad no está presente en SIGACUA.

Las siguientes son características que SIEVA presenta como únicas frente a los otros dos sistemas:

- a) Acumulación de volúmenes concesionados, recargados, extracciones y déficits desde el nivel de acuífero hasta organismo de cuenca. Esta información se presenta en forma tabular y se calculan algunas estadísticas de manera automática, como la suma, el promedio, el valor mínimo y el máximo relativo al nivel y los objetos seleccionados en la consulta.
- b) Consulta de volúmenes concesionados y extraídos de pozos por nombre de usuario o título de concesión.
- c) Generación automática de gráficas de la información numérica consultada. SIEVA genera una gráfica agrupando los valores de acuerdo al nivel de consulta.
- d) Determinación del volumen extraído en base al indicador  $m^3/kWh$ . Esta funcionalidad está sujeta a disponibilidad del indicador.
- e) Control jerárquico de usuarios, considerando niveles desde pozo hasta organismo de cuenca, gerencia nacional y administrador. SIEVA solicita una contraseña de acceso al usuario, y lo identifica. Entre las características del usuario, se encuentra su nivel jerárquico, el cual establece el nivel de información que el usuario puede consultar, así como lo que el usuario puede modificar.

La única característica que tienen tanto SILOG como SIGACUA y que no está presente en SIEVA es la búsqueda en el mapa en base a una coordenada. No obstante, dicha funcionalidad podría ser agregada con relativa funcionalidad al SIEVA en el futuro.

### Conclusiones

El presente artículo describe el proceso de desarrollo y las características del Sistema de Información de Extracciones Volumétricas en Acuíferos, y realiza una comparación de dichas características contra las de otros dos sistemas que ofrecen información de disponibilidad de agua en mantos acuíferos. Como se muestra en la sección de discusión de este documento, la mayor parte de las coincidencias entre sistemas se da en el manejo gráfico de los resultados de la consulta, ya que los tres sistemas localizan entidades, municipios y acuíferos en el mapa. La principal diferencia en este aspecto es que SIGACUA y SILOG encuentran municipios, acuíferos y otras regiones con base a una coordenada, cuestión que no realiza SIEVA. No obstante, SIEVA se diferencia claramente de las otras aplicaciones al ofrecer una tabla con el resultado cuantitativo de la consulta (además del mapa), ofreciendo la posibilidad al usuario de acumular las cantidades desde el nivel más bajo hasta el más



alto. Otro aspecto relevante de SIEVA es la gráfica que ofrece como salida, el cual se construye automáticamente de la información consultada.

También, debe considerarse, que de las tres aplicaciones evaluadas, es SIEVA la única que ofrece la estimación del volumen extraído en base al consumo energético y al indicador  $m^3/kWh$ . Esta información, al ser numérica, también puede acumularse desde el nivel de pozo, hasta el nivel de organismo de cuenca. Esta cualidad del sistema le permite realizar una estimación más precisa del volumen extraído, proporcionando una base más sólida y congruente para la toma de decisiones a nivel Federal. Sin embargo, debe considerarse que, aunque ya tiene programado el algoritmo para cálculo indirecto de las extracciones en pozos de la aplicación, la información requerida de las entidades seleccionadas para prueba se encuentra aún en procesamiento. Los resultados del análisis de la aplicación de esta información al SIEVA serán objeto de una futura publicación.

### Referencias Bibliográficas

- 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). SEMARNAT. *Estadísticas del Agua en México. Edición 2013*. México. 2014.
- Conagua.gob.mx (2015a). Registro Público de Derechos de Agua (REPDA). Recuperado el 10 de noviembre de 2015 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 2015 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 2015, 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](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



I Congreso Nacional COMEII 2015, Jiutepec, Morelos, México, 23 y 24 de noviembre

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.

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 2015, de <http://siga.conagua.gob.mx/REPDA/Menu/MenuKMZ.html>