

# COMISIÓN NACIONAL PARA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA



GOBIERNO  
FEDERAL

SENER

**CONUEE**  
COMISIÓN NACIONAL PARA EL  
USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA

## Estudio de Sistemas de Bombeo Agropecuarios en México

Diciembre 2011



# Estudio de Sistemas de Bombeo Agropecuarios en México



BMZ



Por encargo de:  
Ministerio Federal de  
Cooperación Económica  
y Desarrollo



México, D.F., Diciembre de 2011



La Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) agradece a la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH (Cooperación Alemana al Desarrollo) por la colaboración y asistencia técnica en la elaboración del presente documento. La colaboración de la GIZ se realizó en el marco del “Programa de Energía Sustentable en México” el cual se implementa por encargo del Ministerio Federal Alemán de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ). Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad del/de los autor/es y no necesariamente representan la opinión de la CONUEE y/o de la GIZ. Se autoriza la reproducción parcial o total, siempre y cuando sea sin fines de lucro y se cite la fuente de referencia.

Instituciones editoras: CONUEE / GIZ

“Estudio de Sistemas de Bombeo Agropecuarios en México”, México, D.F., Diciembre del 2011.

Edición y Supervisión:

Adrián Ruiz, Ernesto Feilbogen, GIZ

Marco Antonio Nieto Vázquez, María Elena Sierra, Blanca Ivonne Gómez Ortega y Aidana Avigai Velazquez Martínez, CONUEE

Autores: Watergy México, A.C. (Juan Francisco Espino del Pozo, José Arturo Pedraza Martínez, Carlos Hernández Yáñez)

Diseño: CONUEE / GIZ México

Fotos: Watergy México, A.C.

© Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE)

Río Lerma No. 302 Col. Cuauhtémoc

Delegación Cuauhtémoc

C.P. 06500, México D.F

Tel. 3000-1000

[www.conuee.gob.mx](http://www.conuee.gob.mx)

© Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Dag-Hammerskjöld-Weg 1-5

65760 Eschborn/Alemania

[www.giz.de](http://www.giz.de)

Oficina de Representación de la GIZ en México

Torre Hemicor, PH

Av. Insurgentes Sur No. 826

Col. Del Valle, Del. Benito Juárez

C.P. 03100, México, D.F.

T +52 55 55 36 23 44

F +52 55 55 36 23 44

## Tabla de Contenido

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Resumen Ejecutivo .....</b>   | <b>xi</b> |
| <b>1 Introducción .....</b>  | <b>2</b>  |
| <b>2 Diagnóstico de los sistemas de bombeo para riego agrícola.....</b>                  | <b>3</b>  |
| 2.1 Componentes de un sistema de riego agrícola.....                                     | 3         |
| 2.1.1 Factores que afectan la cantidad de agua bombeada (Q) .....                        | 5         |
| 2.1.2 Factores que afectan la carga total (H).....                                       | 6         |
| 2.1.3 Factores que afectan la eficiencia electromecánica ( $\eta_e$ ) .....              | 7         |
| 2.2 Índice de Consumo Energético (IE) de un sistema de riego .....                       | 11        |
| 2.3 Otros indicadores en un sistema de riego .....                                       | 11        |
| 2.4 Descripción de la estructura de los sistemas de riego agrícolas.....                 | 12        |
| 2.4.1 Estructura operativa .....   | 12        |
| 2.4.2 Estructura administrativa .....  | 12        |
| 2.5 Caracterización de sistemas de bombeo agropecuarios .....                            | 12        |
| 2.5.1 Caracterización energética de los sistemas de bombeo para riego agrícola....       | 12        |
| 2.5.2 Sistema de riego .....   | 15        |
| 2.6 Identificación del parque nacional de sistemas de riego.....                         | 20        |
| 2.6.1 Información general.....   | 20        |
| 2.6.2 Registro de usuarios en Tarifa 9.....  | 21        |
| 2.6.3 Títulos de Concesión.....  | 21        |
| 2.6.4 Información del VII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal del INEGI .....            | 22        |
| 2.7 Producción y uso de agua a nivel nacional para riego agrícola .....                  | 23        |
| 2.8 Tarifas agrícolas y consumos de energía eléctrica.....                               | 24        |
| 2.9 Resumen de la información del riego agrícola a nivel nacional .....                  | 25        |
| 2.10 Identificación de programas institucionales existentes .....                        | 26        |
| <b>3 Identificación de áreas de oportunidad.....</b>                                     | <b>28</b> |
| 3.1 Potenciales de ahorro energéticos en sistemas de bombeo agropecuario .....           | 28        |
| 3.2 Identificación de mejores prácticas y su aplicabilidad.....                          | 28        |
| 3.2.1 Componentes básicos .....  | 28        |
| 3.2.2 Factores que influyen en la eficiencia del sistema .....                           | 29        |
| 3.3 Causas que impiden aprovechar todo el potencial de ahorro .....                      | 32        |
| <b>ANEXO I. UNIDADES PRODUCTIVAS Y SUPERFICIE AGRÍCOLA.....</b>                          | <b>33</b> |
| <b>ANEXO II. UNIDADES PRODUCTIVAS DE ACUERDO AL SISTEMA DE IRRIGACIÓN UTILIZADO.....</b> | <b>34</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>ANEXO III. UNIDADES PRODUCTIVAS DE ACUERDO A FUENTE DEL AGUA<br/>PARA RIEGO .....</b> | <b>35</b> |
| <b>Bibliografía .....</b>  | <b>36</b> |

### Lista de Tablas

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Etapas de un sistema de riego .....  | 3  |
| Tabla 2. Impacto energético en cada etapa de riego .....                                    | 4  |
| Tabla 3. Estadísticas de ventas CFE .....   | 21 |
| Tabla 4. Títulos de concesión y volúmenes de extracción .....                               | 21 |
| Tabla 5. Porcentajes promedio de adopción de diversos sistemas de riego, por entidad .....  | 22 |
| Tabla 6. Porcentajes promedio y extremas de uso de diversas fuentes de agua para riego..... | 23 |
| Tabla 7. Cubo de Usos del Agua, CONAGUA, 2008 .....   | 23 |
| Tabla 8. Ventas internas de energía eléctrica para tarifas agrícolas 2005-2011 (MWh) .....  | 24 |
| Tabla 9. Resumen de la información del riego agrícola a nivel nacional, 2007 y 2010 .....   | 25 |

### Lista de Figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Esquema del consumo energético en un sistema de riego típico .....                         | 8  |
| Figura 2. Diagrama general del balance de energía .....  | 9  |
| Figura 3. Ejemplo típico de balance de energía para un sistema de riego .....                        | 9  |
| Figura 4. Bomba sumergible .....   | 13 |
| Figura 5. Bomba vertical tipo turbina .....  | 13 |
| Figura 6. Ejemplo de curva de una bomba sumergible .....   | 14 |
| Figura 7. Riego por gravedad (inundación).....   | 15 |
| Figura 8. Riego por gravedad mediante compuertas .....   | 15 |
| Figura 9. Riego por aspersión .....  | 16 |
| Figura 10. Platanar con mini-aspersores .....  | 16 |
| Figura 11. Riego con mini-aspersores .....   | 16 |
| Figura 12. Sistema de riego de pivote central.....   | 17 |
| Figura 13. Sistema de riego con traslación recta.....  | 17 |
| Figura 14. Riego por goteo con cintilla superficial.....   | 18 |
| Figura 15. Riego por goteo con cintilla subterránea.....   | 18 |
| Figura 16. Cinta de riego por goteo subterránea .....  | 19 |
| Figura 17. Riego por goteo con emisores.....   | 19 |
| Figura 18. Volumen concesionado para uso agropecuario por tipo de fuente ( $10^9 \text{ m}^3$ )..... | 24 |

Figura 19. Evolución de las ventas internas de electricidad para uso agrícola ..... 25

## Listado de Abreviaturas

|                 |   |
|-----------------|---|
| CFE             | Comisión Federal de Electricidad  |
| CONAGUA         | Comisión Nacional del Agua.   |
| CONUEE          | Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía.  |
| EEM             | Eficiencia Electromecánica  |
| FAO             | Food and Agriculture Organization (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) |
| FIRA            | Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura en el Banco de México                                 |
| FIRCO           | Fideicomiso de Riesgo Compartido de SAGARPA   |
| FP              | Factor de Potencia  |
| GIZ             | Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (Cooperación Alemana al Desarrollo)                            |
| H               | Carga Total del equipo de bombeo  |
| Ha              | Hectárea  |
| hm <sup>3</sup> | Hectómetro cúbico   |
| HP              | Potencia nominal del motor en Caballos de Potencia  |
| /               | Corriente circulando en el conductor  |
| IE              | Índice de Consumo Energético  |
| INEGI           | Instituto Nacional de Estadística y Geografía   |
| INIFAP          | Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias                                       |
| kW              | Kilowatt  |
| kWh             | Kilowatt hora   |
| LAN             | Ley de Aguas Nacionales   |
| LASE            | Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía   |
| m.c.a.          | Metros de columna de Agua   |
| NOM             | Norma Oficial Mexicana  |
| $P_a$           | Potencia Activa   |
| $P_e$           | Potencia eléctrica demandada por el motor   |
| PEE             | Proyecto de Eficiencia Energética   |
| PEEI            | Proyecto de Eficiencia Energética Integral.   |
| $P_h$           | Potencia hidráulica de salida   |
| PRONASE         | Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2009-2012                                 |
| R               | Resistencia del conductor   |



|             |  |
|-------------|--|
| REPDA       | Registro Público de Derechos de Agua   |
| RPM         | Revoluciones por minuto  |
| Q           | Gasto o Flujo volumétrico de agua  |
| SAGARPA     | Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación |
| SENER       | Secretaría de Energía  |
| V           | Tensión eléctrica trifásica  |
| $\Gamma$    | Peso específico del agua en N/m <sup>3</sup>                                 |
| $\rho$      | Densidad del fluido a bombear en kg/m <sup>3</sup>                           |
| $\eta_b$    | Eficiencia de la bomba   |
| $\eta_{em}$ | Eficiencia electromecánica del conjunto motor – bomba                        |
| $\eta_m$    | Eficiencia de operación del motor  |



## Resumen Ejecutivo

### Objetivos

Los objetivos específicos del presente trabajos son:

- Describir la situación actual de los sistemas de bombeo de agua en el sector de riego agrícola, caracterizando con detalle, los componentes que lo integran, los aspectos tecnológicos, la eficiencia operativa, eficiencia energética y sus costos de operación.
- Identificar oportunidades para aumentar la eficiencia energética de los sistemas de bombeo de agua, en el sector mencionado.

### Estructura del documento

Como parte fundamental, se realiza un trabajo de caracterización de los tipos de sistemas de bombeo típicos que para uso agrícola son en un 93% de pozo profundo con suministro eléctrico. Esta caracterización se realizó, basándose en la identificación detallada de todos los factores que influyen en el consumo energético desde la fuente que son aguas subterráneas explotadas mediante pozo profundo con sistema de bombeo, hasta la entrega final del agua necesaria para el cultivo mediante un sistema de riego. Sus componentes son entre otros:

- El pozo profundo, caracterizado por un Coeficiente de Utilización resultante de una curva de aforo, que es indicativo de las posibilidades máximas de explotación, calidad del acuífero y de la construcción del pozo.
- El equipo de bombeo caracterizado por su Eficiencia Electromecánica (EEM), que consta de motor eléctrico y bomba tipo vertical o sumergible.
- 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. Estos elementos son obligatorios para cumplir con la legislación y normatividad.
- 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 de contexto que influyen en el consumo energético 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.

Asimismo, se realiza un trabajo de identificación de los problemas típicos y las principales barreras para la adopción de medidas que eleven la eficiencia, incluyendo aspectos técnicos, sociales, políticos, legales e institucionales. El trabajo incluye una descripción de los programas institucionales vigentes en el país.

Para identificar las áreas de oportunidad en eficiencia, se realizaron las siguientes tareas.

- **Cuantificación de los consumos energéticos nacionales de los sistemas de bombeo para uso agrícola.** Para su cuantificación se han empleado los datos de CFE Tarifa 9 en todas sus categorías, los cuales, debido al beneficio del subsidio, son confiables dado que el número de usuarios es el mismo que el número de equipos de bombeo, pues debido a las distancias entre cada pozo, la alimentación eléctrica se realiza en media tensión, teniendo un contrato y un medidor por pozo o sea por usuario, así que el parque nacional de bombeo agrícola y las estadísticas nacionales de consumidores de electricidad son coincidentes. También son coincidentes con el número de Unidades de Riego que aunque pueden ser varios productores tienen un mismo pozo.
- **Identificación de las mejores prácticas y su aplicabilidad.** En las actividades de los programas anteriores enfocados en mejoras al bombeo agrícola es conveniente realizar un análisis enfocado al *balance de energía* con objeto de considerar todos los componentes y factores del sistema que influyen de manera sustantiva en el consumo energético.
- **Análisis y recomendaciones respecto a los programas institucionales.** Se analizaron los programas anteriores y los existentes.

En este trabajo se propone adoptar un enfoque integral, similar a la metodología Watergy, desarrollada para sistemas de bombeo municipal, mismo que se describe en el Estudio Integral de Sistemas de Bombeo de Agua Potable Municipal.<sup>1</sup>

### Resultados clave

En el documento se analizan todos los elementos que componen las operaciones de un sistema típico de agua para riego agrícola, encontrando que el sistema de bombeo representa hasta un 80% del consumo de energía en estos sistemas. A continuación, se presenta un resumen de los principales insumos empleados en la actividad agropecuaria, con base en la información disponible más reciente .

| criterio                       | Variable   | 2007       | 2010       |
|--------------------------------|--|------------|------------|
| <b>Superficie (Ha)</b>         | Superficie cultivable                              | 29,902,092 | 38,756,952 |
|                                | Superficie total cultivada                         | 21,902,572 | 28,388,546 |
|                                | Superficie total con infraestructura riego pozo    | 3,771,369  | 8,719,577  |
|                                | En 85 distritos de riego, 10470 ejidos-comunidades | 6,727,402  | 4,888,179  |
|                                | En 39000 unidades de riego                         | 2,956,032  | 3,831,397  |
| <b>Agua (hm<sup>3</sup>)</b>   | Concesiones anuales                                | 17,713.508 | 17,968.663 |
| <b>Energía eléctrica (MWh)</b> | Consumo anual                                      | 7,803,792  | 9,040,334  |

<sup>1</sup> <http://www.conuee.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/7483/2/bombeoagua.pdf>

Fuente: INEGI. Censo Agropecuario 2007; Sistema de Información Energética (SIE), 2011.

Con base en las experiencias del autor, aplicando la metodología integral que permite ahorrar más energía que las convencionales, comúnmente aprovechadas, se pueden lograr ahorros globales de hasta el 50 % en los sistemas de agua para la agricultura, de los cuales, el 29% es por las medidas convencionales, entre las que se encuentran:

- Optimizar tarifas de suministro de energía.
- Reducción de pérdidas en las instalaciones eléctricas.
- Optimizar el factor de potencia (FP).
- Mejorar la eficiencia en motores eléctricos. Mejorar suministro eléctrico o cambio por alta eficiencia.
- Mejorar la eficiencia en bombas. Adecuación a condiciones de diseño o sustitución de equipo.
- Reducción de pérdidas de carga en succión y descarga de sistemas de bombeo.
- Mejorar la operación sin modificar la infraestructura, en equipos donde no se alteran condiciones de diseño.
- Reducción de pérdidas mecánicas optimizando prácticas de mantenimiento.

Se obtiene un 21% adicional, por medidas resultantes de la optimización de la operación hidráulica como:

- Reducir las pérdidas en conducción de agua al mínimo, en consecuencia se reduce la demanda eléctrica.
- Reducir la carga de bombeo optimizando los esquemas de distribución.
- Mejorando eficiencia del riego.

Con esto, se logran otros beneficios adicionales, que representan la mayor motivación para los usuarios de los sistemas de riego agrícola, entre otros beneficios están:

- Preservación de acuíferos.
- Mejora en los niveles de consumo energético.
- Mejora en la productividad agrícola hasta en un 380%.

## **Conclusiones y recomendaciones**

Como se hace evidente a lo largo del documento, los potenciales de ahorro de energía en los sistemas de bombeo de agua para riego agrícola son muy importantes. La realización de Proyecto de Eficiencia Energética Integral (PEEI) que consideren tanto la EEM como la eficiencia hidráulica y de uso final de los sistemas de riego, reduciendo las pérdidas de agua en la conducción y uso, generan sinergias que mejoran a su vez la sostenibilidad financiera de las unidades de riego, aumentan sus ingresos y reducen su presión sobre los cuerpos de agua y entorno natural.

## 1 Introducción

El 28 de noviembre del 2008 fue publicada la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (LASE). Si bien esta Ley tiene como objetivo propiciar un aprovechamiento sustentable de la energía, su Reglamento faculta a la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) a crear e implementar el Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2009-2012 (PRONASE). Dicho Programa, a su vez publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 27 de noviembre de 2009, define una estrategia integral para capturar el potencial de ahorro de energía a través de acciones costo-efectivas de mediano y largo plazos. Las principales áreas de oportunidad contempladas en el PRONASE son:

- I. Iluminación
- II. Transporte
- III. Equipos del hogar
- IV. Cogeneración
- V. Edificaciones
- VI. Motores industriales
- VII. Bombas de agua

Dado que una de las áreas prioritarias es el bombeo de agua, se estableció el objetivo de incrementar la eficiencia de los sistemas de bombeo de agua a través de dos líneas de acción: *“Fortalecer el programa de apoyo para la rehabilitación de sistemas de bombeo agropecuario”* y *“Establecer un programa de apoyo para la rehabilitación de sistemas de bombeo municipal”*.

Con base en esto, la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ - Cooperación Alemana al Desarrollo) contrató los servicios de Watergy México A. C., tomando en cuenta la amplia experiencia que tiene esta empresa para realizar un estudio para la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía.

## 2 Diagnóstico de los sistemas de bombeo para riego agrícola

### 2.1 Componentes de un sistema de riego agrícola

Para explicar integralmente el papel que la energía juega en el manejo del agua para riego, es necesario tener clara la secuencia de operaciones del bombeo y rebombeo (en su caso) para la disponibilidad y la tecnificación del riego. Esta secuencia es el conjunto de operaciones para producir, conducir y distribuir el agua con el objeto de proporcionar la cantidad necesaria según el tipo de siembra para el cultivo y desarrollo del mismo.

Los sistemas de bombeo proporcionan la energía en todas las etapas, y el energético utilizado en el 93% de ellas es la electricidad. La energía transferida en forma de energía hidráulica se utiliza en la conducción y entrega del agua, según aplique al proyecto de riego. Dependiendo de diversos factores, cada etapa impacta de manera relativa sobre el consumo energético en un sistema de riego de manera diferente. La Tabla 1 describe las etapas y los principales energéticos utilizados en cada una de ellas.

Tabla 1. Etapas de un sistema de riego

| Etapa             | Operación  | Sistema electromotriz   | Energético         |
|-------------------|--|---|--------------------|
| Captación         | Extracción de pozo profundo                                  | Sistema de bombeo de pozo profundo sumergibles o de turbina de flecha                                       | Electricidad       |
| Acondicionamiento | Fertilización  | Sistema de bombeo de dosificación, tipo recirculante o de pistón  | Electricidad       |
| Conducción        | Envío del agua directo al cultivo o tanque de almacenamiento | Sistema de conducción de la energía hidráulica, por tubería, canales abiertos en tierra, canales revestidos | Energía hidráulica |
| Distribución      | Rebombeo para riego tecnificado                              | Sistemas de bombeo centrífugos horizontales o verticales  | Electricidad       |
| Riego             | Depósito de la lámina de agua necesaria para el cultivo      | Sistema de distribución uniforme de la carga hidráulica a gasto constante                                   | Energía hidráulica |

Fuente: Watery México, A.C.

Una descripción de las características de cada operación, el impacto relativo típico basado en rangos y algunos de los factores que influyen en dicho consumo, se presentan en la Tabla 2.

**Tabla 2. Impacto energético en cada etapa de riego**

| <b>Etapa</b>             | <b>Operación</b>  | <b>Descripción básica</b>  | <b>Impacto relativo típico sobre consumo de energía (%)</b> | <b>Observaciones importantes sobre el consumo energético</b>  |
|--------------------------|---|--|---|---|
| <b>Captación</b>         | Extracción de Pozo profundo                                 | Extraer el agua hacia la superficie bombeando el agua desde el nivel dinámico de un pozo profundo      | 40 – 80   | El costo energético depende de la profundidad del pozo y el gasto de extracción. Los niveles de abatimiento anual de una fuente sobreexplotada afectan sustancialmente este costo |
| <b>Acondicionamiento</b> | Fertilización   | Implica la dosificación de algún fertilizante o producto que mejore el cultivo.                        | 0 – 2   | El consumo energético de la fertilización generalmente está cuantificado en la captación  |
| <b>Conducción</b>        | Envío del agua al cultivo                                   | Conducción del agua al cultivo o tanque de almacenamiento  | 4 – 50  | En casos particulares esta operación se realiza por gravedad y directo al cultivo lo que implica nulo consumo energético  |
| <b>Distribución</b>      | Rebombeo  | Bombeo que proporciona las características requeridas por el tipo de riego utilizado, presión y gasto. | 0 – 40  | Solamente cuando el riego tecnificado lo requiere, la magnitud del consumo energético en esta operación depende de las características del riego que se use                       |
| <b>Riego</b>             | Aplicación de la cantidad de agua necesaria para el cultivo | Conversión de la presión en múltiples salidas uniformes de gasto constante                             | 10 – 30   | El consumo energético depende de la eficacia para hacer llegar el agua necesaria para el desarrollo de la planta  |
| <b>Totales</b>           |   |  | 100 %   |   |

Fuente: Watergy México, A.C.

Cabe mencionar que estos datos sólo son indicativos y aunque aplican a la mayoría de los sistemas de riego, pueden existir excepciones donde ciertas condiciones particulares arrojen otros perfiles. Más adelante, se presentará una caracterización de los sistemas basados en estos factores para nuestro país.

Como se mencionó, los sistemas de bombeo ocupan un lugar preponderante en la cadena de consumo energético de los sistemas de riego. Por ello es importante entender los principales factores y variables que afectan la energía que estos sistemas consumen. La potencia que los sistemas de bombeo requieren está dada por la expresión siguiente:



$$P_e = \frac{Q \times H \times \gamma}{\eta_e}$$

Donde:

$P_e$  = Potencia requerida por el equipo de bombeo en W.

$Q$  = Gasto suministrado por el equipo en m<sup>3</sup>/s.

$H$  = Carga total del equipo de bombeo en m.

$\gamma$  = Peso específico<sup>2</sup> del agua en N/m<sup>3</sup>. Para el agua, el valor será de 9.81.

$\eta_e$  = EEM del equipo de bombeo.

Las 3 principales variables que influyen en la potencia de los equipos, de acuerdo con la relación descrita y los factores que las afectan son: la cantidad de agua bombeada ( $Q$ ), la carga total ( $H$ ) y la EEM ( $\eta_e$ ). A continuación se describen con mayor detalle.

### 2.1.1 Factores que afectan la cantidad de agua bombeada ( $Q$ )

De esta variable depende en función directa, la energía utilizada. Los principales factores que afectan esta variable son los siguientes:

#### 1. Coeficiente de utilización del pozo. Relación gasto (cantidad de agua extraída) contra abatimiento del nivel dinámico en el pozo (profundidad de bombeo)

Esta relación permite conocer las **posibilidades de explotación del acuífero**. En la construcción del pozo profundo ha quedado definido este coeficiente y forma parte del REPDA. Para la concesión de explotación, se ha analizado principalmente la capacidad de recarga del acuífero en el lugar que se encuentra el pozo profundo. Por ningún motivo se permite un gasto mayor al concesionado así como una explotación anual mayor a la autorizada en la propia concesión. La concesión **obliga** al envío de un reporte mensual del gasto, volumen y niveles estático y dinámico. La falta de cumplimiento de alguna cláusula es motivo de cancelación de la concesión.

#### 2. Número de horas de operación del sistema de riego

El caudal anual que se bombea y la energía que se consume, son directamente proporcionales a la cantidad de horas que se trabaja. Esto tiene una relación estrecha, tanto con los niveles de desperdicio como con el control del aprovechamiento del agua de lluvia. El nivel de evapotranspiración del cultivo y la evaporación al ambiente también se consideran, en función del número de horas de trabajo del sistema de riego; un mayor número de horas se traduce en un mayor consumo energético.

---

<sup>2</sup> El peso específico ( $\gamma$ ) es equivalente a la densidad ( $\rho$ ) multiplicada por la fuerza de gravedad ( $g$ ). En algunos casos, como la industria del gas natural y petróleo en Estados Unidos, el peso específico suele también llamarse densidad ("weight density") y medirse en N/m<sup>3</sup> ó lb<sub>f</sub>/ft<sup>3</sup>, en lugar de masa por unidad de volumen ("mass density").

**3. Desperdicio de agua. A menor desperdicio, mayor caudal de agua aprovechado por el cultivo y por tanto mayor eficiencia en el consumo energético empleado**

Cada litro de agua que se conduce hacia el cultivo representa un costo importante de energía. El desperdicio de agua en forma de infiltración en la conducción por canales abiertos construidos directamente en tierra, mala distribución de la lámina de agua en el cultivo, riego de área no cultivada y fugas, entre otros, afectan directamente la cantidad de energía consumida por el suministro de agua no aprovechado. El desperdicio de agua es indudablemente un desperdicio de energía. Cuando el agua se desperdicia en la conducción y en el riego, también se desperdicia la energía.

**4. Manejo del gasto. Eficiencia de la operación hidráulica en la distribución del agua que es entregada en el riego**

Significa que debe aprovecharse al máximo la energía que se ha adicionado al agua para colocarla de manera uniforme y efectiva en el cultivo. Existen muchas deficiencias en la operación de los sistemas de riego, empezando por el manejo inadecuado del caudal (falta de uniformidad en el riego). La manipulación de válvulas aumentando la presión para restringir el gasto provoca desperdicio de energía. Un diseño erróneo en la distribución del agua en el sistema de riego, deficiencias técnicas en el equipo y la falta de herramientas para la correcta toma de decisiones pueden conducir a desajustes en las presiones del sistema. Las diferencias de presión, a su vez, repercutirán en la distribución del agua de riego, provocando excesos o deficiencias en los distintos sectores de riego. Esta situación genera que el sistema de riego tenga un desgaste operativo y mayores costos energéticos.

**5. Niveles de automatización (y uso de la misma)**

La ausencia de sistemas de automatización (sondas de humedad o sondas hidrométricas, instrumentos para medir la temperatura ambiente, humedad relativa, viento, etc.) provocan la existencia de un control manual inadecuado de la operación o inclusive la subutilización para fines de eficiencia de sistemas de automatización ya instalados. En general a mayor tecnificación de los riegos, mayor consumo energético y menor consumo de agua para obtener el mismo efecto en el cultivo. Esto sucede cuando se lleva un control exacto de las cantidades de agua que deben ser aplicadas en función de las necesidades del cultivo.

## **2.1.2 Factores que afectan la carga total (H)**

Su expresión matemática es:

$$H = P_m + ND + h_{f_r} + h_v$$

Donde:

$H$  = Carga total de bombeo en m.c.a.

$P_m$  = Presión en la descarga dada en m.c.a. que refleja las pérdidas por fricción en las tuberías de descarga y la magnitud de la altura topográfica a donde se debe bombear el agua durante la operación.

$ND$  = Nivel dinámico, que refleja el nivel de succión desde donde el agua debe ser bombeada en m.

$h_{fr}$  = Pérdidas por fricción en la columna de succión.

$h_v$  = Carga de velocidad que refleja el efecto de la velocidad del agua en las tuberías definida por la relación:

$$h_v = \frac{v^2}{2g}$$

$v$  = Velocidad del agua dentro de la tubería.

Para esta variable (H), los principales factores que influyen son:

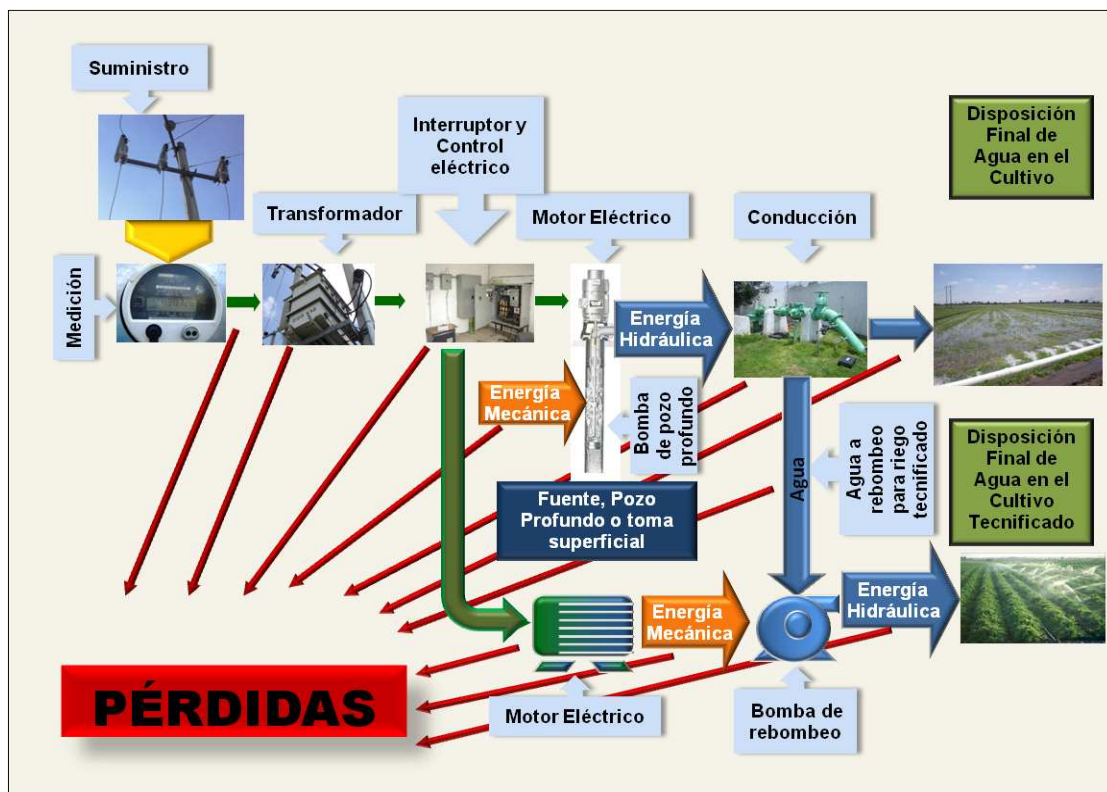
- 1. Profundidad de la fuente subterránea, es decir desde que profundidad se bombea**  
La sobrexplotación de los acuíferos aumenta la gravedad del abatimiento (relación extracción/recarga), provocando que el bombeo se realice cada vez a mayor profundidad, con afectación directa en el consumo de energía.
- 2. Calidad del mantenimiento del pozo**  
Coeficiente de extracción alterado: por oxidación, o sarro en el ranurado del ademe (conducto), o por obstrucción debido a mala selección del engravado en el filtro.
- 3. Tipo de riego usado**  
La tecnificación del riego, ciertamente crea la necesidad de carga de presión en la descarga de la bomba. Esta carga puede tener una variación desde prácticamente 0 m, cuando el riego se aplica directamente a un cultivo por gravedad, hasta valores de 60 m, tratándose de cañones de riego para grandes extensiones de pastizales.
- 4. Necesidad de rebombeo para la aplicación del riego tecnificado**  
En ocasiones, el consumo energético para el rebombeo puede competir con el consumo energético para la extracción. Por lo general, cuando se requieren grandes cargas de altura 20 m o más, puede resultar más eficiente el uso de rebombes para alimentar los riegos.
- 5. Características de la conducción**  
Los riegos tecnificados en su gran mayoría emplean conducción por tuberías, para el caso influye de modo importante la antigüedad de las tuberías, si tienen incrustación, el diseño inadecuado de las líneas de distribución al riego, caídas de presión excesivas por el manejo de dichas líneas, etc.

### 2.1.3 Factores que afectan la eficiencia electromecánica ( $\eta_e$ )

Para analizar los principales factores que afectan la eficiencia debido al incremento de las pérdidas en el sistema, es necesario entender la Secuencia Energética (SE); es decir, el conjunto de etapas desde el suministro de energía al sistema de riego así como los procesos de transformación para convertirla en energía útil, que para el caso del riego agrícola está representado por la energía necesaria para suministrar la demanda de agua del cultivo.

En el caso de los sistemas de riego, los principales elementos de la transformación energética para el suministro del agua y tecnificación del riego se muestran esquemáticamente en la Figura 1, en la cual se puede ver la secuencia de equipos consumidores de energía y elementos que tienen pérdidas pero que se ocupan necesariamente para transportarla o conducirla; desde la línea de conducción eléctrica, el medidor de consumo del suministrador de energía eléctrica, pasando por el transformador, el centro de control de motores y sus elementos conductores correspondientes, el motor eléctrico que impulsa la bomba de suministro transformando la energía de eléctrica a mecánica y de ésta a hidráulica, para mediante una conducción hidráulica llegar hasta la disposición final del agua directamente o mediante rebombeo al cultivo.

Figura 1. Esquema del consumo energético en un sistema de riego típico



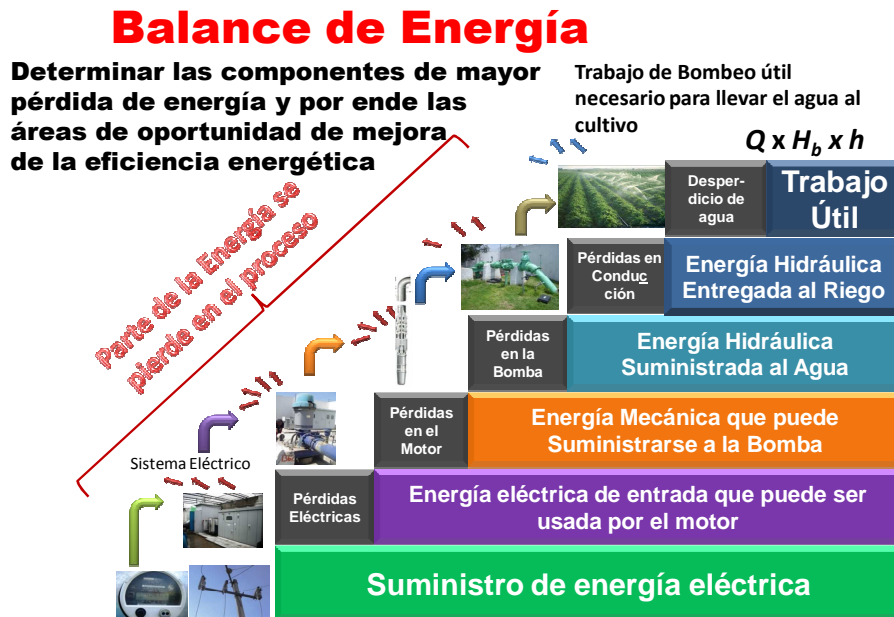
Fuente: Watery México, A.C.

En cada etapa de la cadena energética, parte de la energía es aprovechada y otra no lo es, por lo que se pierde; desde la entrada de energía en la acometida del suministrador pasando por todos los elementos del sistema hasta la entrega de agua a la siembra donde se entrega un trabajo útil en forma de lámina de agua necesaria para el cultivo, las pérdidas en las transformaciones de energía y su conducción no permiten que ésta sea aprovechada en su totalidad, por lo cual el trabajo útil sólo corresponde a un porcentaje de la energía de entrada. Dado que la eficiencia en el manejo de la energía nunca alcanza el 100%, la aplicación de tecnologías innovadoras o simplemente mejores prácticas usadas en cada etapa representan áreas de oportunidad para su mejor aprovechamiento.

El proceso de auditoría energética que se plantea en este documento consiste en determinar las pérdidas en cada etapa de la cadena, y finalmente la cantidad de la energía suministrada

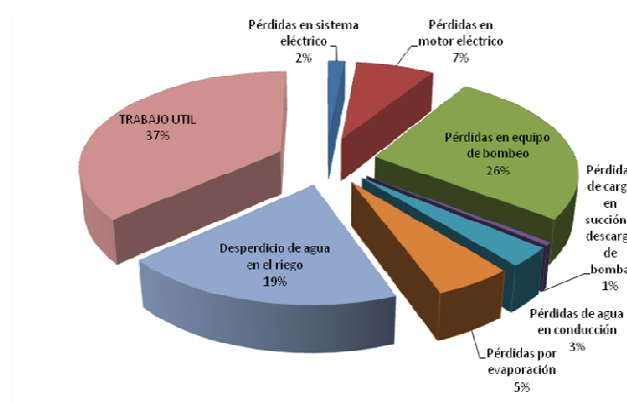
que se convierte en trabajo útil. Es decir, primero determinar cuál es el mínimo trabajo para bombear el agua estrictamente necesaria utilizada por el cultivo, para después encontrar, mediante la determinación de las áreas de oportunidad, cuánta es la menor cantidad de energía que se puede suministrar sin arriesgar los resultados. A este proceso se le conoce como **balance de energía**. A continuación se presenta un diagrama de este proceso:

Figura 2. Diagrama general del balance de energía



Fuente: Watery México, A.C.

Figura 3. Ejemplo típico de balance de energía para un sistema de riego



Fuente: Watery México, A.C.

La energía que no se convierte en trabajo útil representa una pérdida y por ende un área de oportunidad. Esta técnica permite identificar y cuantificar en dónde están las mayores pérdidas, y cuáles se pueden evitar o minimizar, sin dejar ninguna parte del sistema sin evaluar.

Los factores principales que afectan las pérdidas en cada secuencia de esta cadena son:

1. **Calidad de la energía eléctrica**

Instalación eléctrica inadecuada, bajo FP, pérdidas por sobrecalentamientos (efecto Joule), conductores y alimentadores sub dimensionados, falsos contactos, transformador de la subestación mal seleccionado.

2. **Niveles de eficiencia de los motores asociados a los sistemas de bombeo**

Si no se emplean motores de alta eficiencia, motores mal seleccionados.

3. **Niveles de eficiencia de las bombas**

Bombas mal seleccionadas en un intervalo de trabajo de baja eficiencia.

4. **La conducción del agua al cultivo**

Conducción abierta en canales de tierra (infiltración al terreno). Conducción en canales recubiertos (evaporación). Conducción por tuberías (pérdidas por fricción).

5. **Riegos tecnificados requieren presión adicional**

Posible rebombeo. Gasto y presión en los aspersores o boquillas no uniforme debido a un mal manejo en las líneas de distribución.

6. **Desperdicio de agua**

Agua depositada fuera del alcance del cultivo o en exceso. No tomar en cuenta las lluvias y los cambios de temperatura y humedad en el ambiente.

El consumo de energía de los sistemas de bombeo para riego está dado por la **potencia promedio demandada** durante las **horas de operación en el año**, y se calcula con base en la siguiente expresión:

$$C_{eb} = \frac{P_e \times t}{1000}$$

Donde

$C_{eb}$  = Consumo de energía del equipo de bombeo (kWh).

$t$  = Tiempo de operación en horas al año (h/año).

$P_e$  = Potencia promedio usada durante el tiempo requerido por el equipo (W).

El consumo de energía total del sistema de riego es la suma del consumo de energía en el equipo de bombeo del pozo, más el consumo en el resto de los componentes incluyendo la energía pérdida y desperdiciada de acuerdo al concepto del balance de energía descrito anteriormente. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$C_{es} = C_{eb} + C_{ers}$$

Donde

$C_{es}$  = Consumo de energía en todo el sistema de bombeo (kWh).

$C_{eb}$  = Consumo de energía del equipo de bombeo (kWh).

$C_{ers}$  = Consumo de energía en el resto de los componentes del sistema (kWh).

## 2.2 Índice de Consumo Energético (IE) de un sistema de riego

Un indicador muy importante para relacionar el consumo de energía con los volúmenes de agua utilizada en un cultivo es el Índice Específico de Consumo Energético o *IE*. Este indicador, expresado en kWh/m<sup>3</sup>, representa la relación exacta entre la energía utilizada por un sistema de riego para producir la cantidad de agua necesaria para un cultivo durante un año.

El IE 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.

$$IE = \frac{\text{Energía total consumida por los equipos} \left( \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \right)}{\text{Volúmen total producido en captaciones} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{año}} \right)}$$

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. Cada una de las etapas descritas en la Tabla 2 tiene una aportación a dicho índice dependiendo de las condiciones particulares del sistema.

## 2.3 Otros indicadores en un sistema de riego

Debido a la gran cantidad de eventos que influyen en las necesidades de riego y que producen variaciones en el Índice Energético, es conveniente hacer uso de otras relaciones que nos permiten apreciar los resultados. Se sugieren las siguientes:

**Eficiencia total de riego (%):** Es la razón entre el volumen de riego neto y el volumen de riego bruto.

**Eficiencia electromecánica (%):** Es la razón entre la potencia a la salida de la bomba y la potencia de entrada al motor eléctrico.

**Productividad bruta del agua (\$/m<sup>3</sup>):** Es la razón entre el valor de la producción y el volumen de riego bruto.

**Productividad bruta de la tierra (Mil \$/ha):** Es la razón entre el valor de la producción y la superficie de primeros cultivos.

**Productividad neta del agua (\$/m<sup>3</sup>):** Es la razón entre la utilidad neta total y el volumen de riego bruto.

**Productividad neta de la tierra (Mil \$/ha):** Es la razón entre la utilidad neta total y la superficie cultivada.

## 2.4 Descripción de la estructura de los sistemas de riego agrícolas

### 2.4.1 Estructura operativa

La operación de los sistemas de riego es desarrollada principalmente por *Unidades de Riego* (UR) las que son contabilizadas y registradas por CONAGUA a través de concesiones para la explotación y uso de las aguas subterráneas mediante pozos profundos.

En la concesión se especifica diámetro de succión, de descarga, gasto máximo de la bomba y volumen máximo de extracción anual permitidos, así como la obligación de instalar un medidor de volumen y sonda neumática en el pozo, reportando mensualmente los valores de gasto, volumen acumulado en el mes, nivel estático y nivel dinámico.

### 2.4.2 Estructura administrativa

La administración es llevada a cabo por las UR, que además de manejar la distribución del agua y el tandeo del riego, también manejan la administración de dicha Unidad. Todos los costos de la operación y manejo del riego, tales como la energía eléctrica, personal que atiende el equipo de bombeo, mantenimiento, etc. son administrados por los componentes de la UR conforme a la organización elegida por ellos.

## 2.5 Caracterización de sistemas de bombeo agropecuarios

### 2.5.1 Caracterización energética de los sistemas de bombeo para riego agrícola

#### Pozo profundo

Se debe partir desde el pozo profundo para la extracción de agua subterránea, que es la fuente de abastecimiento del agua de riego. La NOM-003-CNA-1996 ordena contar con dispositivos de medición y monitoreo así como con la documentación técnica de la construcción del pozo. Los dispositivos de medición permiten mantener el monitoreo del comportamiento del pozo como son: gasto, volumen acumulado a la fecha y hora, nivel dinámico y nivel estático, y horas de operación. La copia de los documentos entregados para la aprobación de la perforación y explotación del pozo permiten conocer sus características reales, siendo de primordial importancia el proyecto del pozo y la curva de aforo que sirvieron de base para la selección del equipo de bombeo.



La referencia que mejor caracteriza a un pozo profundo es el *coeficiente de utilización*, que es la relación entre gasto y abatimiento del nivel dinámico en el pozo. Al relacionar este coeficiente con el diámetro de perforación y del ademe del pozo, es posible calificar la importancia del acuífero y calidad de construcción del pozo. El rango de carga, profundidad de bombeo en el pozo más la carga necesaria (presión) para accionar el riego, así como el gasto seleccionado, permite tener un equipo de bombeo con la mejor EEM posible y por lo tanto iniciar con un consumo energético mínimo.

## Equipo de bombeo

Típicamente para la extracción de agua de un pozo profundo se tienen dos clases de soluciones: utilizar un motor externo vertical y bomba tipo turbina de columna vertical, o una bomba con motor sumergible. Se debe buscar el equipo de bombeo que satisfaga las necesidades de gasto y carga operando en el rango de máxima eficiencia. La caracterización de un sistema de bombeo motor-bomba está dada por su EEM.

Figura 4. Bomba sumergible

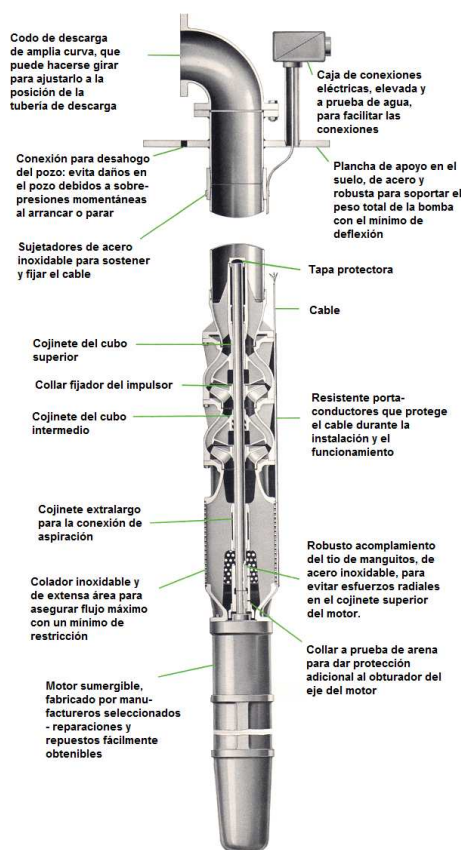
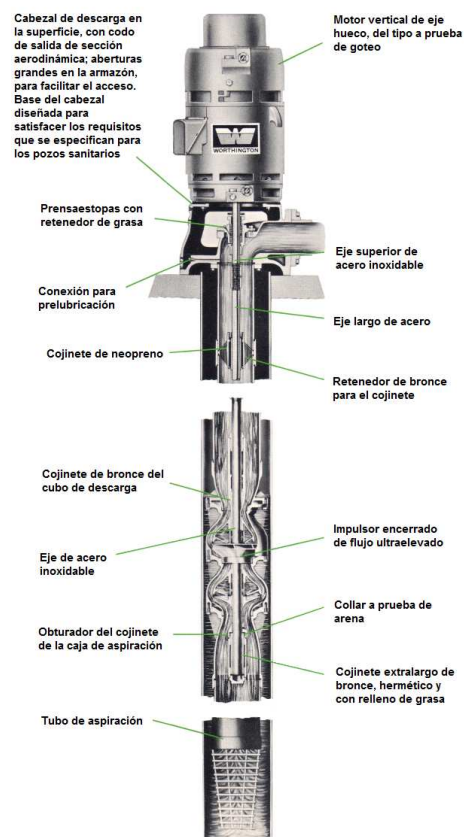


Figura 5. Bomba vertical tipo turbina



Fuente: Manual de operación Byron Jackson.

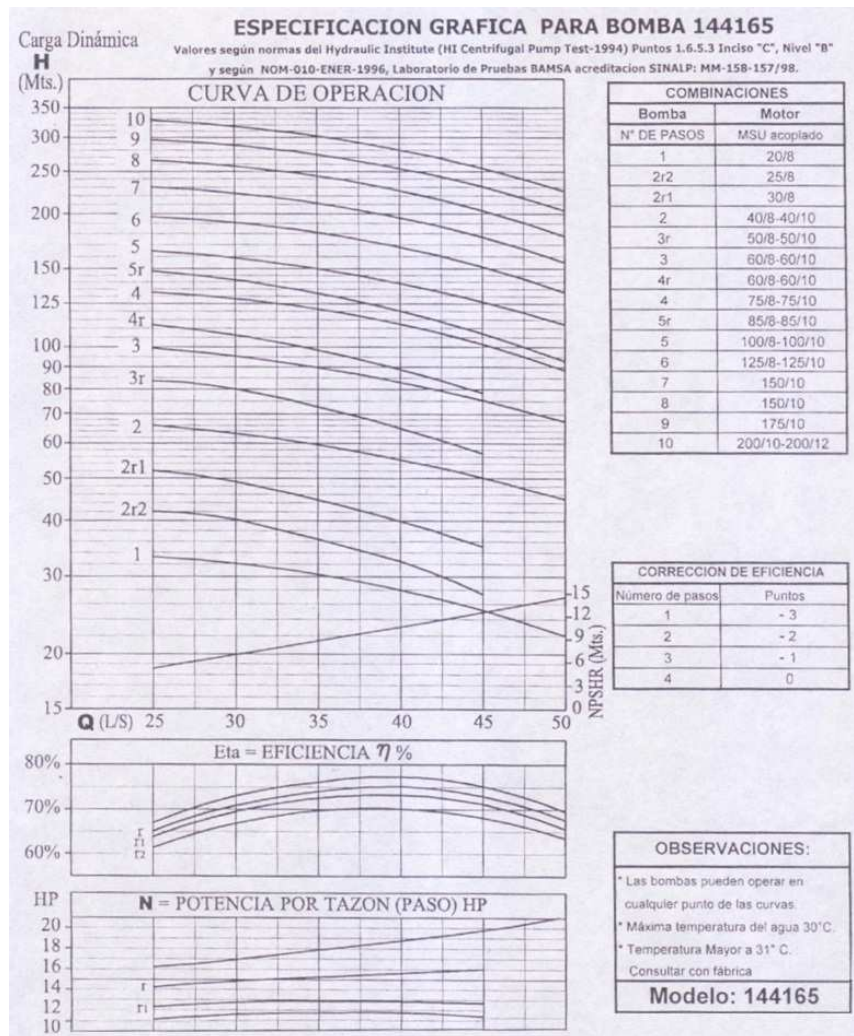
Es importante que los equipos de bombeo utilizados cumplan también con la normatividad aplicable, dentro de la cual se encuentran las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) mencionadas

en la Sección 3.2.2. En el caso de los equipos y sistemas de bombeo, deberán observarse las NOM-001-ENER-2000, NOM-006-ENER-1995, NOM-010-ENER-2004, y NOM-016-ENER-2010.

En general la velocidad de rotación de la bomba influye en la eficiencia de trabajo, de modo que los equipos que trabajan a menores RPM y tienen mayor diámetro son más eficientes que los que trabajan a mayor RPM y tienen menor diámetro. Como consecuencia de esto, es mayor la EEM cuando se emplean bombas verticales, puesto que un motor externo de bajas RPM no tiene problema de colocación.

En cambio, como el motor de una bomba sumergible tiene que introducirse en el pozo, su EEM siempre es menor dado que el diámetro está limitado por el ademe. Por el contrario, una bomba tipo turbina vertical requiere también un pozo perfectamente vertical (comprobado mediante una prueba de verticalidad), para la correcta operación de la columna de flechas y chumaceras. Estos equipos no se recomiendan para profundidades mayores a 80 m.

Figura 6. Ejemplo de curva de una bomba sumergible



Fuente: Manual de operación Byron Jackson.

## 2.5.2 Sistema de riego

En lo referente a la tecnificación del riego, es muy importante la correcta aplicación al cultivo. Existen cinco sistemas básicos de riego:

- a) Riego de superficie, que cubre toda o casi toda la superficie cultivada. Opera por gravedad, frecuentemente mediante un sistema de compuertas.
- b) Riego por aspersión y micro-aspersión, cuyo funcionamiento imita a la lluvia. Su distribución puede ser lineal o en pivote central.
- c) Riego por goteo, que aplica el agua gota a gota solamente sobre el suelo que afecta a la zona radicular.
- d) Riego subterráneo de la zona radicular, mediante contenedores porosos o tubos instalados en el suelo.
- e) Sub-irrigación, si el nivel freático se eleva lo suficiente para humedecer la zona radicular.

De estos cinco métodos de riego actualmente se usan sólo los primeros cuatro.

### Riego por gravedad

Es el sistema de riego comúnmente usado desde la antigüedad. Presenta la necesidad de preparar la tierra con una pendiente y nivelación transversal al flujo. Su eficiencia depende del flujo y tipo de suelo, pero siempre tendrá una gran dificultad en lograr uniformidad en el riego. Esta técnica de riego también se usa para riego por surco. El riego por gravedad mediante compuertas es un primer paso en la tecnificación del riego, y consiste en la conducción y descarga por compuertas para mejorar la distribución de la lámina de riego. La eficiencia de riego es de alrededor del 50%.

Figura 7. Riego por gravedad (inundación)



Figura 8. Riego por gravedad mediante compuertas



Fuente: Watergy México, A.C.

### Aspersión

Dentro de las principales características del riego por aspersión se encuentran las siguientes:

- Los flujos están asociados al diámetro interior y presión en las boquillas.
- Variedad de ángulos de trayectoria y alturas del chorro.
- Aplicaciones de bajo volumen para suelos compactos y con pendiente.

- Escoger aspersores que garanticen máxima vida en el campo.
- Existen diseños de plástico, bronce o acero inoxidable.
- La presión de operación es fundamental para la eficiencia del riego.

**Figura 9. Riego por aspersión**



Fuente: Watery México, A.C.

Dentro de las aplicaciones típicas del riego por aspersión se tienen los cultivos de extensión o en hilera, sistemas permanentes o portátiles, riego por abajo o por encima de enredaderas (e.g. viñedos), árboles, viveros, invernaderos y debajo de telas para sombra, así como aplicaciones especiales y de protección contra heladas.

### **Sistema de riego con micro-aspersores**

Es un riego de bajo volumen diseñado para maximizar la eficacia en el riego, con grandes ahorros de energía y agua, debido a su uso más puntual en el cultivo a regar, lo cual reduce los desperdicios. Es muy importante operar los aspersores a la presión adecuada para evitar pérdidas por evaporación.

**Figura 10. Platanar con mini-aspersores**



Fuente: Watery México, A.C.

**Figura 11. Riego con mini-aspersores**



Fuente: Watery México, A.C.

Dentro de las aplicaciones típicas de los mini-aspersores se encuentran la irrigación de huertos, viñedos, flores, viveros, invernaderos y cultivos en hileras.

### **Sistema de riego con pivote central**

Son equipos diseñados para elevar al máximo la eficiencia del riego acercándolo a la superficie de cultivo, y cubrir una gran superficie mediante autopropulsión. Se logra así una mejor utilización del agua y mayor productividad del cultivo.

En el sistema por pivote, los aspersores se calibran de manera que el flujo de agua al desplazarse en círculo se deposite uniformemente sobre la superficie de riego. Son alimentados desde un pivote central reforzado para soportar las tensiones originadas por el desplazamiento del sistema. También existen sistemas con traslación recta, los cuales son alimentados por mangueras que igualmente tienen sus aspersores controlados para depositar un mismo flujo en toda la superficie.

**Figura 12. Sistema de riego de pivote central**



Fuente: Watery México, A.C.

**Figura 13. Sistema de riego con traslación recta**



Fuente: Watery México, A.C.

El riego con pivote central es ideal para el riego de cultivos extensivos en grandes superficies.

### **Sistema de riego por goteo**

El sistema de riego por goteo es una tubería con goteros en serie, que requiere un buen monitoreo y control del agua administrada al cultivo. En versiones más tecnificadas puede ofrecer compensación de presión y con esto se obtiene un gasto constante, que en el caso de instalaciones subterráneas, ofrece mayor resistencia al taponamiento.

La tubería de distribución del sistema de riego por goteo con compensación de presión automática ofrece mayor seguridad contra el taponamiento porque permite manejar un diámetro al menos cinco veces más grande que los riegos por goteo convencionales sin compensación automática de presión.

La característica de compensación de presión ofrece máxima uniformidad porque provee la misma velocidad de la aportación del agua bajo cualquier presión, desde 0.6 hasta 4.1 bar (8 hasta 60 psi).

**Figura 14. Riego por goteo con cintilla superficial**



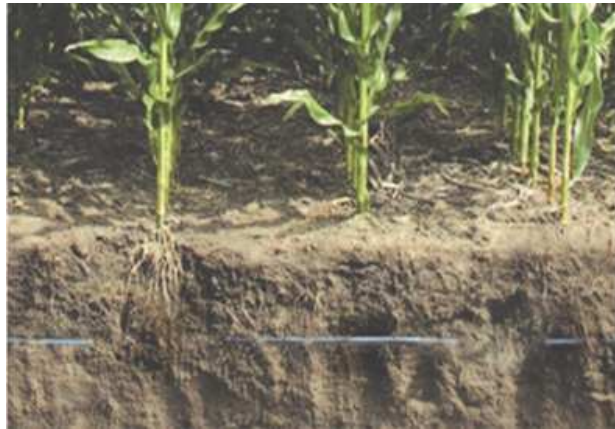
Fuente: Watergy México, A.C.

**Figura 15. Riego por goteo con cintilla subterránea**



Fuente: Watergy México, A.C.

**Figura 16. Cinta de riego por goteo subterránea**



Fuente: Watergy México, A.C.

Existen emisores con y sin compensación de presión, así como con salidas simples y múltiples con selección de flujos.

**Figura 17. Riego por goteo con emisores**



Fuente: Watergy México, A.C.

Dentro de las principales aplicaciones de los sistemas de goteo con emisores se encuentran:

- Actualmente se encuentran innumerables referencias de cultivos con riego por goteo superficial o subterráneo.
- Cultivos de hortalizas de hoja, tales como lechuga, apio, ajo o espárrago, y cultivos leñosos como cítricos y olivos.

- A la fecha se han realizado aplicaciones en alfalfa, maíz, algodón, césped, manzano, pimienta, brócoli, melón, cebolla, papa y tomate, entre los más importantes.
- Teniendo en cuenta que no es posible controlar visualmente el correcto funcionamiento de los emisores por estar enterrados, conviene considerar algunos aspectos prácticos que evitarán problemas de funcionamiento de estos sistemas.
- Control periódico de los caudales habituales de riego por válvulas o sectores, para garantizar el rendimiento adecuado de los emisores.

En la selección y puesta en servicio de un sistema de riego tecnificado los aspectos a considerar incluyen el análisis del sitio, diseño del sistema, cotización, estudio económico, identificación de la fuente de financiamiento, compra y recepción del equipo (sistema completo), apoyo y entrenamiento para la instalación, y el servicio de mantenimiento y garantía post-venta.

### **Mejores prácticas para riego tecnificado**

La caracterización de un riego está dada por la **eficiencia de riego**, que es la relación entre la cantidad de agua bruta extraída y la cantidad de agua neta requerida por el cultivo (ver Sección 2.2). Dichas cantidades se estiman durante el tiempo que transcurre desde la siembra hasta la recolección, o en cultivos perennes durante periodo de cultivo.

En la selección de un sistema de riego tecnificado el objetivo es buscar la sustitución de los tipos de riego poco eficientes como son el de gravedad y el de gravedad por compuertas (por inundación). Los resultados que se buscan son un menor desperdicio del agua, colocando el riego lo más cerca posible del cultivo, y aplicando sólo la cantidad de agua necesaria. También se obtiene un menor desperdicio al regar sólo la zona radicular de la siembra, con lo que se obtiene una eficiencia aún mayor y por tanto un mejor aprovechamiento energético.

## **2.6 Identificación del parque nacional de sistemas de riego**

### **2.6.1 Información general**

En México existen 118 mil pozos para uso agrícola de acuerdo al PRONASE. Alrededor del 70% de dichos sistemas de bombeo tienen potencial de mejorar su eficiencia en consumo de energía. La eficiencia del sistema de bombeo puede mejorarse en aproximadamente un 30% a través de su rehabilitación.

En el sector agropecuario, se ha venido trabajando con agricultores de escasos recursos para rehabilitar sistemas de bombeo ineficientes. Desde 2001 se han rehabilitado alrededor de 6 mil pozos, con una mejora de eficiencia promedio de 37% a 77%. Con base en la experiencia del sector, se estima que el 75% de los agricultores no están informados sobre el consumo de energía de los sistemas de bombeo y de las oportunidades de ahorro en el consumo energético por la rehabilitación del sistema.



## 2.6.2 Registro de usuarios en Tarifa 9

La CFE cuenta con un registro histórico de usuarios suscritos a la tarifa de riego (Tarifa9). Dentro de esta tarifa existen las siguientes variantes:

| Tarifa | Descripción   |
|--------|---|
| 9      | Bombeo de agua para riego agrícola (baja tensión)                     |
| 9M     | Bombeo de agua para riego agrícola (media tensión)                    |
| 9CU    | Cargo único para uso agrícola   |
| 9N     | Bombeo de agua para riego agrícola (nocturna en baja o media tensión) |

A continuación se muestra un resumen del registro.

**Tabla 3. Estadísticas de ventas CFE**

| Usuarios     |                |            |                |            |                |            |                |            |                |
|--------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|
| Tarifa       | 2007           | %          | 2008           | %          | 2009           | %          | 2010           | %          | 2011*          |
| 9            | 11,373         | 2.1        | 11,613         | 5.1        | 12,204         | - 0.1      | 12,191         | - 2.3      | 11,915         |
| 9M           | 16,771         | -1.7       | 16,494         | -1.5       | 16,243         | - 2.8      | 15,793         | - 5.1      | 14,985         |
| 9CU          | 46,365         | -5         | 44,053         | -0.6       | 43,801         | 1.3        | 44,363         | 1.4        | 45,002         |
| 9N           | 38,015         | 12.4       | 42,727         | 4.9        | 44,836         | 4.5        | 46,867         | 4.6        | 49,021         |
| <b>Total</b> | <b>112,524</b> | <b>2.1</b> | <b>114,887</b> | <b>1.9</b> | <b>117,084</b> | <b>1.8</b> | <b>119,214</b> | <b>1.4</b> | <b>120,923</b> |

Fuente: Sistema de Información Energética (SIE), SENER. \* Datos hasta septiembre de 2011.

## 2.6.3 Títulos de Concesión

De acuerdo con el REPDA, elaborado por la CONAGUA, al 30 de septiembre de 2011 se contaba con los siguientes títulos y volúmenes de extracción de aguas tanto superficiales como subterráneas para usos agropecuarios.

**Tabla 4. Títulos de concesión y volúmenes de extracción**

| USO            | AGUAS SUPERFICIALES |  | AGUAS SUBTERRÁNEAS |  | Volumen Total         |
|----------------|---------------------|--|--------------------|--|-----------------------|
|                | Títulos             | Volumen de extracción concesionado m <sup>3</sup> /año | Títulos            | Volumen de extracción concesionado m <sup>3</sup> /año |                       |
| Agrícola       | 26,926              | 36,125,797,699   | 119,983            | 17,889,503,892   | 54,015,301,591        |
| Agroindustrial | 10                  | 464,920  | 55                 | 4,700,947  | 5,165,867             |
| Pecuario       | 15,139              | 63,196,539   | 20,641             | 127,596,940  | 190,793,479           |
| <b>Total</b>   | <b>42,075</b>       | <b>36,189,459,158</b>                                  | <b>140,679</b>     | <b>18,021,801,779</b>                                  | <b>54,211,260,937</b> |

Fuente: REPDA, CONAGUA 2011.

Los títulos de concesión inscritos en el REPDA corresponden a la existencia de títulos de concesión, asignación, permisos o actos administrativos registrados, y elementos de defensa de los derechos de título contra terceros. Es importante mencionar que cada título de concesión puede contener uno o más aprovechamientos (superficiales, subterráneos, descargas de aguas residuales y/o zonas federales).

Además de este Registro, CONAGUA ha puesto también a disposición del público información sobre la localización de dichos aprovechamientos a través del “Localizador de Aprovechamientos” (LOCREPDA). Ambas herramientas se derivan de las disposiciones de la Ley de Aguas Nacionales (LAN).

## 2.6.4 Información del VII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal del INEGI

Como se mencionó en la sección sobre la estructura operativa de los sistemas de riego, en cada entidad del país los sistemas destinados a irrigación están agrupados en Unidades de Riego (UR), que varían en sus capacidades y formas de aprovechar el agua. En el Censo Agrícola, Ganadero y Forestal del INEGI en 2007 se recabó información sobre tres aspectos fundamentales: el número de y extensión cubierta por dichas UR, el tipo de riego empleado, y la fuente de agua que utilizan.

En el primer caso, tanto en el caso del riego tecnificado como del riego de temporal, las UR de Baja California tuvieron la mayor extensión promedio, con 54.64 Ha/UR y 89.07 Ha/UR, respectivamente. La menor superficie promedio por UR la obtuvo, también en ambos casos, el Distrito Federal, con 0.84 Ha/UR para UR con riego y 1.71 Ha/UR para UR de temporal. El promedio a nivel nacional para ambos tipos de riego fue de 15.37 Ha/UR. En el ANEXO I se presentan mayores detalles.

En el caso del tipo de riego utilizado, la siguiente Tabla muestra las entidades con mayor y menor cobertura de cada tipo de riego por UR, así como el promedio nacional por UR y el porcentaje de aplicación a nivel nacional. Es importante notar que además de estos sistemas, el 9.06% de las UR aplican otros métodos de riego no especificados en 609,573 Ha. En el ANEXO II se presentan mayores detalles de este rubro.

**Tabla 5. Porcentajes promedio de adopción de diversos sistemas de riego, por entidad**

| Criterio                                 | Canales recubiertos | Canales de tierra   | Aspersión        | Micro-aspersión  | Goteo                        |
|--|---------------------|---------------------|------------------|------------------|------------------------------|
| Entidades con mayor aplicación (% de UR) | Tlaxcala (67.72%)   | Tamaulipas (86.55%) | Nayarit (61.18%) | Yucatán (27.27%) | Baja California Sur (49.03%) |
| Entidades con menor aplicación (% de UR) | D.F. (1.25%)        | Yucatán (16.32%)    | EdoMex (1.17%)   | Hidalgo (0.06%)  | Puebla (0.54%)               |
| Promedio nacional (% de UR)              | 25%                 | 64%                 | 8%               | 1%               | 3%                           |
| Superficie cubierta                      | 5,378,900 Ha        |                     | 462,514 Ha       | 77,880 Ha        | 198,535 Ha                   |
| Porcentaje de uso a nivel nacional       | 22.60%              | 57.36%              | 6.88%            | 1.16%            | 2.95%                        |

Fuente: Elaboración del consultor a partir de datos del VII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal INEGI (2007).

Finalmente, en lo referente a la fuente de agua utilizada, la información muestra que aproximadamente una tercera parte de las UR emplean pozo profundo; una cuarta parte, agua

de ríos; una cuarta parte, agua de presas, y el resto se divide en las demás fuentes. Es importante notar que 6,727,402 Ha son irrigadas con agua de pozo profundo. En el ANEXO III se presenta la información detallada por entidad.

**Tabla 6. Porcentajes promedio y extremas de uso de diversas fuentes de agua para riego**

| Criterio                                 | Bordo u hoyo de agua | Pozo profundo         | Pozo a cielo abierto | Río               | Manantial        | Presa            |
|--|----------------------|-----------------------|----------------------|-------------------|------------------|------------------|
| Entidades con mayor aplicación (% de UR) | Tabasco (23.60%)     | Quintana Roo (89.94%) | Yucatán (23.27%)     | Veracruz (64.52%) | Morelos (23.97%) | Sinaloa (83.50%) |
| Entidades con menor aplicación (% de UR) | Yucatán (0.26%)      | D.F. (4.92%)          | Hidalgo (0.41%)      | Yucatán (0.00%)   | Campeche (0.00%) | Yucatán (0.11%)  |
| Promedio nacional (% de UR)              | 4.39%                | 35.30%                | 4.62%                | 25.04%            | 6.22%            | 24.33%           |

Fuente: Elaboración del consultor a partir de datos del VII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal INEGI (2007).

## 2.7 Producción y uso de agua a nivel nacional para riego agrícola

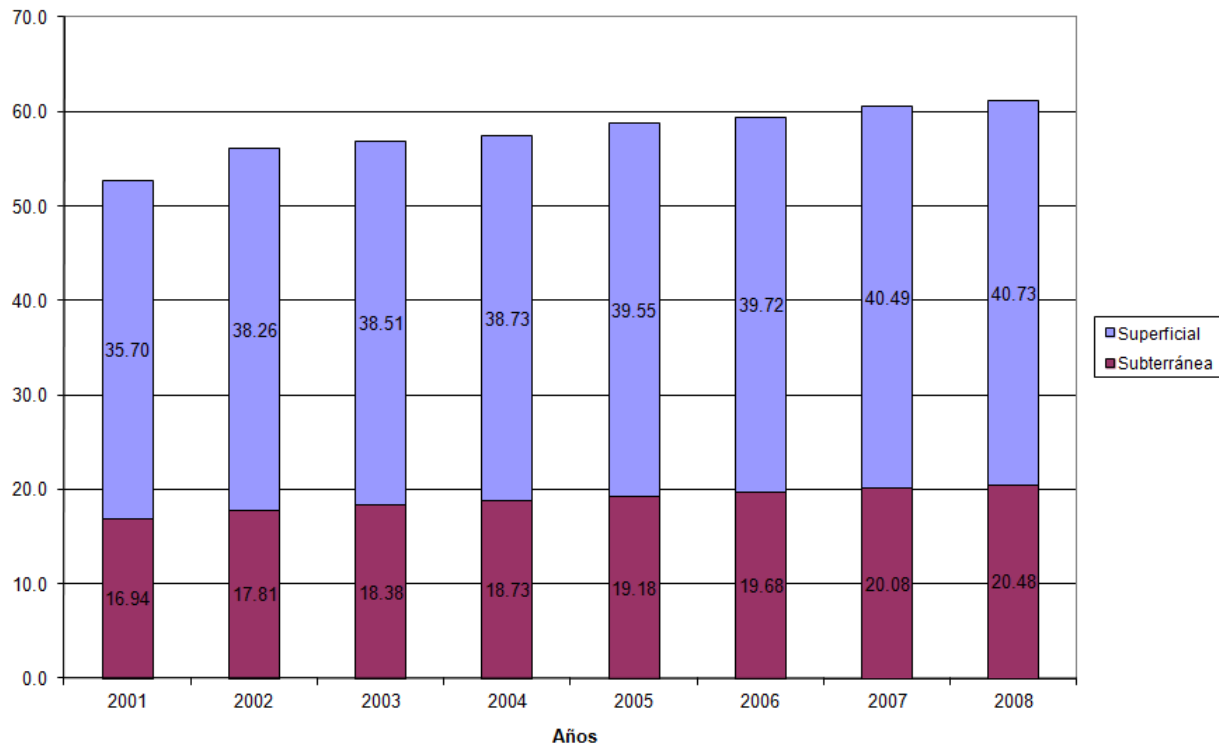
Los usos del agua para actividades agropecuarias se tienen registrados en el Sistema Nacional de Información del Agua (SINA) de la CONAGUA. A continuación se presenta esta información para fuentes superficiales y subterráneas en los últimos años.

**Tabla 7. Cubo de Usos del Agua, CONAGUA, 2008**

| Volumen Agropecuario (millones de m <sup>3</sup> ) | Año              |                  |                  |                  | Total             |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
|  | 2005             | 2006             | 2007             | 2008             |                   |
| Subterránea  | 19,175.97        | 19,679.71        | 20,080.81        | 20,480.87        | 79,417.36         |
| Superficial  | 39,545.36        | 39,720.26        | 40,491.12        | 40,734.08        | 160,490.81        |
| <b>Total general</b>                               | <b>58,721.32</b> | <b>59,399.97</b> | <b>60,571.93</b> | <b>61,214.95</b> | <b>239,908.17</b> |

Fuente: CONAGUA (2010). Sistema Nacional de Información del Agua (SINA).

Figura 18. Volumen concesionado para uso agropecuario por tipo de fuente (10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>)



Fuente: CONAGUA (2010). Sistema Nacional de Información del Agua (SINA).

## 2.8 Tarifas agrícolas y consumos de energía eléctrica

Como se puede observar en la Tabla 8 y Figura 19, en los últimos años el consumo de energía eléctrica para actividades agrícolas ha tendido a aumentar ligeramente entre 2005 y 2011, siendo la Tarifa 9-N la que ha presentado el mayor aumento. La proporción del consumo en las tarifas 9-CU y 9-M ha disminuido ligeramente en el mismo periodo.

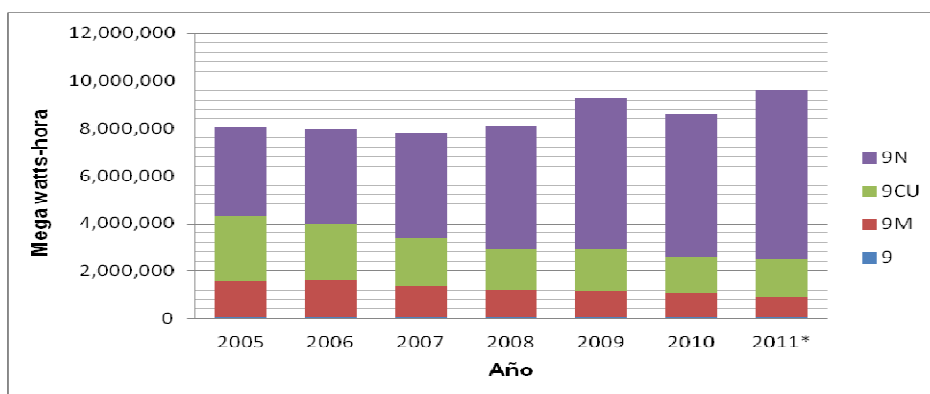
Tabla 8. Ventas internas de energía eléctrica para tarifas agrícolas 2005-2011 (MWh)

| Tarifa       | 2005             | 2006             | 2007             | 2008             | 2009             | 2010             | 2011*            |
|--------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 9            | 60,136           | 68,809           | 59,689           | 65,270           | 68,178           | 81,150           | 67,818           |
| 9M           | 1,488,009        | 1,556,573        | 1,293,654        | 1,160,960        | 1,117,797        | 989,296          | 821,036          |
| 9CU          | 2,738,530        | 2,364,090        | 2,019,197        | 1,698,899        | 1,745,298        | 1,525,557        | 1,579,129        |
| 9N           | 3,780,380        | 3,970,037        | 4,431,244        | 5,183,444        | 6,367,480        | 6,003,590        | 7,169,035        |
| <b>Total</b> | <b>8,067,055</b> | <b>7,959,509</b> | <b>7,803,784</b> | <b>8,108,573</b> | <b>9,298,753</b> | <b>8,599,592</b> | <b>9,637,017</b> |

Fuente: Sistema de Información Energética (SIE), 2011.

\*Hasta septiembre.

Figura 19. Evolución de las ventas internas de electricidad para uso agrícola



Fuente: Elaboración del autor a partir de información del SIE (2011) y CFE (2011).

En el riego tecnificado, se estima que el consumo de energía, requerido en general, está representado por un aumento en la carga de presión que varía de 0 a 60 m adicionales según el tipo de riego. Esto a su vez, se traduce en un consumo energético adicional de entre 9 y 10% en promedio, pues aunque la potencia aumenta existe una disminución en el tiempo de bombeo debido a la propia tecnificación del riego. Finalmente, también es importante considerar que el consumo eléctrico en la agricultura se relaciona inversamente con las condiciones climáticas, pues a mayor precipitación pluvial menos necesidad de bombeo.

## 2.9 Resumen de la información del riego agrícola a nivel nacional

A partir de la información anterior, se ha elaborado a manera de resumen la siguiente tabla.

Tabla 9. Resumen de la información del riego agrícola a nivel nacional, 2007 y 2010

| Criterio                | Variable   | 2007       | 2010*      |
|-------------------------|--|------------|------------|
| Superficie (Ha)         | Superficie cultivable                              | 29,902,092 | 38,756,952 |
|                         | Superficie total cultivada                         | 21,902,572 | 28,388,546 |
|                         | Superficie total con infraestructura riego pozo    | 3,771,369  | 8,719,577  |
|                         | En 85 distritos de riego, 10470 ejidos-comunidades | 6,727,402  | 4,888,179  |
|                         | En 39000 unidades de riego                         | 2,956,032  | 3,831,397  |
| Agua (hm <sup>3</sup> ) | Concesiones <sup>†</sup>                           | 17,713.508 | 17,968.663 |
| Energía eléctrica (MWh) | Consumo <sup>‡</sup>                               | 7,803,792  | 9,040,334  |

Fuente: INEGI. Censo Agropecuario 2007; Sistema de Información Energética (SIE), 2011.

\* Proyección Watergy México, asumiendo un crecimiento real en el número de pozos para bombeo agrícola del 0.5% anual, con base en cifras de CONAGUA y el REPDA. Por otro lado el consumo de energía eléctrica y número de usuarios de CFE en este rubro creció a una tasa del 2.7% anual.

<sup>†</sup> En 2007 se contabilizaron 115,051 concesiones, y se estimaron 116,708 para 2010.

<sup>‡</sup> En 2007 se contabilizaron 112,524 usuarios, y se estimaron 121,767 para 2010.

## 2.10 Identificación de programas institucionales existentes

Todos los programas institucionales existentes corresponden al nivel federal. Ocasionalmente se tiene algún apoyo a nivel estatal, como participación en un porcentaje de la parte que le corresponde a la unidad de riego en los programas federales, pero no existe ningún apoyo a nivel municipal para riego agrícola. A continuación se presenta un resumen de los principales programas en este campo.

### CONAGUA

#### I. Modernización y Tecnificación de Unidades de Riego

OBJETIVO: Tiene como propósito contribuir al mejoramiento de la productividad del agua mediante un manejo eficiente, eficaz y sustentable del recurso agua en la agricultura de riego, a través de apoyos a los productores agrícolas de las unidades de riego con aprovechamientos subterráneos y superficiales. También apoya a los propietarios de pozos particulares dentro de los distritos de riego, para la modernización de la infraestructura hidroagrícola y tecnificación de la superficie agrícola.

#### II. Rehabilitación y Modernización de Distritos de Riego

OBJETIVO: Tiene como objetivo principal hacer un uso más eficiente del agua, desde la red de conducción y distribución hasta la parcela, a fin de reducir los volúmenes empleados en el riego y contribuir en el incremento de la productividad agrícola.

### SAGARPA

#### III. Acuerdo que modifica los Lineamientos por los que se regula el Programa Especial de Energía para el Campo en materia de energía eléctrica de uso agrícola, publicados el 4 de abril de 2005

OBJETIVO: El presente Acuerdo por el que se establecen los Lineamientos, tiene como propósito el establecer el procedimiento para que las personas físicas y morales que realicen actividades agrícolas, y que utilicen energía eléctrica en el bombeo y rebombeo de agua para uso de riego agrícola, sean beneficiarios de la cuota energética de energía eléctrica a tarifas de estímulo, para los procesos productivos primarios de las actividades agrícolas.

#### IV. Lineamientos por los que se regula el Programa Especial de Energía para el Campo en materia de energía eléctrica de uso agrícola

OBJETIVO: Los presentes Lineamientos establecen el procedimiento para que las personas físicas y morales que realicen actividades agrícolas, y que utilicen energía eléctrica en el bombeo y rebombeo de agua para uso de riego agrícola, sean beneficiarios de la cuota energética de energía eléctrica a tarifas de estímulo, para los procesos productivos primarios de las actividades agrícolas.

#### V. Apoyo de la Cuota Energética para Energía Eléctrica de Uso de Riego Agrícola

OBJETIVO: La razón para otorgar este apoyo es disminuir los costos de producción, para promover la competitividad y motivar a realizar un uso eficiente de los recursos naturales (agua y energía eléctrica).

## **SAGARPA – CFE**

### **VI. Acuerdo que establece los lineamientos para la aplicación del apoyo para disminuir el impacto en los costos de producción por el concepto de energía eléctrica en el bombeo de agua para el riego agrícola**

OBJETIVO: El propósito es disminuir, en beneficio de los productores, sujetos productivos, el impacto en los costos de producción por el concepto de energía eléctrica utilizada en el bombeo y rebombeo de agua de riego para uso en los cultivos agrícolas.

## **SAGARPA - FIRA y FIRCO**

### **VII. Proyecto Estratégico de Tecnificación del Riego**

OBJETIVO: El acuerdo permitirá a los fideicomisos FIRA y FIRCO operar recursos del Programa para la Adquisición de Activos Productivos de la SAGARPA en complemento con sus propios apoyos financieros y tecnológicos. Con el objetivo de fomentar la producción de alimentos, realizando un uso sustentable de la cuenca y acuíferos, mediante la tecnificación del riego que permita el uso más eficiente y productivo del agua.

### 3 Identificación de áreas de oportunidad

En esta sección se identifican las mejores prácticas y lecciones aprendidas a nivel nacional e internacional para elevar la eficiencia del bombeo de agua.

#### 3.1 Potenciales de ahorro energéticos en sistemas de bombeo agropecuario

A continuación se enlistan las medidas de ahorro tomando como base el orden en que es conveniente realizarlas, por su facilidad de aplicación y recuperación de la inversión. Todas las cifras y estimaciones de este apartado son responsabilidad de Watery México, A.C.

**a) Optimización del sistema eléctrico.** Puede alcanzar como máximo el 2% del ahorro del consumo. Sin embargo, el mantenimiento y corrección de incumplimientos con la NOM-001-SEDE-2005 permitirá garantizar la continuidad de operación que influye en gran medida en la disminución por pérdidas de producción. El suministrador debe exigir la verificación del cumplimiento de esta norma para otorgar el servicio.

**b) Eficiencia electromecánica máxima** esperada en equipo sumergible (alrededor del 68%) y en equipo vertical bomba turbina y motor alta eficiencia (alrededor del 78%). La mejora esperada es del 30 por ciento en promedio. En todos los casos debe exigirse también el cumplimiento con la normatividad indicada en la sección 3.2.2.

**c) Ahorros por conducción.** En canales de tierra y a cielo abierto las pérdidas pueden ser hasta del 30%. Al cambiar a conducción por tubería sólo serán de un máximo de 2% con una disminución del desperdicio de agua y/o de horas de bombeo del 28%.

**d) Ahorro por riego tecnificado.** Los ahorros radican en un menor desperdicio de agua y/o menor tiempo de operación, sobre todo cuando existe cambio de riego por gravedad a cualquiera de los sistemas de riego tecnificado. La mejora esperada va desde un mínimo de 50% hasta un máximo de 85%, con un ahorro promedio de 22%.

**e) Ahorro promedio.** Tomando en cuenta todos los factores que intervienen en una mejora de la eficiencia energética, se estima un ahorro de un 18% del consumo eléctrico total facturado en kWh.

**f) Beneficio en la producción.** Puede ser considerable, incluso mayor al 100%. Aunque no es directamente un ahorro energético sí representa un mejor aprovechamiento de los recursos agua y electricidad para lograr mayores ingresos.

#### 3.2 Identificación de mejores prácticas y su aplicabilidad

Para comprender el alcance y la aplicabilidad de las mejores prácticas, es necesario recordar los componentes básicos de un sistema de bombeo y los factores que intervienen en ellos. Así, será posible identificar las mejores prácticas a ser consideradas para cada componente.

##### 3.2.1 Componentes básicos

Los sistemas de bombeo para riego constan de tres elementos inseparables:



- 1.- Producción de agua, mediante pozo profundo, conducción y riego del cultivo.
- 2.- Alimentación de energía al sistema motor-bomba, y en general a todo el equipo electromecánico.
- 3.- El coeficiente de utilización del pozo. El comportamiento de este coeficiente se relaciona estrechamente con la EEM del sistema de bombeo y la eficiencia del sistema de riego.

### 3.2.2 Factores que influyen en la eficiencia del sistema

Se deben tomar en cuenta dos *principios básicos* para obtener resultados óptimos: el aprovechar al máximo la energía usada desde la extracción del agua del pozo; y el minimizar las pérdidas en la conducción y uso del agua por medio de un sistema de riego. Para un óptimo funcionamiento de estos principios existen diversas medidas que deben ser consideradas, las cuales se describen a continuación.

#### Pozo profundo

Se debe conocer y dar mantenimiento a la fuente que es el pozo profundo, cuyos parámetros fundamentales son: nivel estático y dinámico; profundidad del pozo y diámetro del ademe; relación entre el gasto y el abatimiento que proporcionan el *coeficiente de utilización* del pozo; ya que los valores iniciales comparados con los actuales son el indicador de la calidad de construcción y comportamiento actual del pozo. Para el correcto funcionamiento y utilización del pozo es de suma importancia la correcta aplicación de la Norma Oficial Mexicana NOM-003-CNA-1996: “*Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos*”, de cumplimiento obligatorio.

#### Equipo electromecánico

Se debe seleccionar y dar un correcto mantenimiento a los equipos electromecánicos, desde la acometida eléctrica generalmente en media tensión, el transformador, el cableado y los equipos de protección eléctricos, hasta la selección del motor eléctrico de mayor eficiencia. Asimismo, deberá ponerse atención en la selección de la bomba y su intervalo de máxima eficiencia hidráulica y mecánica, definidas para un intervalo de gasto y carga adecuados, y tomando en cuenta que la energía también depende directamente del tiempo de operación.

#### Legislación y normatividad

La LAN en su Título Primero establece las bases para el uso y aprovechamiento de los cuerpos de agua en territorio nacional, sean estos superficiales o subterráneos. Son especialmente relevantes los Artículos 1, 2, 3, relativos a las disposiciones y definiciones generales. Para garantizar el buen resultado de esta eficiencia existen las siguientes Normas Oficiales Mexicanas de eficiencia energética, de cumplimiento obligatorio:

**NOM-001-ENER-2000.** Eficiencia energética de bombas verticales tipo turbina con motor externo eléctrico vertical. Límites y método de prueba.

**NOM-004-ENER-2008.** Eficiencia energética de bombas y conjunto motor-bomba, para bombeo de agua limpia, en potencias de 0,187 KW a 0,745 KW. Límites, métodos de prueba y etiquetado.

**NOM-006-ENER-1995.** Eficiencia energética electromecánica en sistemas de bombeo para pozo profundo en operación. Límites y métodos de prueba.

**NOM-010-ENER-2004.** Eficiencia energética del conjunto motor bomba sumergible tipo pozo profundo. Límites y método de prueba.

**NOM-014-ENER-1997.** Eficiencia energética de motores de corriente alterna, monofásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, de uso general en potencia nominal de 0.180 a 1,500 KW. Límites, método de prueba y marcado.

**NOM-016-ENER-2010.** Eficiencia energética de motores de corriente alterna, trifásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, en potencia nominal de 0,746 a 373 kw. Límites, método de prueba y marcado.

Adicionalmente, es recomendable también observar la NOM-001-SEDE-2005 para instalaciones eléctricas (utilización) y la NOM-002-SEDE-1999 para transformadores cuyo cumplimiento conduce a una operación segura y eficiente de los equipos. En el caso de la excavación y explotación de pozos, es de observancia obligatoria la NOM-003-CNA-1996. *“Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos”.*

### Conducción del agua al riego

Es recomendable emplear tuberías en lugar de canales en tierra a cielo abierto, ya que presentan un porcentaje de pérdida que puede llegar hasta un 50%, entre filtración y evaporación. En climas calurosos la evaporación en canales revestidos puede ser superior al 80%. Para la aplicación de las tuberías debe proyectarse un diseño de red de distribución que permita que en todas las salidas se tenga la presión adecuada para conectar el riego tecnificado. En el caso de redes de distribución, es posible su automatización para atender adecuadamente a diversos cultivos o integrantes de la unidad de riego. Si el agua en el sistema se condujera siempre por tubería, teniendo un buen mantenimiento de ésta y un buen diseño de la distribución de presión, la eficiencia de conducción se reduciría al mínimo necesario para hacer llegar el agua necesaria al cultivo.

### Riego tecnificado

Los sistemas de riego deben seleccionarse según el tipo de cultivo a regar, sus características y forma de operar, ya que existen muchas variaciones posibles. Algunos puntos que deben tomarse en cuenta para obtener la mejor eficiencia en el riego son:

- Es recomendable aplicar el agua lo más cercano posible al cultivo para evitar la evaporación. La presión a la salida también debe ser la menor posible.
- Los movimientos del riego, cuando existan, no deben superar la superficie del cultivo.
- Se recomienda medir las necesidades de riego al cultivo mediante higrómetros, tensiómetros o sondas capacitivas FDR, que permitan conocer la humedad entorno a

la raíz del cultivo. Con ello se logran mejoras en los cultivos al cubrir las necesidades de riego de las plantas y al mismo tiempo se evita el desperdicio de agua no aprovechada por dicho cultivo.

### **Balance de energía**

Es importante realizar un balance de energía, ya que desde el punto de vista energético esta es la herramienta que permite analizar mejor las transformaciones y pérdidas, incluyendo la eficiencia del riego, pues permite identificar las pérdidas de energía de cada uno de los componentes del sistema, desde la captación al punto de descarga de la bomba, hasta llegar a cubrir las necesidades del cultivo. El balance de energía se basa en mantener la igualdad entre las entradas de energía, por una parte, y las salidas y pérdidas, por la otra. Si se realiza un análisis a profundidad de la energía consumida, será posible identificar tecnologías de punta que se puedan aplicar en cada etapa, logrando un mayor beneficio y disminución de pérdidas tanto de energía eléctrica como de agua.

### **Equipos de medición**

De acuerdo a lo anterior, en términos de agua aplicada y/o horas de bombeo, existen pérdidas importantes por un mal manejo del agua al no contar con equipos de medición para conocer las necesidades inmediatas del cultivo. El empleo de equipos de medición para los parámetros eléctricos, como voltaje y amperaje, se considera el mínimo indispensable para controlar el funcionamiento eléctrico del equipo. Los demás parámetros como FP, energía y potencia se pueden tomar del medidor instalado por la empresa suministradora, y mediante estas lecturas se conoce la energía eléctrica usada en el sistema.

### **Trabajo útil**

El trabajo útil representa el mínimo necesario para cumplir en su totalidad con los objetivos propuestos en cuanto a la producción del cultivo. Esto es, el trabajo necesario para entregar la cantidad de agua requerida durante el desarrollo del cultivo. Para conocer este volumen de agua, llamado también uso consuntivo o evapotranspiración del cultivo, se debe recurrir a información experimental para cada tipo de cultivo, de suelo y de clima, como referencias principales, aunque pueden existir otras variables.

Dado que el uso consuntivo también es variable durante el desarrollo del cultivo, se emplea un valor ponderado por unidad de superficie cultivada, que se traduce en una *lámina de riego*. La lámina de riego es la cantidad de agua medida en unidades de longitud que se aplica a un cultivo para que este satisfaga sus necesidades fisiológicas durante todo el ciclo vegetativo, además de la evaporación del suelo. En resumen: uso consuntivo = evapotranspiración + agua en los tejidos de la planta. Se puede obtener información de la lámina de riego ponderada en la página de la FAO y del INIFAP.

### **3.3 Causas que impiden aprovechar todo el potencial de ahorro**

Es común encontrar entre la gente involucrada en el ahorro de energía, que las mejoras al sistema se reduzcan únicamente a los equipos que utilizan energía, como el conjunto electromecánico motor-bomba. El problema surge cuando por no tomar en cuenta todos los componentes de un sistema de riego agrícola, no se obtienen los beneficios esperados. Por ejemplo, el equipo no genera el gasto esperado porque no se consideraron las condiciones del pozo, o la carga a la salida del equipo no es la suficiente para llevar el agua al cultivo, lo cual genera un mal precedente para las iniciativas de ahorro de energía en general. Por el contrario, cuando el programa se aplica de manera integral, estudiando todas las características del sistema desde el pozo profundo hasta el tipo de riego, realizando proyectos especializados para dar solución a cada detalle del sistema, pueden generarse resultados de gran beneficio para los agricultores.

Los estudios integrales requeridos previo a la realización de un proyecto requieren de una gran cantidad de información, que normalmente no se encuentra disponible y que es necesario recabar. Además, para obtener financiamiento, los proyectos deben también estar respaldados por especialistas.

## ANEXO I. UNIDADES PRODUCTIVAS Y SUPERFICIE AGRÍCOLA

| ENTIDAD              | Unidades de producción | SUPERFICIE AGRÍCOLA  |                        |                     |                        |                      |
|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|---------------------|------------------------|----------------------|
|                      |                        | TOTAL (Ha)           | DE RIEGO               |                     | DE TEMPORAL            |                      |
|                      |                        |                      | Unidades de producción | (Ha)                | Unidades de producción | (Ha)                 |
| Aguascalientes       | 18,063                 | 170,696.46           | 6,680                  | 50,542.90           | 14,540                 | 120,153.56           |
| Baja California      | 5,672                  | 378,513.12           | 4,782                  | 261,295.29          | 1,316                  | 117,217.84           |
| Baja California Sur  | 2,936                  | 129,337.20           | 2,484                  | 94,233.19           | 638                    | 35,104.01            |
| Campeche             | 36,504                 | 817,956.50           | 1,908                  | 15,831.66           | 35,919                 | 802,124.84           |
| Coahuila de Zaragoza | 31,345                 | 898,673.15           | 13,852                 | 304,577.78          | 20,055                 | 594,095.36           |
| Colima               | 11,469                 | 202,238.20           | 5,115                  | 67,228.31           | 7,970                  | 135,009.90           |
| Chiapas              | 381,101                | 2,200,155.53         | 13,934                 | 45,820.40           | 375,922                | 2,154,335.15         |
| Chihuahua            | 77,222                 | 1,728,117.93         | 17,807                 | 479,375.30          | 64,027                 | 1,248,742.63         |
| Distrito Federal     | 11,414                 | 18,813.65            | 1,362                  | 1,142.44            | 10,352                 | 17,671.22            |
| Durango              | 62,831                 | 934,822.56           | 16,518                 | 185,596.51          | 53,155                 | 749,226.06           |
| Guanajuato           | 145,932                | 1,030,730.17         | 47,777                 | 341,954.70          | 114,187                | 688,775.48           |
| Guerrero             | 261,087                | 1,615,257.66         | 29,234                 | 93,651.88           | 253,525                | 1,521,605.84         |
| Hidalgo              | 191,045                | 587,597.12           | 45,732                 | 97,791.02           | 154,293                | 489,806.11           |
| Jalisco              | 118,857                | 1,694,487.11         | 25,484                 | 191,966.94          | 108,450                | 1,502,520.19         |
| México               | 323,915                | 710,421.84           | 69,005                 | 107,642.36          | 276,301                | 602,779.51           |
| Michoacán de Ocampo  | 179,667                | 1,422,771.48         | 60,146                 | 306,512.45          | 138,841                | 1,116,259.05         |
| Morelos              | 1,020                  | 3,352.27             | 161                    | 640.56              | 942                    | 2,711.71             |
| Nayarit              | 62,456                 | 602,406.44           | 16,153                 | 110,894.71          | 52,122                 | 491,511.74           |
| Nuevo León           | 26,368                 | 594,937.48           | 6,399                  | 128,264.23          | 22,352                 | 466,673.25           |
| Oaxaca               | 327,895                | 1,653,707.94         | 31,467                 | 73,240.19           | 316,030                | 1,580,467.79         |
| Puebla               | 359,563                | 1,011,643.03         | 53,588                 | 118,968.07          | 322,438                | 892,675.00           |
| Querétaro            | 43,175                 | 237,031.45           | 11,222                 | 68,259.95           | 35,005                 | 168,771.51           |
| Quintana Roo         | 24,549                 | 373,719.07           | 762                    | 4,590.96            | 24,309                 | 369,128.11           |
| San Luis Potosí      | 142,399                | 1,039,811.71         | 15,028                 | 102,126.81          | 135,244                | 937,684.91           |
| Sinaloa              | 67,636                 | 1,335,591.96         | 31,869                 | 618,812.87          | 39,861                 | 716,779.10           |
| Sonora               | 22,691                 | 1,259,606.00         | 15,120                 | 748,795.19          | 9,389                  | 510,810.82           |
| Tabasco              | 73,265                 | 597,933.89           | 644                    | 5,518.97            | 73,066                 | 592,414.92           |
| Tamaulipas           | 44,357                 | 1,348,456.97         | 14,667                 | 301,386.88          | 33,675                 | 1,047,070.09         |
| Tlaxcala             | 70,493                 | 205,149.57           | 6,610                  | 10,738.36           | 66,544                 | 194,411.22           |
| Veracruz Llave       | 399,878                | 2,644,987.85         | 15,017                 | 88,377.11           | 391,232                | 2,556,610.75         |
| Yucatán              | 57,849                 | 568,739.25           | 10,673                 | 45,092.23           | 50,717                 | 523,647.03           |
| Zacatecas            | 132,623                | 1,737,560.66         | 23,814                 | 198,470.46          | 122,114                | 1,539,090.21         |
| <b>TOTAL</b>         | <b>3,755,044</b>       | <b>29,902,091.66</b> | <b>630,313</b>         | <b>5,310,622.05</b> | <b>3,354,258</b>       | <b>24,591,469.97</b> |

Fuente: INEGI. Censo Agropecuario 2007.

## ANEXO II. UNIDADES PRODUCTIVAS DE ACUERDO AL SISTEMA DE IRRIGACIÓN UTILIZADO

| Entidad              | Unidades de producción | SISTEMA DE IRRIGACIÓN UTILIZADO |                   |               |                 |               |               |
|----------------------|------------------------|---------------------------------|-------------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|
|                      |                        | Canales recubiertos             | Canales de tierra | Aspersión     | Micro-aspersión | Goteo         | Otro          |
| Aguascalientes       | 6,680                  | 2,691                           | 2,181             | 1,517         | 105             | 228           | 759           |
| Baja California      | 4,782                  | 1,916                           | 2,920             | 205           | 29              | 1,060         | 102           |
| Baja California Sur  | 2,484                  | 71                              | 445               | 198           | 84              | 1,218         | 712           |
| Campeche             | 1,908                  | 56                              | 648               | 228           | 80              | 541           | 430           |
| Coahuila de Zaragoza | 13,852                 | 6,478                           | 10,092            | 841           | 104             | 384           | 441           |
| Colima               | 5,115                  | 1,589                           | 3,071             | 318           | 271             | 421           | 413           |
| Chiapas              | 13,934                 | 3,278                           | 7,406             | 1,214         | 272             | 586           | 2,056         |
| Chihuahua            | 17,807                 | 4,954                           | 10,031            | 1,677         | 791             | 403           | 2,746         |
| Distrito Federal     | 1,362                  | 17                              | 597               | 70            | 2               | 41            | 660           |
| Durango              | 16,518                 | 7,348                           | 10,854            | 509           | 93              | 154           | 1,225         |
| Guanajuato           | 47,777                 | 11,248                          | 27,675            | 3,958         | 169             | 678           | 8,664         |
| Guerrero             | 29,234                 | 6,238                           | 15,090            | 2,443         | 312             | 1,225         | 5,948         |
| Hidalgo              | 45,732                 | 14,168                          | 36,248            | 358           | 29              | 472           | 3,355         |
| Jalisco              | 25,484                 | 4,597                           | 13,387            | 4,228         | 130             | 1,869         | 3,891         |
| México               | 69,005                 | 27,347                          | 49,785            | 807           | 125             | 945           | 1,805         |
| Michoacán de Ocampo  | 60,146                 | 10,852                          | 45,867            | 1,930         | 329             | 2,316         | 4,342         |
| Morelos              | 15,460                 | 4,420                           | 11,189            | 212           | 43              | 245           | 1,535         |
| Nayarit              | 16,153                 | 2,391                           | 2,866             | 9,882         | 204             | 764           | 1,970         |
| Nuevo León           | 6,399                  | 686                             | 4,136             | 1,441         | 174             | 293           | 308           |
| Oaxaca               | 31,467                 | 5,166                           | 18,396            | 3,316         | 445             | 630           | 5,540         |
| Puebla               | 53,588                 | 12,705                          | 38,580            | 3,209         | 114             | 291           | 3,385         |
| Querétaro            | 11,222                 | 3,995                           | 5,900             | 773           | 33              | 405           | 1,478         |
| Quintana Roo         | 762                    | 13                              | 312               | 135           | 39              | 112           | 171           |
| San Luis Potosí      | 15,028                 | 2,662                           | 10,381            | 1,076         | 129             | 826           | 1,508         |
| Sinaloa              | 31,869                 | 3,385                           | 27,486            | 591           | 58              | 1,164         | 1,450         |
| Sonora               | 15,120                 | 4,437                           | 12,003            | 271           | 61              | 494           | 636           |
| Tabasco              | 644                    | 41                              | 115               | 84            | 24              | 91            | 308           |
| Tamaulipas           | 14,667                 | 2,104                           | 12,695            | 329           | 629             | 235           | 589           |
| Tlaxcala             | 6,610                  | 4,476                           | 1,399             | 830           | 21              | 38            | 290           |
| Veracruz Llave       | 15,017                 | 1,882                           | 9,529             | 1,049         | 181             | 734           | 2,448         |
| Yucatán              | 10,673                 | 931                             | 1,742             | 3,707         | 2,910           | 607           | 2,214         |
| Zacatecas            | 23,814                 | 7,734                           | 12,825            | 1,239         | 201             | 1,411         | 2,733         |
| <b>TOTAL</b>         | <b>630,313</b>         | <b>159,876</b>                  | <b>405,851</b>    | <b>48,645</b> | <b>8,191</b>    | <b>20,881</b> | <b>64,112</b> |

Fuente: INEGI. Censo Agropecuario 2007.

### ANEXO III. UNIDADES PRODUCTIVAS DE ACUERDO A FUENTE DEL AGUA PARA RIEGO

| Entidad              | Unidades de producción | FUENTE DEL AGUA PARA RIEGO |                |                      |                |               |                |               |
|----------------------|------------------------|----------------------------|----------------|----------------------|----------------|---------------|----------------|---------------|
|                      |                        | Bordo u hoyo de agua       | Pozo profundo  | Pozo a cielo abierto | Río            | Manantial     | Presa          | Otra          |
| Aguascalientes       | 6,680                  | 203                        | 4,484          | 116                  | 60             | 55            | 2,389          | 42            |
| Baja California      | 4,782                  | 70                         | 2,125          | 153                  | 2,141          | 28            | 363            | 52            |
| Baja California Sur  | 2,484                  | 36                         | 1,842          | 225                  | 17             | 217           | 155            | 100           |
| Campeche             | 1,908                  | 23                         | 1,422          | 372                  | 82             | 0             | 5              | 26            |
| Coahuila de Zaragoza | 13,852                 | 139                        | 3,033          | 115                  | 2,111          | 2,224         | 6,258          | 415           |
| Colima               | 5,115                  | 214                        | 1,789          | 52                   | 2,470          | 265           | 2,136          | 35            |
| Chiapas              | 13,934                 | 833                        | 1,293          | 661                  | 8,273          | 1,642         | 1,130          | 231           |
| Chihuahua            | 17,807                 | 333                        | 8,039          | 478                  | 3,768          | 756           | 5,097          | 575           |
| Distrito Federal     | 1,362                  | 29                         | 67             | 77                   | 42             | 20            | 66             | 1,080         |
| Durango              | 16,518                 | 407                        | 4,482          | 237                  | 4,676          | 690           | 6,954          | 204           |
| Guanajuato           | 47,777                 | 1,595                      | 23,312         | 571                  | 6,172          | 423           | 17,375         | 596           |
| Guerrero             | 29,234                 | 730                        | 2,628          | 1,182                | 11,482         | 4,088         | 7,797          | 1,739         |
| Hidalgo              | 45,732                 | 1,463                      | 4,751          | 188                  | 8,522          | 2,681         | 27,812         | 1,763         |
| Jalisco              | 25,484                 | 1,784                      | 8,126          | 758                  | 5,670          | 1,089         | 8,791          | 662           |
| México               | 69,005                 | 7,631                      | 13,025         | 1,166                | 14,664         | 6,446         | 26,570         | 1,770         |
| Michoacán de Ocampo  | 60,146                 | 4,695                      | 11,986         | 1,765                | 20,970         | 7,640         | 15,512         | 1,116         |
| Morelos              | 15,460                 | 1,422                      | 2,749          | 105                  | 6,705          | 3,706         | 1,406          | 287           |
| Nayarit              | 16,153                 | 1,515                      | 2,108          | 403                  | 9,830          | 782           | 798            | 1,454         |
| Nuevo León           | 6,399                  | 83                         | 2,388          | 144                  | 2,555          | 453           | 801            | 88            |
| Oaxaca               | 31,467                 | 641                        | 4,314          | 3,300                | 16,164         | 2,448         | 4,163          | 928           |
| Puebla               | 53,588                 | 2,891                      | 24,149         | 1,348                | 10,013         | 6,839         | 10,060         | 1,253         |
| Querétaro            | 11,222                 | 1,101                      | 5,183          | 336                  | 1,242          | 604           | 3,852          | 107           |
| Quintana Roo         | 762                    | 11                         | 693            | 46                   | 7              | 3             | 2              | 22            |
| San Luis Potosí      | 15,028                 | 420                        | 7,133          | 920                  | 2,395          | 1,989         | 1,838          | 924           |
| Sinaloa              | 31,869                 | 810                        | 1,782          | 385                  | 2,548          | 65            | 26,610         | 231           |
| Sonora               | 15,120                 | 262                        | 3,734          | 1,485                | 2,308          | 265           | 7,697          | 168           |
| Tabasco              | 644                    | 152                        | 209            | 58                   | 156            | 10            | 11             | 69            |
| Tamaulipas           | 14,667                 | 109                        | 1,445          | 204                  | 4,990          | 895           | 7,478          | 151           |
| Tlaxcala             | 6,610                  | 351                        | 3,553          | 98                   | 2,264          | 105           | 494            | 17            |
| Veracruz Llave       | 15,017                 | 442                        | 1,824          | 308                  | 9,689          | 1,288         | 1,150          | 590           |
| Yucatán              | 10,673                 | 28                         | 8,008          | 2,484                | 0              | 8             | 12             | 234           |
| Zacatecas            | 23,814                 | 580                        | 14,757         | 674                  | 815            | 853           | 6,594          | 136           |
| <b>TOTAL</b>         | <b>630,313</b>         | <b>31,003</b>              | <b>176,433</b> | <b>20,414</b>        | <b>162,801</b> | <b>48,577</b> | <b>201,376</b> | <b>17,065</b> |

Fuente: INEGI. Censo Agropecuario 2007.

## Bibliografía

- CFE (2011). Estadísticas de ventas. <http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/QCFE/EstVtas/PorTarifa.aspx>
- CONAGUA (2010). Sistema Nacional de Información del Agua (SINA). Estadísticas del Agua en México. Uso Agrícola. <http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=60&n3=87&n4=34>
- CONAGUA (2011). Registro Público de Derechos de Agua (REPDA): <http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=5&n2=37&n3=37>
- INEGI (2007). VII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal. [http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/Agro/ca2007/Resultados\\_Agricola/default.aspx](http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/Agro/ca2007/Resultados_Agricola/default.aspx)
- Manual de operación Byron Jackson (Libro de precios). Byron Jackson Company S.A., Pumps Incorporation 1966.
- NOM-003-CNA-1996. Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos. <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/N3.pdf>
- NOM-001-ENER-2000. Eficiencia energética de bombas verticales tipo turbina con motor externo eléctrico vertical. Límites y método de prueba. [http://www.sener.gob.mx/res/Acerca\\_de/nom001ener2000.pdf](http://www.sener.gob.mx/res/Acerca_de/nom001ener2000.pdf)
- NOM-004-ENER-2008. Eficiencia energética de bombas y conjunto motor-bomba, para bombeo de agua limpia, en potencias de 0,187 KW a 0,745 KW. Límites, métodos de prueba y etiquetado. [http://www.sener.gob.mx/res/Acerca\\_de/NOM-004-ENER-2008.pdf](http://www.sener.gob.mx/res/Acerca_de/NOM-004-ENER-2008.pdf)
- NOM-006-ENER-1995. Eficiencia energética electromecánica en sistemas de bombeo para pozo profundo en operación. Límites y métodos de prueba. [http://www.sener.gob.mx/res/Acerca\\_de/nom-006-ener-95.pdf](http://www.sener.gob.mx/res/Acerca_de/nom-006-ener-95.pdf)
- NOM-010-ENER-2004. Eficiencia energética del conjunto motor bomba sumergible tipo pozo profundo. Límites y método de prueba. <http://www.conuee.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/6933/9/NOM010ENER2004.pdf>
- NOM-014-ENER-2004. Eficiencia energética de motores de corriente alterna, monofásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, enfriados con aire, en potencia nominal de 0.180 a 1,500 KW. Límites, método de prueba y marcado. <http://www.conuee.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/6933/9/NOM014ENER2004.pdf>
- NOM-016-ENER-2010. Eficiencia energética de motores de corriente alterna, trifásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, en potencia nominal de 0,746 a 373 kw. Límites, método de prueba y marcado. <http://www.conuee.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/6933/9/NOM016ENER2010.pdf>
- Sistema de Información Energética (SIE). Sector Eléctrico Nacional. Ventas internas de energía eléctrica por tarifa. SENER (2011). <http://sie.energia.gob.mx>
- Watergy México, A.C. Representación en México de la "Alliance to Save Energy". Archivos diversos 2007-2011. <http://www.watergy.org/countries/mexico.php>