



Potencial de mejora de la eficiencia en sistemas de bombeo agropecuario en México

La Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), agradece a la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH (cooperación alemana al desarrollo) por la colaboración y asistencia técnica en la elaboración del presente documento. La colaboración de la GTZ se realizó bajo 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 CONUEE y/o de GTZ. 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/ WATERGY/ GTZ

“Potencial de mejora de la eficiencia en sistemas de bombeo agropecuario en México”, México, D.F., Septiembre del 2010

Edición y Supervisión: Ernesto Feilbogen y Adrián Ruiz, GTZ

Autores: Ing. Juan Francisco Espino del Pozo,

Ing. José Arturo Pedraza Martínez,

Dr. Carlos Hernández Yañez

Diseño: GTZ México

Impreso en México

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

© Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH

Cooperación Técnica Alemana

Dag-Hammerskjöld-Weg 1-5

65760 Eschborn/Alemania

www.gtz.de

Oficina de Representación de la GTZ en México

Torre Hemicor, Piso 11

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

E gtz-mexiko@gtz.de

I www.gtz.de/mexico

ISBN:

México, D.F. Septiembre 2010

Tabla de Contenido

Resumen Ejecutivo	xi
1 Introducción	1
2 Diagnóstico de los sistemas de bombeo para riego agrícola (Componentes, Tecnologías y Factores de Contexto).....	3
2.1 Componentes del proceso 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).....	7
2.1.3 Factores que afectan la Eficiencia Electromecánica (η_e) y las pérdidas de energía en la transformación energética.....	8
2.2 Índice de Consumo Energético de un sistema de riego.....	12
2.3 Otros Indicadores en un sistema de riego	13
2.4 Fundamento legal y normativo de los sistemas de riego.	14
2.4.1 Ley de Aguas Nacionales.....	14
2.4.2 Norma Oficial Mexicana Ley de Aguas Nacionales NOM-003-CNA-1996 Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos	16
2.5 Descripción de la estructura operativa/administrativa de los sistemas de riego agrícola.	17
2.5.1 Estructura operativa.	17
2.5.2 Estructura administrativa.	17
2.6 Caracterización de los sistemas de bombeo para riego agropecuario (Componentes, Tecnologías y Factores de Contexto).....	18
2.6.1 Caracterización energética de los sistemas de bombeo para riego agrícola....	18
2.6.1.1 Pozo Profundo.....	18
2.6.1.2 Equipo de Bombeo	19
2.6.1.3 Sistema de Riego	21
2.6.1.3.1 Riego por Gravedad	22
2.6.1.3.2 Riego por Gravedad por Compuertas.....	22
2.6.1.3.3 Aspersión	23
2.6.1.3.4 Sistema de riego por goteo.....	24
2.6.1.3.5 Sistema de Riego por Micro Aspersores.....	27
2.6.1.3.6 Sistema de Riego con Pivote Central	29
2.6.1.3.7 Pasos a seguir en la selección y puesta en servicio de un riego tecnificado	30

2.6.1.3.8 Mejores prácticas para Riego Tecnificado	30
2.7 Identificación del parque nacional de sistemas de bombeo para riego	32
2.7.1 Información general.....	32
2.7.2 Usuarios tarifa 9 de CFE	32
2.7.3 Títulos de Concesión.....	33
2.7.4 Información del VII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal INEGI.....	34
2.8 Producción de agua a nivel nacional para riego agrícola.....	36
2.8.1 Usos del agua de fuente subterránea para uso Agropecuario	36
2.8.2 Usos del agua de fuente subterránea para uso Agrícola exclusivamente	36
2.9 Cuantificación de consumo de Energía Eléctrica.....	37
2.9.1 Información de consumos tarifa 9 CFE.....	37
2.9.2 Cuantificación de consumos Energéticos para riegos tecnificados	38
2.10 RESUMEN DE LA INFORMACIÓN A NIVEL NACIONAL DEL RIEGO AGRÍCOLA 2007.....	39
2.10.1 SUPERFICIE:.....	39
2.10.2 AGUA:.....	39
2.10.3 ELECTRICIDAD:.....	39
2.11 FACTORES DE CRECIMIENTO A 2010.....	40
2.11.1 SUPERFICIE: crecimiento 0.5% / año.....	40
2.11.2 AGUA: crecimiento 0.5% / año	40
2.11.3 ELECTRICIDAD:.....	40
2.12 Identificación de programas institucionales existentes	41
3 Identificación de áreas de oportunidad.....	43
3.1 Cuantificación de potenciales de ahorros energéticos globales en sistemas de bombeo agropecuario.	43
3.2 Identificación de mejores prácticas y su aplicabilidad.....	45
3.2.1 Componentes básicos	45
3.2.2 Factores que intervienen	45
3.2.2.1 Pozo profundo	45
3.2.2.2 Equipo electromecánico.....	46
3.2.2.3 Normatividad	46
3.2.2.4 Conducción del agua al riego.....	46
3.2.2.5 Riego tecnificado	47
3.2.3 Balance de energía	47
3.2.3.1 Equipos de medición.....	47
3.2.3.2 Trabajo útil.....	48

3.3	Causas que impiden aprovechar todo el potencial de ahorro	49
3.3.1	Desconocimiento de beneficios	49
3.3.2	Falta de cumplimiento de la legislación y de la normatividad	49
3.3.3	Tiempo de realización de los proyectos.....	50
3.3.4	Fuentes de financiamiento.....	50
4	Diseño de una experiencia preliminar	51
4.1	Descripción del programa Uso Eficiente del Agua y la Energía Eléctrica (UEAEE)	51
4.2	Definición de Muestra representativa	52
4.2.1	Cálculo de la Muestra Representativa	52
4.2.2	Muestra con el Programa experimental realizado	52
4.3	Metodología de ejecución del programa.....	52
4.3.1	Datos generales de la Unidad de Riego	53
4.3.2	Datos de la inversión realizada.....	54
4.3.3	Situación de la operación de la Unidad de Riego antes de la inversión	54
4.3.4	Situación de la operación de la Unidad de Riego después de la inversión	56
4.3.5	Datos complementarios.....	57
4.3.6	Evaluación del impacto incremental	57
4.3.7	Análisis financiero	58
4.3.8	Incremento del valor de la producción y la utilidad neta a precios reales.....	58
4.3.9	Manejo conjunto de bases de datos anuales a nivel nacional.....	58
4.4	Definición de indicadores de evaluación.....	59
4.5	Documentación del programa	59
4.5.1	Datos generales de muestra.....	59
4.5.2	Concentrado de datos físicos	60
4.5.3	Tipo de sistema de riego	62
4.5.4	Superficie cosechada	66
4.5.5	Resultados Técnicos del programa desarrollado y usado como experimental.....	69
4.5.6	Índice energético	71
4.5.7	Resumen de los Índices Energéticos.....	72
4.5.8	Resultados en %	72
4.5.9	Otros parámetros	73
5	Programa de implementación en apoyo al diseño de un Programa Nacional.....	75
5.1	Definición de Alcances y Metas.....	75
5.1.1	Acciones contempladas y su interrelación	75

5.1.2	Cuantificación de potenciales de ahorro	77
5.1.3	Propuesta de Ahorro con escenarios I y II	78
5.1.4	Presupuesto para proyectos	83
5.2	Lineamientos generales de operación	84
5.2.1	Recomendaciones generales	84
5.2.2	Herramientas a desarrollar para la Intervención remota	84
5.2.2.1	Materiales de capacitación.....	84
5.2.2.2	Para el proyecto de eficiencia energética.....	84
5.2.2.3	Para el proyecto de eficiencia del riego.....	85
5.2.2.4	Herramientas para la gestión energética.....	85
5.3	Acciones para el fortalecimiento de los programas existentes.....	86
5.3.1	Acciones iniciales	86
5.3.2	Acciones permanentes	86
5.4	Recursos Financieros necesarios para el programa	87
5.5	Beneficios esperados	87
	Bibliografía	88

Lista de Tablas

Tabla 1-1: Tipo de Cambio Usado en el Estudio (01 de Septiembre de 2010) de acuerdo al Banco de México	x
Tabla 2-1. Etapas en un sistema de riego	3
Tabla 2-2. Impacto energético en cada etapa de riego	4
Tabla 2-3 Estadísticas de venta CFE	32
Tabla 2-4 Sistema de información energética.....	33
Tabla 2-5. Según disponibilidad de agua para riego y área de temporal	34
Tabla 2-6. Según sistema de irrigación utilizado	34
Tabla 2-7. Según fuente del agua utilizada para irrigación de los cultivos	35
Tabla 2-8 Cubo de Usos del Agua, CONAGUA, 2008	36
Tabla 2-9 Serie Histórica 2002-2007 de volúmenes de agua concesionados por región a diciembre de cada año.....	36
Tabla 2-10 Estadísticas de venta 2007-2009.....	37
Tabla 2-11 Sistema de información energética, ventas internas de energía eléctrica por tarifa.....	37
Tabla 4-1. Datos generales en información resumida periodo 2003-2007	59
Tabla 4-2. Concentrado de datos físicos de antes y después.....	60
Tabla 4-3 Resultados por tipo de sistema de riego.....	62
Tabla 4-4. Gráficos de resultados anuales por tipo de sistema de riego.....	63
Tabla 4-5. Gráficos de resultados anuales por tipo de sistema de riego (continua)	64
Tabla 4-6. Superficie cosechada antes y después.....	66
Tabla 4-7. Gráficos que muestran la superficie cosechada antes y después.....	67
Tabla 4-8. Gráficos que muestran la superficie cosechada antes y después (continua)	67
Tabla 4-9. Resumen de parámetros técnicos de las aplicaciones al inicio del programa	69
Tabla 4-10 Resumen de parámetros técnicos de las aplicaciones al termino del programa	70
Tabla 4-11 Mejoras en el índice energético con sus referencias	71
Tabla 4-12. Resumen de índices energéticos.....	72
Tabla 4-13. Resumen de índices energéticos en porcentajes.....	72
Tabla 5-1: Propuestas de potenciales de ahorro.	78
Tabla 5-2. Ahorro energético propuestas escenario I.	79
Tabla 5-3. Ahorro energético propuestas escenario II	80
Tabla 5-4. Inversión y ahorro del proyecto.....	83

Lista de Figuras

Figura 2-1. Esquema de un Sistema Típico de Suministro y Consumo Energético en Sistema de Riego.....	8
Figura 2-2 Diagrama general del Balance de Energía	9
Figura 2-3Ejemplo típico de balance de energía para un sistema de riego.....	10
Figura 2-4 Curva de aforo y cálculo de coeficiente de utilización.....	19
Figura 2-5.Bomba Sumergible Figura 2-6. Bomba Vertical tipo turbina.....	20
Figura 2-7. Curva bomba sumergible Figura 2-8. Curva bomba turbina vertical.....	21
Figura 2-9. Riego por Gravedad (inundación).....	23
Figura 2-10. Riego por Gravedad por Compuertas.....	23
Figura 2-11. Riego por aspersion 	24
Figura 2-12. Riego por goteo cintilla superficial	25
Figura 2-13. Riego por goteo cintilla subterránea se aprecia el área de riego	25
Figura 2-14. Cinta de riego por goteo subterránea	25
Figura 2-15. Riego por goteo con emisores.....	26
Figura 2-16 Platanar con Mini Aspersores.....	28
Figura 2-17 Riego con Mini Aspersores.....	28
Figura 2-18. Sistema de riego de pivote central	29
Figura 2-19. Sistema de riego con traslación recta.....	30
Figura 5-1. Comparativo con la meta PRONASE escenario I	81
Figura 5-2. Comparativo con la meta PRONASE escenario II	82

Listado de Abreviaturas

BANOBRAS	Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CFE	Comisión Nacional de Electricidad
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua.
CONUEE	Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía.
EEM	Eficiencia Electromecánica
Eff	Eficiencia
FIDE	Fideicomiso para el Ahorro de Energía
FIRA	Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura en el Banco de México
FIRCO	Fideicomiso de Riesgo Compartido de SAGARPA
FP	Factor de Potencia
GTZ	Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (Cooperación Técnica Alemana)
H	Carga Total del equipo de bombeo
HP	Potencia nominal del motor en Caballos de Potencia
I	Corriente circulando en el conductor
IE	Índice de Consumo Energético
INEGI	Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática
IRE	Índice de Reducción de Emisiones
kVA	Kilovolt Ampere
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt hora
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
REPDA	Registro Público de Derechos de Agua
UEAEE	Programa de Uso Eficiente del Agua y Energía Eléctrica
Q	Gasto o Flujo volumétrico de agua
R	Resistencia del conductor
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
SENER	Secretaría de Energía
TDR	Términos de Referencia
V	Tensión eléctrica trifásica
γ	Peso específico del agua en kg/m ³
ρ	Densidad del fluido a bombear en N/m ³
η_b	Eficiencia de la bomba
η_{em}	Eficiencia electromecánica del conjunto motor – bomba
η_m	Eficiencia de operación del motor

Tabla 1-1: Tipo de Cambio Usado en el Estudio (01 de Septiembre de 2010) de acuerdo al Banco de México

1 MXN	=	0.0598 Euro	=	0.0759 US\$
1 Euro	=	1.2689 US\$	=	16.7089 \$ MXN
1 US\$	=	0.7881 Euro	=	13.1676 \$ MXN

Resumen Ejecutivo

Objetivos

Los objetivos específicos del presente trabajos son:

- Desarrollar un diagnóstico donde se describa 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 de los sistemas de bombeo de agua, en el sector mencionado, y estimar los potenciales de ahorro de energía alcanzables a partir de la evaluación integral de los mismos.
- Desarrollar una propuesta para implementar medidas que eleven la eficiencia de los sistemas de bombeo para riego agrícola a nivel nacional.

Para cumplir cada uno de los objetivos y actividades planteadas, se desarrolló el trabajo en dos etapas: Para la primera etapa de la consultoría se incluye el Diagnóstico e identificación de potenciales de ahorro. Para la segunda etapa se incluye el diseño y metodología para un proyecto piloto, que en nuestro caso coincide con el programa UAEE de CONAGUA y del cual se han tomado los datos promedio de los resúmenes ejecutivos de los años 2003 al 2007 y sus resultados han servido de apoyo para la propuesta que contribuya a la elaboración del Programa Nacional correspondiente.

Estructura del documento:

Como parte fundamental para apoyar el desarrollo de un Programa Nacional de Eficiencia en los sistemas de bombeo, se realiza un trabajo de caracterización de los tipos de sistemas de bombeo típicos que para uso agrícolas son en un 93% de pozo profundo con suministro eléctrico. Esta caracterización se realizó, basados 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, 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 de las necesidades de agua necesaria, que depende directamente del tipo de cultivo.

Asimismo se realiza un trabajo de identificación de los problemas típicos y las principales barreras que pueden impedir el desarrollo del Programa, incluyendo aspectos técnicos, sociales, políticos, legales e institucionales. Como parte de una propuesta para superar estas barreras, el trabajo incluye una descripción de los programas institucionales vigentes en el país, que tienen una relación con el desarrollo de este programa, con el fin de aprovecharlos cabalmente en beneficio de los objetivos mencionados.

Para identificar las áreas de oportunidad y estimar los potenciales de ahorro de energía alcanzables con el enfoque integral, 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 de UEAE 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, de esta manera se podrá caracterizar de modo más preciso donde se tiene una gran área de oportunidad de potencializar los ahorros de energía alcanzables.
- **Estimación de potenciales de ahorro de energía nacionales.** Una vez identificadas las órdenes de magnitud en los consumos, así como las posibilidades de ahorro de energía, económicamente rentables y técnicamente alcanzables, y las barreras que impiden el cabal aprovechamiento de las oportunidades de ahorro, se realizará una estimación de potenciales de ahorro de energía nacionales, que sirvan para replantear los objetivos inicialmente en el UEAE y los otros programas asociados.
- **Análisis y recomendaciones respecto a los programas institucionales.** A la fecha, de acuerdo a la experiencia de Watergy México, se conoce de esfuerzos valiosos pero aislados, sobre todo en materia de eficiencia energética los cuales han carecido de los recursos suficientes y el sustento legal que permita contar con los recursos financieros necesarios para implementar acciones de alcance nacional. Asimismo, el enfoque que se ha adoptado, como ya se mencionó, ha sido limitado.

En este trabajo se propone adoptar un enfoque integral como el descrito en la metodología Watergy, estableciendo claramente aspectos como: Alcances de proyecto, etapas requeridas, tiempos y costos de transacción y por supuesto los criterios de rentabilidad económica en función de los alcances y tomando en cuenta otros impactos económicos, principalmente en materia de postergación o eliminación de necesidades de inversión en nueva infraestructura, que se logren con los proyectos de eficiencia, y beneficios sociales y ambientales que puedan

lograrse. Para la identificación de las mejores prácticas en sistemas de bombeo, se aprovecha la experiencia de Watergy México, no solo en México sino en proyectos realizados en sistemas de bombeo de otros países como El Salvador, Costa Rica, Panamá, Bahamas, Jamaica, Guyana y Surinam, para esto se realizaron las siguientes tareas.

En esta ocasión, dado el carácter de mandato legal que representa el PRONASE sustentado por la LASE, se tiene la oportunidad de conjuntar todos los elementos necesarios para consolidar un esfuerzo permanente y de grandes alcances. Para lograr esto, es importante hacer uso de los recursos y programas disponibles, relacionados con la operación de los sistemas de bombeo tanto agrícolas y municipales. Para ello, como parte de la consultoría, se analizaron los programas anteriores, los existentes y se propone un esquema factible de colaboración interinstitucional que permita aprovechar, sin interferir en la reglamentación existente, los recursos disponibles que puedan ser aplicables a este programa.

Para demostrar la aplicabilidad técnica y la rentabilidad económica de las herramientas y acciones determinadas en el Programa, se define en este trabajo, un proyecto piloto cuyo alcance sea desde el análisis de la problemática, la implementación de las acciones determinadas y como parte de esta consultoría, se realiza el diseño de esta prueba piloto.

Los resultados del proyecto piloto servirán como retroalimentación para reafirmar o replantear los alcances, definición de acciones, lineamientos, y recursos financieros necesarios para un eventual Programa Nacional.

Por último se realiza una propuesta para contribuir a la elaboración de un Programa Nacional donde:

- Se definen las metas a alcanzar con criterios de jerarquización tanto para identificar y aprovechar las medidas alcanzables en corto plazo, con inversiones mínimas como mantenimiento y sustitución de equipos con muy baja eficiencia, hasta los alcances de proyectos integrales que incluyan cambios en las condiciones de operación de los sistemas o las tecnologías aplicables que generalmente tienen mayores beneficios pero sus tiempos de aplicación son a mediano y largo plazo.
- Se describen las acciones contempladas en el Programa Nacional y su interrelación.
- Se describen los lineamientos generales de operación. Donde se detallan los mecanismos necesarios para dar seguimiento y evaluar los resultados del programa periódicamente, incluyendo los indicadores individuales, para cada proyecto, que deberán ser compatibles con los utilizados por la prueba piloto, como los de alcance nacional.
- Y por último se describen los Recursos Financieros necesarios para el programa. tomando en cuenta los criterios de jerarquización establecidos en la definición de alcances.

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

Dentro del análisis de las necesidades de energía y agua en los 118,470 usuarios de pozos para sistemas de riego agrícola, se encuentra que solo unos 6, 000 han usado los programas existentes para mejora.

SUPERFICIE CULTIVABLE:	38,756,952 Ha
• superficie total cultivada en 2010	28,388,546 Ha
• superficie total con infraestructura riego pozo	8,719,577 Ha
• en 85 distritos de riego 10470 ejidos, comunidades	4,888,179 Ha
• en 39000 unidades de riego	3,831,397 Ha
AGUA:	
• concesiones 116,708	17,968.663 hm ³
Electricidad:	
• USUARIOS	118,470
• CONSUMO AÑO 2010	9,040,334 MWh

Estos consumos son solo por concepto de los sistemas de bombeo de agua.

En base a las experiencias de Wateryg Mexico, aplicando la metodología integral que permite ahorrar más energía que las convencionales, comúnmente aprovechadas, se pueden lograr ahorros de hasta el 50 % globales 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
- 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 quipos donde no se alteran condiciones de diseño
- Reducción de Pérdidas Mecánicas optimizando practicas 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.

En base a estos potenciales, a nivel nacional, el ahorro de energía, realizando proyectos integrales de ahorro de energía y agua, se pueden lograr hasta 0.046 TWh anuales. Para lograr este objetivo, la inversión global necesaria se estima en 430.22 Millones de pesos anuales.

Es importante resaltar que con la realización de los proyectos integrales como se plantean, 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%

Como parte de las metas propuestas, se plantean, como escenario ideal para lograr las metas previstas por el PRONASE, realizar de 600 a 1200 proyectos anualmente con un total al año 2030 de 22800 Unidades de Riego atendidas, con ello se podrían lograr, considerando un crecimiento anual de los sistemas del 0.5 % anual, un ahorro de energía anual de entre 20 - 46 GWh y un ahorro total alcanzable al 2030 de 4.25 a 9.65 TWh. Dado el elevado presupuesto que eso implicaría llevar el plan al máximo ahorro de energía, se proponen los dos escenarios alternativos, un mínimo de 600 proyectos integrales anuales tendría un costo de 215 Millones de pesos anuales.

Para el logro de estas metas, se plantea un conjunto de actividades encuadradas en dos bloques:

Bloque 1. Actividades iniciales de implementación del Plan. Estas incluyen un conjunto de acciones de cabildeo y difusión de los objetivos, beneficios y actividades del Plan como; Negociación y oficialización del Plan ante las instituciones a involucrar. Las principales instituciones en este caso, incluyen a la CONAGUA, FIDE, BID, FIRA, Desarrollo del proyecto piloto.

Bloque 2. Actividades Permanentes de promoción, evaluación y seguimiento que den vida y viabilidad al Plan nacional, que incluyen:

- Gestión y desarrollo de proyectos.
- Implementación de proyectos.
- Evaluación y documentación de resultados

También se hace un análisis del potencial de reducción de emisiones por el ahorro de energía alcanzable que asciende a 950 Millones Ton CO₂/año, que representa aproximadamente el 50%

del potencial en el sector de agua y saneamiento de toda Latinoamérica y el Caribe, calculado usando la metodología AM0020

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, sobre todo realizando proyectos integrales que consideren la eficiencia electromecánica de los sistemas de bombeo y la eficiencia de los riegos reduciendo pérdidas de agua por conducción y desperdicio de agua en el riego, son muy importantes, y se conjuntan con otros beneficios para los productores como es el incremento de un 380 % en la producción mejorando su sustentabilidad financiera con el aumento de sus ingresos y mejorando la operación.

Entre los principales lineamientos y recomendaciones generales, destacan las siguientes:

1. Fortalecer los programas existentes de CONAGUA mediante la implementación de una herramienta de PRE-DIAGNÓSTICO que permita enfocar las soluciones más eficientes de menor costo.
2. Se requiere una estructura permanente que realice actividades necesarias de gestión de proyectos: promoción, evaluación, seguimiento y difusión.
3. Se necesita prever el financiamiento de esos costos de transacción como parte del programa.
4. Se requiere facilitar la superación a las barreras existentes sobre todo las que impiden el cumplimiento de la legislación y de la normatividad en el control tanto de los gastos y consumos hidráulicos, como los abatimientos de los acuíferos mediante mediciones obligatorias, así como los consumos eléctricos.
5. Se requiere tener acceso formal a los programas oficiales existentes. Tramitar criterios de priorización ante las respectivas autoridades.
6. Se requiere considerar en cada proyecto la cuantificación de reducción de emisiones, lo cual, a mediano plazo puede representar otra fuente de ingresos a través de Mecanismo de Desarrollo Limpio.
7. Se propone iniciar un estudio energético de los casos típicos atendidos con los programas existentes con el fin de obtener mayor experiencia de las mejores prácticas para lograr el máximo ahorro de energía con la mínima inversión posible.

1 Introducción

El 28 de Noviembre del 2008, se publica la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía. Esta ley tiene como Objetivo , propiciar un aprovechamiento sustentable de la Energía, y 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 documento de, 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:

- Iluminación
- Transporte
- Equipos del hogar
- Cogeneración
- Edificaciones
- Motores industriales
- Bombas de agua

Dado que una de las áreas prioritarias es el bombeo, se estableció el objetivo de incrementar la eficiencia de los sistemas de bombeo de agua a través de: “Fortalecer el programa de apoyo para la rehabilitación de sistemas de bombeo agropecuario”, incluyendo la parte relativa a la conducción del agua y su distribución al cultivo mediante riego tecnificado. Con dicha línea de acción se espera obtener un abatimiento de hasta 0.09 TWh entre 2011 y 2012; y de 9.65 TWh acumulado hasta el 2030.

En base a esto, la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (Cooperación Técnica Alemana GTZ) contrató los servicios de Watery México A.C tomando en cuenta la amplia experiencia que tiene esta empresa para realizar una consultoría para la Comisión Nacional de Uso Eficiente de la Energía y de esta manera establecer un programa de apoyo para la rehabilitación de sistemas de bombeo municipal y medidas para fortalecer el programa de apoyo para la rehabilitación de sistemas de bombeo agropecuario.

El presente trabajo propone las acciones específicas para el diseño e implementación de los programas de rehabilitación de sistemas de bombeo, basado en un diagnóstico sobre la situación que guarda el bombeo agrícola, complementado con la experiencia que se tiene en el desempeño y desarrollo de proyectos de eficiencia energética, y brindar a su vez un diagnóstico sobre la situación que guarda el bombeo agropecuario en aspectos vinculados a su desempeño energético.

Otros objetivo importantes que pretende cumplir este trabajo, son; por un lado, aprovechar esfuerzos anteriores realizados en el país en materia de eficiencia energética en sistemas de bombeo de agua, y por otro, conjuntar esfuerzos de las principales instituciones involucradas en el sector de agua para riego agrícola que es uno de los primeros usuarios de energía a través del bombeo de agua. En realidad, aunque se han hecho esfuerzos significativos en el sector, incluyendo las acciones emprendidas por la CONUEE en el impulso a las NOMs que están relacionadas con los sistemas de bombeo, y la propia CONAGUA, han sido esfuerzos valiosos pero aislados, y nunca se ha realizado de manera formal un Programa Nacional, liderado por una entidad oficial como en este caso la CONUEE, cuyo objetivo sea incrementar la Eficiencia Energética en los sistemas de bombeo de agua para riego agrícola, como pretende este trabajo.

2 Diagnóstico de los sistemas de bombeo para riego agrícola (Componentes, Tecnologías y Factores de Contexto)

2.1 Componentes del proceso de un sistema de riego agrícola

Para explicar integralmente el papel que la energía juega en el sector 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, que 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.

La tabla 2-1 siguiente describe las etapas, así como los principales energéticos utilizados en cada una de ellas.

Tabla 2-1. Etapas en un sistema de riego

ETAPA	OPERACIÓN	SISTEMA ELECTROMOTRIZ UTILIZADO	ENERGÉTICO UTILIZADO
CAPTACIÓN	Extracción del Pozo profundo	SISTEMAS DE BOMBEO DE POZO PROFUNDO SUMERGIBLES O DE TURBINA DE FLECHA	ELECTRICIDAD
ACONDICIONAMIENTO	Fertilización	SISTEMA DE BOMBEO DE DOSIFICACIÓN, TIPO RECIRCULANTES 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 CENTRIFUGOS HORIZONTALES O VERTICALES	ELECTRICIDAD
RIEGO	Depositar una lámina de agua necesaria para el cultivo	SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN UNIFORME DE LA CARGA HIDRÁULICA A GASTO CONSTANTE	ENERGÍA HIDRÁULICA

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. 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 2-2 siguiente.

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

ETAPA	NOMBRE de la operación	descripción básica	impacto relativo sobre consumo de ENERGÍA (%) TÍPICO	Observaciones importantes SOBRE EL CONSUMO ENERGETICO
CAPTACIÓN	Extracción de Pozo profundo	Extraer el agua hacia la superficie bombeando el agua blanca 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
ACONDICIONAMIENTO	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.
CONDUCCIÓN	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.
DISTRIBUCIÓN	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.
RIEGO	Depositar en el suelo 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
TOTALES			100 %	

Cabe mencionar que estos datos solo 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 presentara una caracterización de los sistemas basados en estos factores para nuestro país.

Como se menciono, 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:

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

Donde:

P_e = Potencia Requerida por el Equipo de bombeo en W

Q = Gasto suministrado por el equipo en m³/s

H = Carga Total del equipo de bombeo en m

ρ = Densidad del fluido a bombear en N/m³, para el agua el valor será de = 9.81

η_e = Eficiencia Electromecánica del equipo de bombeo.

Las 3 principales variables que influyen en la potencia de los equipos de acuerdo a la relación descrita y los factores que las afectan son:

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 (Registro Público de Derechos del Agua). 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 Concesionario 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 clausula 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, además de con los niveles de desperdicio, con el control del aprovechamiento del agua de lluvia, con el nivel de evapotranspiración del cultivo y de la evaporación al ambiente, expresado por mayor o menor cantidad de horas de trabajo del sistema de riego.

Un mayor número de horas de trabajo es un mayor consumo energético.

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, fugas, etc., 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 deficiente manejo 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 para el sistema de riego y la falta de herramientas técnicas para la toma de decisiones para dicho manejo y/o deficiencias técnicas en el equipo que no permiten la regulación de las presiones que permitan una distribución uniforme del agua en el riego, sin provocar excesos o deficiencias en las distintas áreas a regar produce pérdidas de energía. Esta situación genera que el sistema de riego tenga un desgaste operativo y mayores costos energéticos.

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

Ausencia de sistemas de automatización (Sondas de humedad o sondas higrométricas, medición del clima: 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 debe compensarse con un menor consumo de agua, al optimizar el riego con un control más estricto del aprovechamiento efectivo del agua por el cultivo.

Esto sucede cuando se lleva un control más exacto de las cantidades de agua que deben ser aplicadas, gracias a la medición de las necesidades del cultivo.

2.1.2 Factores que afectan la carga total (H)

Su expresión matemática es:

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

Donde:

H = Carga total de bombeo en mca (columna de agua)

P_m = Presión en la descarga dada en mca 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. Desde que profundidad se bombea

La sobre explotación 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.

Coefficiente de extracción alterado: por oxidación, o sarro en el ranurado del ademe, o por obstrucción debido a mala selección del grabado 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.

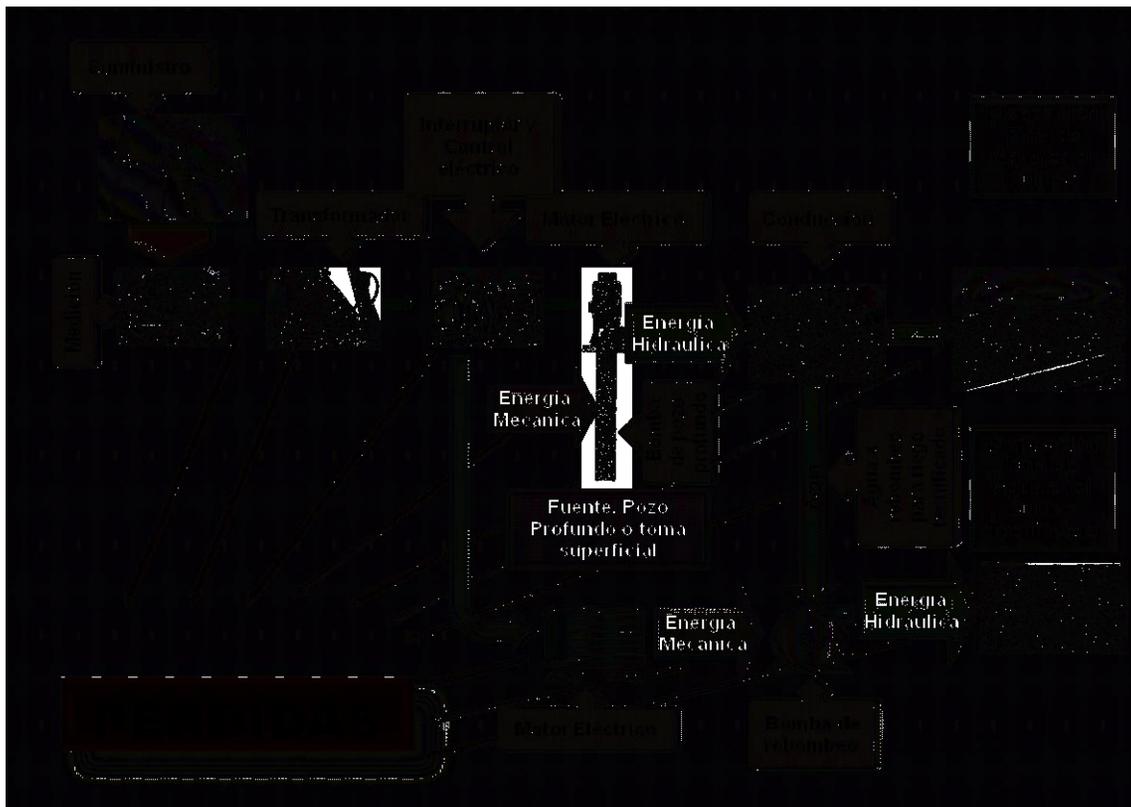
Los riegos tecnificados en su gran mayoría emplean conducción por tuberías, para el caso influye de modo importante la antigüedad de las tuberías, si tienen incrustación, el diseño inadecuado de las líneas de distribución al riego, caídas de presión excesivas por el manejo de dichas líneas, etc.

2.1.3 Factores que afectan la Eficiencia Electromecánica (η_e) y las pérdidas de energía en la transformación energética

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 2-1, 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 esta a hidráulica, para mediante una conducción hidráulica llegar hasta la disposición final del agua directamente o mediante rebombeo al cultivo.

Figura 2-1. Esquema de un Sistema Típico de Suministro y Consumo Energético en Sistema de Riego



En cada etapa de la cadena energética, se aprovecha parte de la energía y otra parte no es aprovechable y 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 esta sea aprovechada en su totalidad, por lo cual el trabajo útil solo corresponde a un porcentaje de la energía de entrada.

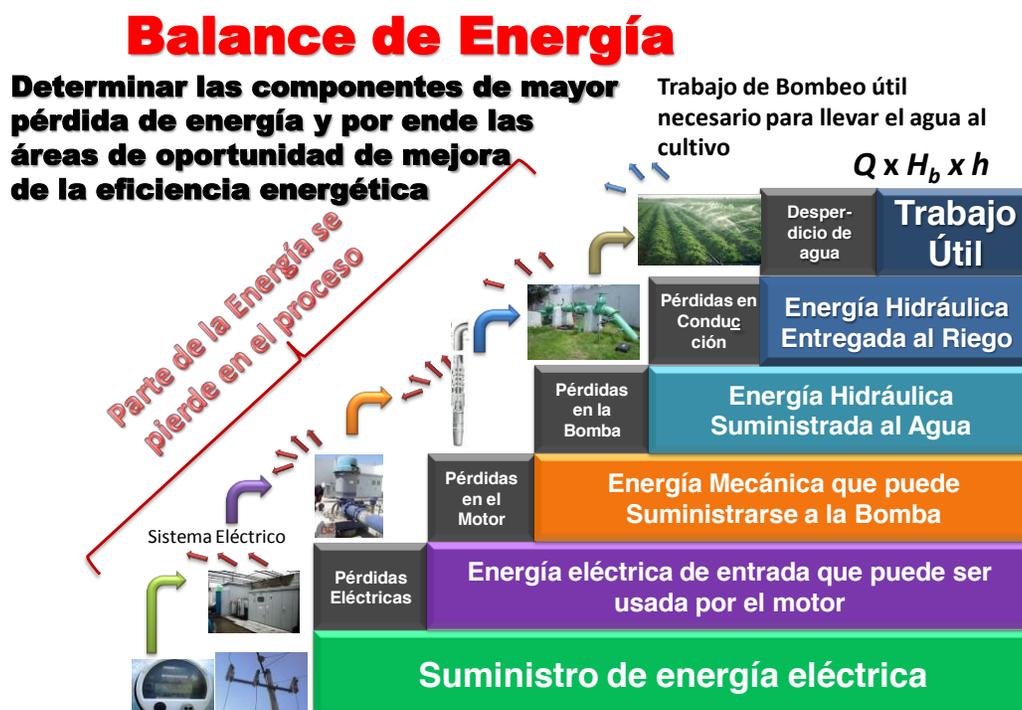
Cada etapa tiene una eficiencia en el manejo de la energía cuyo valor ideal sería el 100 %, pero como no es así, la aplicación de tecnologías innovadoras o simplemente mejores prácticas usadas en cada etapa representan áreas de oportunidad para el uso eficiente de la energía.

El proceso de auditoría energética que se plantea en este documento que consiste en determinar las perdidas en cada etapa de la cadena y finalmente la cantidad de la energía suministrada que se convierte en trabajo útil o sea que determinando cual es el mínimo trabajo para bombear el agua estrictamente necesaria utilizada por el cultivo, encontrar, mediante la determinación de las áreas de oportunidad, cuanto es la menor cantidad de energía que se puede suministrar sin arriesgar los resultados.

A este proceso se le conoce como determinación del Balance de Energía.

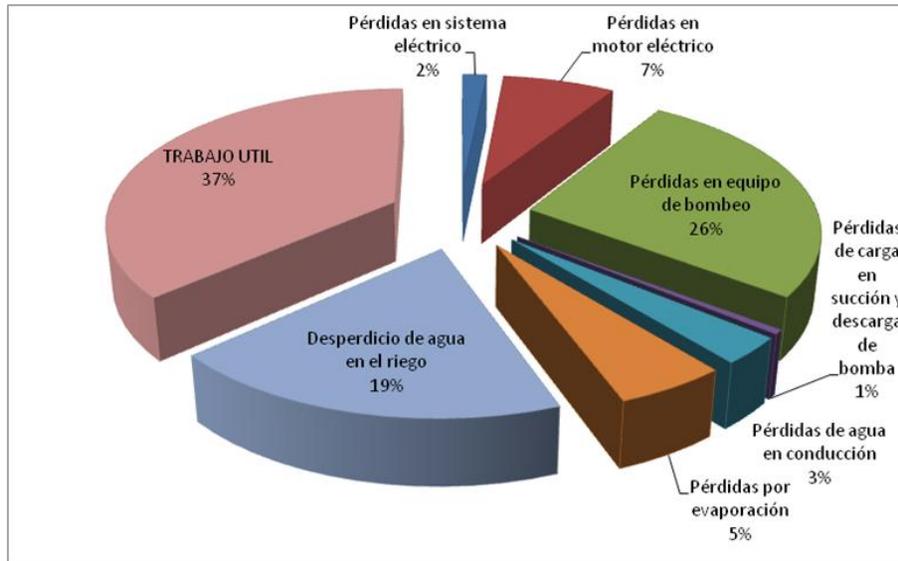
Un diagrama simple del balance es el siguiente:

Figura 2-2 Diagrama general del Balance de Energía



La energía que no se convierte en trabajo útil, representa pérdida de la misma y por ende áreas de oportunidad de ahorro. Esta técnica permite identificar y cuantificar en donde están las mayores pérdidas, de cuanto son y cuanto de esas se pueden ahorrar, sin dejar ninguna parte del sistema sin evaluar.

Figura 2-3Ejemplo típico de balance de energía para un sistema de riego



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

1. Calidad de la Energía Eléctrica.

Instalación eléctrica inadecuada, bajo factor de potencia, 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.

Por ejemplo si no se usan motores de alta eficiencia, motores mal seleccionados.

3. Niveles de Eficiencia de las bombas.

Bombas mal seleccionadas en un rango 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 del clima temperatura y humedad ambiente.

El **consumo de energía** de los sistemas de bombeo para riego esta dado por la **potencia demandada en promedio**, durante las **horas de operación en el año** y se calcula en base a 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 en W

El consumo de energía total del sistema de riego es la suma del consumo de energía en el equipo de bombeo del pozo, mas el consumo en el resto de los componentes incluyendo la energía perdida y desperdiciada de acuerdo al concepto del balance de energía descrito anteriormente y 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 de un sistema de riego

Un indicador muy importante para relacionar el consumo de energía con los volúmenes de agua usada en un cultivo es el Índice Específico de Consumo Energético o IE.

Este indicador, expresado en (kWh/m³) representa la relación exacta entre la energía utilizada por un sistema de riego para producir la cantidad de agua necesaria para un cultivo a lo largo de 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..

$$IE = \frac{\text{Energía total consumida por los equipos (kWh/año)}}{\text{Volúmen total producido en captaciones (m³/año)}}$$

El volumen de agua producido es expresado en metros cúbicos al año, determinado en el medidor de volumen acumulado en el año. La energía utilizada se determina utilizando 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 en función del agua producida bruta o sea la extraída en el pozo y la neta o sea la necesaria para el cultivo; el segundo 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 2-2 tiene una aportación a dicho índice dependiendo de las condiciones particulares de cada 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:

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 (\$/m³):

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 (\$/m³):

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 de primeros cultivos.

2.4 Fundamento legal y normativo de los sistemas de riego.

Se presentan artículos de la Ley de Aguas Nacionales y la Norma Oficial Mexicana que se subrayan, pues su cumplimiento es básico para el buen funcionamiento del Programa que se proponga, debe tomarse en cuenta que actualmente no ha sido posible alcanzar el mayor beneficio en el ahorro energético debido por ejemplo a la falta de control en el gasto, incumpliendo con ellas.

2.4.1 Ley de Aguas Nacionales.

Titulo primero disposiciones preliminares

Capitulo único

Artículo 1. La presente ley es reglamentaria del artículo 27 de la constitución política de los estados unidos mexicanos en materia de aguas nacionales; es de observancia general en todo el territorio nacional, sus disposiciones son de orden público e interés social y tiene por objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable.

Artículo 2. Las disposiciones de esta ley son aplicables a todas las aguas nacionales, sean superficiales o del subsuelo. Estas disposiciones también son aplicables a los bienes nacionales que la presente ley señala.

Artículo 3. Para los efectos de esta ley se entenderá por:

I. “Aguas Nacionales”: Son aquellas referidas en el párrafo quinto del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos;

II. “Acuífero”: Cualquier formación geológica o conjunto de formaciones geológicas hidráulicamente conectados entre sí, por las que circulan o se almacenan aguas del subsuelo que pueden ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento y cuyos límites laterales y verticales se definen convencionalmente para fines de evaluación, manejo y administración de las aguas nacionales del subsuelo;

IV. “Aguas del subsuelo”: Aquellas aguas nacionales existentes debajo de la superficie terrestre;

XII. “Comisión Nacional del Agua”: Órgano administrativo desconcentrado de la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, con funciones de derecho público en materia de gestión de las aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes, con autonomía técnica, ejecutiva, administrativa, presupuestal y de gestión, para la consecución de su objeto, la realización de sus funciones y la emisión de los actos de autoridad que conforme a esta ley corresponde tanto a esta como a los órganos de autoridad a que la misma se refiere;

XIII. “Concesión”: Título que otorga el ejecutivo federal, a través de “La Comisión” o del organismo de cuenca que corresponda, conforme a sus respectivas competencias, para la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales, y de sus bienes públicos inherentes, a las personas físicas o morales de carácter público y privado, excepto los títulos de asignación;

Para los fines de esta ley, se considera como:

XXXI. “La Comisión”: La Comisión Nacional del Agua;

XXXII. “La Ley”: Ley de aguas nacionales;

XXXIII. “La Procuraduría”: La Procuraduría Federal de Protección al Ambiente;

XXXIV. “La Secretaría”: La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales;

XXXVIII. “Normas Oficiales Mexicanas”: Aquellas expedidas por “La Secretaría”, en los términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización referidas a la conservación, seguridad y calidad en la explotación, uso, aprovechamiento y administración de las aguas nacionales y de los bienes nacionales a los que se refiere el Artículo 113 de esta Ley;

XLIV. “Registro Público de Derechos de Agua”: (REPDA) Registro que proporciona información y seguridad jurídica a los usuarios de aguas nacionales y bienes inherentes a través de la inscripción de los títulos de concesión, asignación y permisos de descarga, así como las modificaciones que se efectúen en las características de los mismos; A. Concesiones o Asignaciones para la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales

LI. “Unidad de Riego”: Área agrícola que cuenta con infraestructura y sistemas de riego, distinta de un distrito de riego y comúnmente de menor superficie que aquel; puede integrarse por asociaciones de usuarios u otras figuras de productores organizados que se asocian entre sí libremente para prestar el servicio de riego con sistemas de gestión autónoma y operar las obras de infraestructura hidráulica para la captación, derivación, conducción, regulación, distribución y desalojo de las aguas nacionales destinadas al riego agrícola;

LIII. “Uso Agrícola”: La aplicación de agua nacional para el riego destinado a la producción agrícola y la preparación de esta para la primera enajenación, siempre que los productos no hayan sido objeto de transformación industrial;

LV. “Uso Consuntivo”: El volumen de agua de una calidad determinada que se consume al llevar a cabo una actividad específica, el cual se determina como la diferencia del volumen de una calidad determinada que se extrae, menos el volumen de una calidad también determinada que se descarga, y que se señalan en el título respectivo;

LXV. “Zona de Veda”: Aquellas aéreas específicas de las regiones hidrológicas, cuencas hidrológicas o acuíferos, en las cuales no se autorizan aprovechamientos de agua adicionales a los establecidos legalmente y estos se controlan mediante reglamentos específicos, en virtud del deterioro del agua en cantidad o calidad, por la afectación a la sustentabilidad hidrológica, o por el daño a cuerpos de agua superficiales o subterráneos.

Artículo 4. La autoridad y administración en materia de aguas nacionales y de sus bienes públicos inherentes corresponde al ejecutivo federal, quien la ejercerá directamente o a través de “La Comisión”.

Artículo 29. Los Concesionarios tendrán las siguientes obligaciones, en adición a las demás asentadas en el presente título:

I. Ejecutar las obras y trabajos de explotación, uso o aprovechamiento de aguas en los términos y condiciones que establece esta ley y sus reglamentos, y comprobar su ejecución para prevenir efectos negativos a terceros o al desarrollo hídrico de las fuentes de abastecimiento o de la cuenca hidrológica; así como comprobar su ejecución dentro de los treinta días siguientes a la fecha de la conclusión del plazo otorgado para su realización a través de la presentación del aviso correspondiente;

II. Instalar dentro de los cuarenta y cinco días siguientes a la recepción del título respectivo por parte del interesado, los medidores de agua respectivos o los demás dispositivos o procedimientos de medición directa o indirecta que señalen las disposiciones legales y reglamentarias aplicables, así como las normas oficiales mexicanas;

III. Conservar y mantener en buen estado de operación los medidores u otros dispositivos de medición del volumen de agua explotada, usada o aprovechada;

2.4.2 Norma Oficial Mexicana Ley de Aguas Nacionales NOM-003-CNA-1996 Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos

La NOM-003-CNA-1996 señala lo siguiente:

6.7 Dispositivos de medición y monitoreo

6.7.1 Medidor de volúmenes

Con el objeto de disponer de un medio seguro para conocer los caudales de extracción del pozo, es indispensable la instalación de un dispositivo de medición compatible con los volúmenes proyectados de extracción.

6.7.2 Toma lateral

Se requiere instalar un dispositivo lateral en la tubería principal de descarga para el muestreo del agua.

6.7.3 Medición de niveles

También se requiere la instalación de un dispositivo que permita medir la profundidad del nivel del agua en el pozo.

6.8 Documentos requeridos para la aprobación de operación del pozo.

Para aprobar la operación del pozo por parte de la Comisión, es necesario que el concesionario o asignatario entregue los siguientes documentos:

- a) Croquis de localización del pozo, indicando las posibles fuentes de contaminación
- b) Registro eléctrico del pozo, integrado por:
 - Curvas de resistividad (normal corta, normal larga y lateral)
 - Curva de potencial espontáneo (S.P.)
- c) Registro estratigráfico (corte litológico)
- d) Diseño final del pozo
- e) Requisitos y memoria de cálculo y resultado del aforo
- f) Análisis físico-químico del agua que incluya determinación del pH, conductividad eléctrica, sulfatos, nitratos, cloruros, dureza total, calcio, sodio, potasio y sólidos disueltos totales.

Es por esto que es sumamente importante vigilar el cumplimiento de esta norma.

2.5 Descripción de la estructura operativa/administrativa de los sistemas de riego agrícola.

2.5.1 Estructura operativa.

La operación de los sistemas de riego es desarrollada principalmente por Unidades de Riego las que son controladas 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 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.

2.5.2 Estructura administrativa.

La administración es llevada a cabo por las propias Unidades de Riego que así como manejan la distribución del agua y el tandeo del riego, también se organizan para manejar la administración de la misma Unidad de Riego.

Todos los costos de la operación y manejo del riego como: la energía eléctrica, personal que atiende el equipo de bombeo, mantenimiento, etc. son administrados por los componentes de la Unidad de Riego conforme a la organización escogida por ellos.

2.6 Caracterización de los sistemas de bombeo para riego agropecuario (Componentes, Tecnologías y Factores de Contexto)

2.6.1 Caracterización energética de los sistemas de bombeo para riego agrícola.

2.6.1.1 Pozo Profundo

Se debe partir desde el pozo profundo para extracción de aguas subterráneas, cuyas características son fundamentales pues se trata de la fuente de abastecimiento que proporciona el agua para el riego.

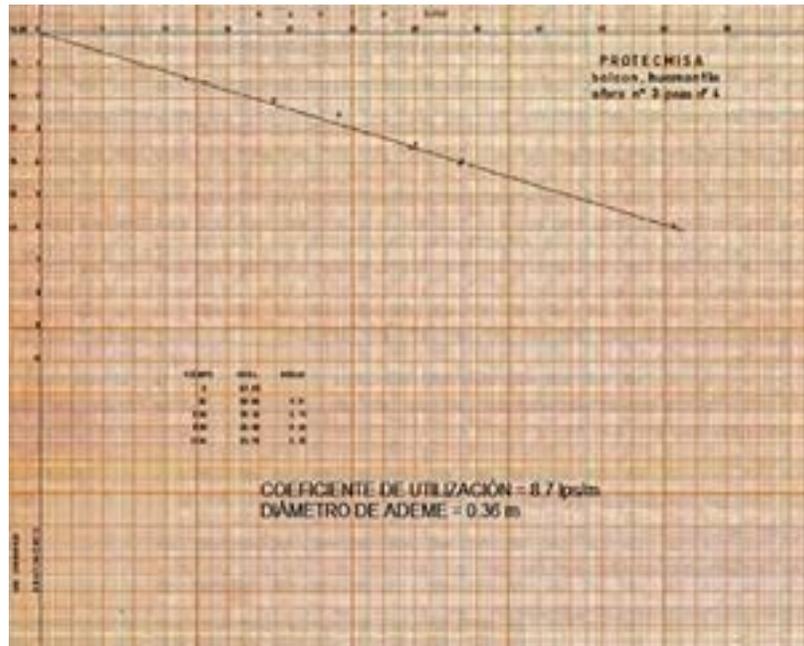
Como se vio en el punto anterior, la NOM-003-CNA-1996 ordena contar con dispositivos de medición y monitoreo así como con la documentación técnica de la construcción del pozo.

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, 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, relación entre gasto y abatimiento del nivel dinámico en el pozo, que referido al diámetro de perforación y del ademe del pozo permite calificar la importancia del acuífero y calidad de construcción del pozo.

Figura 2-4 Curva de aforo y cálculo de coeficiente de utilización.



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 **eficiencia electromecánica** posible y por lo tanto iniciar con el **consumo energético** más bajo posible.

2.6.1.2 Equipo de Bombeo

Típicamente para la extracción de agua de un pozo profundo se tienen dos clases de soluciones: con motor externo vertical y bomba tipo turbina de columna vertical, o tipo sumergible con motor sumergible.

Siempre es posible encontrar el equipo de bombeo ideal que se comporte en gasto y carga de acuerdo a las necesidades y que esto lo realice en el rango de máxima eficiencia. La caracterización de un sistema de bombeo Motor-Bomba está dada por su **EFICIENCIA ELECTROMECÁNICA**.

Figura 2-5. Bomba Sumergible



Figura 2-6. Bomba Vertical tipo turbina



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-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-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

En general la velocidad de rotación de la bomba influye en la eficiencia de trabajo, de modo que los equipos que trabajan a menor 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 eficiencia electromecánica cuando se emplean bombas verticales, puesto que un motor externo de bajas RPM no tiene problema de colocación.

Figura 2-7. Curva bomba sumergible

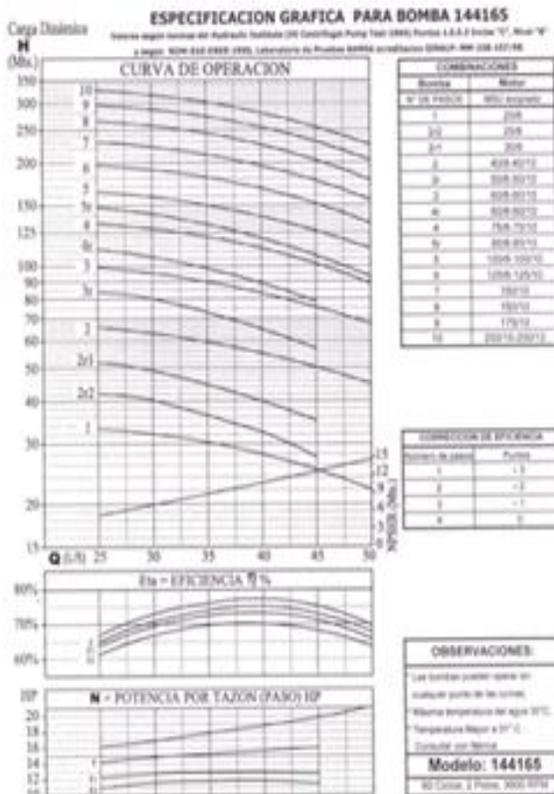
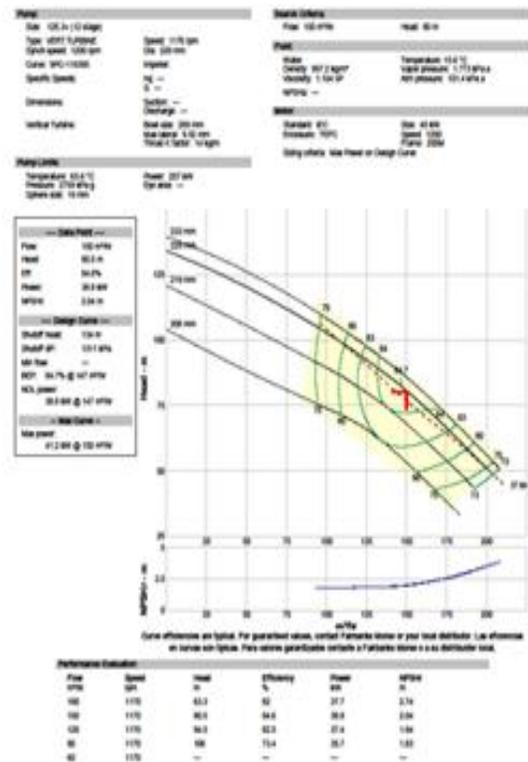


Figura 2-8. Curva bomba turbina vertical



En cambio como el motor de una bomba sumergible que tiene que introducirse en el pozo, su eficiencia debido al diámetro limitado por el ademe, siempre resulta en una menor eficiencia electromecánica.

Por el contrario una bomba tipo turbina vertical requiere con columna de flechas y chumaceras a lo largo de ella lo que requiere un pozo perfectamente vertical (comprobado con una prueba de verticalidad), por esto no son recomendables para profundidades mayores a 80 m.

2.6.1.3 Sistema de Riego

Respecto a la tecnificación del riego es muy importante la aplicación adecuada al cultivo como se muestra en adelante:

Básicamente hay cinco métodos de riego:

- a) Riego de superficie, que cubre toda la superficie cultivada o casi toda.
- b) Riego por aspersión, que imita a la lluvia.
- 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 suficientemente para humedecer la zona radicular.

De estos cinco métodos de riego se usan actualmente solo los primeros 4 y se han clasificado en los siguientes tipos:

- 1) Gravedad
- 2) Gravedad por compuertas
- 3) Aspersión
- 4) Goteo
- 5) Micro-aspersión
- 6) Pivote central

2.6.1.3.1 Riego por Gravedad

Es el sistema de riego comúnmente usado desde la antigüedad, existe 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.

Este tipo de riego también se usa para riego por surco añadiendo el problema de conducción a cada surco.

2.6.1.3.2 Riego por Gravedad por Compuertas

Un primer paso en la tecnificación del riego es la conducción y descarga por compuertas que mejora la distribución de la lámina de riego.

La eficiencia de riego es sobre de más o menos 50 %.

Figura 2-9. Riego por Gravedad (inundación)



Figura 2-10. Riego por Gravedad por Compuertas



2.6.1.3.3 Aspersión

Características Principales

- Los Flujos están relacionados con el 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 en construcción de plástico, bronce o de acero inoxidable.
- La presión de operación es fundamental para la eficiencia del riego.

Figura 2-11. Riego por aspersión



Aplicaciones Típicas

- Cultivos de campo de extensión o de hileras
- Sistemas permanentes o portátiles
- Por abajo o por arriba de los árboles
- Por arriba de las viñedos
- Viveros, invernaderos y debajo de telas para sombra
- Aplicaciones especiales, protección contra heladas, enfriamiento de cultivos.

2.6.1.3.4 Sistema de riego por goteo

El sistema de riego por goteo es una tubería con goteros en serie, requiere un buen control de la necesidad de agua del cultivo ya que requiere una mayor frecuencia de riego.

En versiones más tecnificadas puede ofrecer compensación de presión y con esto se obtiene gasto constante y en el caso de instalación subterránea, 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 por lo 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 2-12. Riego por goteo cintilla superficial



Figura 2-13. Riego por goteo cintilla subterránea se aprecia el área de riego



Figura 2-14. Cinta de riego por goteo subterránea



Figura 2-15. Riego por goteo con emisores



Emisores

- Con compensación de presión y sin compensación de presión
- Salidas simples y múltiples
- Selección de flujos

Aplicaciones

Actualmente se encuentran innumerables referencias de cultivos con riego por goteo superficial o subterráneo.

Cultivos de hortalizas de hoja, tales como lechuga, apio o espárrago y ajo entre otros, y cultivos leñosos como cítricos y olivo.

A la fecha se han realizado aplicaciones en: alfalfa, maíz, algodón, césped, manzano, pimiento, brócoli, melón, cebolla, papa y tomate entre los más importantes.

Existen algunas reglas prácticas básicas para el manejo de este sistema que dependen de algunas características de las aplicaciones más habituales en alimentación subterránea.

Teniendo en cuenta que no disponemos de la posibilidad de controlar visualmente el correcto funcionamiento de los emisores por estar enterrados, conviene tener en cuenta algunos aspectos prácticos que evitaren problemas de funcionamiento de este sistema.

Control periódico de los caudales habituales de riego por válvulas o sectores, para garantizar el rendimiento adecuado de los emisores.

2.6.1.3.5 Sistema de Riego por Micro Aspersores

Es un riego de bajo volumen diseñado para máxima eficacia en el riego, con grandes ahorros de energía y probable vida más larga en el campo, debido a su facilidad de manejarlo más localizado en el cultivo a regar, con lo cual se disminuye el desperdicio de agua.

Es muy importante trabajar los aspersores a la presión adecuada para evitar pérdidas por evaporación.

Figura 2-16 Platanar con Mini Aspersores



Figura 2-17 Riego con Mini Aspersores



Aplicaciones Típicas

- Huertos
- Viñedos
- Cultivos en Hileras
- Viveros
- Invernaderos
- Flores

2.6.1.3.6 Sistema de Riego con Pivote Central

Son equipos diseñados para elevar a un máximo la eficiencia del riego acercándolo a la superficie de cultivo y mediante autopropulsión cubrir una gran superficie, logrando así una mejor utilización del agua y mejor producción del cultivo.

En el sistema por pivote los aspersores se calibran de modo que el flujo de agua al desplazarse en círculo se deposite de modo uniforme 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 manguera que igualmente tienen sus aspersores controlados para depositar un mismo flujo en toda la superficie

Figura 2-18. Sistema de riego de pivote central



Figura 2-19. Sistema de riego con traslación recta



Aplicaciones

Ideal para el riego de cultivos extensivos en grandes extensiones de terreno.

2.6.1.3.7 Pasos a seguir en la selección y puesta en servicio de un riego tecnificado

Los pasos a seguir son:

- Análisis del Sitio
- Diseño del Sistema
- Cotización del Sistema
- Estudio económico
- Fuente de Financiamiento
- Compra del Equipo,
- Recepción del equipo, Sistema Completo
- Apoyo y Entrenamiento para la Instalación
- Servicio y Garantía Posterior a la Venta

2.6.1.3.8 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, es decir la que se mide a la salida de la bomba y la cantidad de agua necesaria por el desarrollo del cultivo, desde luego son cantidades integradas durante el tiempo que transcurre desde la siembra hasta la recolección, o en cultivos perennes durante el año o por periodo de cultivo.

El camino a seguir para la selección de un riego tecnificado es buscar la disminución del empleo de 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 cercano al cultivo y solo la cantidad de agua que es necesaria para él, también se obtiene un menor desperdicio al regar solo la zona radicular de la siembra, con lo que se obtiene aún una mejor eficiencia de riego y por tanto un mejor aprovechamiento energético, siempre tomando en cuenta las condiciones particulares del tipo de cultivo y las características del terreno.

2.7 Identificación del parque nacional de sistemas de bombeo para riego

2.7.1 Información general

En México existen 118 mil pozos para uso agrícola según información del PRONASE.

Alrededor del 70% de los sistemas de bombeo en el sector agropecuario, tienen oportunidad de mejorar su eficiencia en consumo de energía. Podrá mejorarse la eficiencia del sistema de bombeo en aproximadamente un 30% a través de la rehabilitación del sistema.

En el sector agropecuario, se ha venido trabajando con agricultores de escasos recursos para rehabilitar sistemas de bombeo ineficientes. Desde 2001 se han rehabilitado los sistemas de 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 consumo energético por la rehabilitación del sistema.

2.7.2 Usuarios tarifa 9 de CFE

La CFE se tiene registrados históricamente los usuarios de tarifa de riego siguientes:

Tabla 2-3 Estadísticas de venta CFE

Estadísticas de venta					
Comisión Federal de Electricidad					
Usuarios					
Tarifa	2007	%	2008	%	2009
9	11,373	2.1	11,613	5.1	12,204
9M	16,771	-1.7	16,494	-1.5	16,243
9CU	46,365	-5.0	44,053	-0.6	43,801
9N	38,015	12.4	42,727	4.9	44,836
Total	112,524	2.1	114,887	1.9	117,084

En el 2010 los registros de CFE nos muestran en números reales:

Tabla 2-4 Sistema de información energética

Sistema de Información Energética								
Sector Eléctrico Nacional								
Usuarios de energía eléctrica por tarifa								
(Número de usuarios)								
AÑO	ene-10	feb-10	mar-10	abr-10	may-10	jun-10	jul-10	ago-10
9 Bombeo de agua para riego agrícola (baja tensión)	12,228	12,260	12,310	12,217	12,203	12,236	12,172	12,140
9M Bombeo de agua para riego agrícola (media tensión)	16,245	16,225	16,199	16,227	16,201	16,100	15,975	15,849
9CU Cargo único para uso agrícola	43,810	43,964	44,181	44,281	44,341	44,453	44,417	44,372
9N Bombeo de agua para riego agrícola (nocturna en baja o media tensión)	44,965	45,039	45,157	45,320	45,574	45,746	45,881	46,109
Tarifa agrícola	117,248	117,488	117,847	118,045	118,319	118,535	118,445	118,470

Crecimiento en usuarios estimado a diciembre 2010 1.17%

En cuanto al parque nacional de equipos de bombeo la cifra actual de usuarios de la tarifa 9 en CFE puede ser considerada como la más cercana a la real pues debido al subsidio para el bombeo agrícola ningún usuario piensa en usar otra tarifa para dicho bombeo.

2.7.3 Títulos de Concesión

Concesiones de Pozos Profundos para riego

En el REPDA actualizado con la Información al 30 de junio de 2010 se tienen registrados:

TÍTULOS Y VOLÚMENES DE AGUAS NACIONALES Y BIENES INHERENTES POR USO DE AGUA

- Títulos 116,708 para el uso consuntivo de riego por aguas subterráneas.
- Volumen 17,757,477,956 m³ de extracción concesionados por año

Nota: La suma de los títulos por cada tipo de aprovechamiento es diferente al número total de inscripciones a nivel nacional debido a que un título de concesión puede contener uno o más aprovechamientos (aguas nacionales, descargas, zona federales).

2.7.4 Información del VII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal INEGI

Superficie empleada para riego por pozo profundo

Tabla 2-5. Según disponibilidad de agua para riego y área de temporal

INEGI							
UNIDADES DE PRODUCCIÓN CON SUPERFICIE AGRÍCOLA Y SU DISTRIBUCIÓN							CUADRO 15
SEGÚN DISPONIBILIDAD DE AGUA PARA RIEGO Y ÁREA DE TEMPORAL							
POR ENTIDAD FEDERATIVA							
ENTIDAD FEDERATIVA	SUPERFICIE AGRÍCOLA						
	UNIDADES DE PRODUCCIÓN ^a	TOTAL	DE RIEGO		DE TEMPORAL		Ha/Upr
		(Hectáreas)	UNIDADES DE PRODUCCIÓN	(Hectáreas)	UNIDADES DE PRODUCCIÓN	(Hectáreas)	
ESTADOS UNIDOS MEXICANOS	3 755 044	29 902 091.66	630 313	5 310 622.05	3 354 258	24 591 469.97	8.4
			16.79%	17.76%			%

Tabla 2-6. Según sistema de irrigación utilizado

UNIDADES DE PRODUCCIÓN CON SUPERFICIE DE RIEGO							CUADRO 16
SEGÚN SISTEMA DE IRRIGACIÓN UTILIZADO							
POR ENTIDAD FEDERATIVA							
ENTIDAD FEDERATIVA	UNIDADES DE PRODUCCIÓN	SISTEMA DE RIEGO UTILIZADO					
		CANALES RECUBIERTOS	CANALES DE TIERRA	ASPERSIÓN	MICRO ASPERSIÓN	GOTEO	OTRO
ESTADOS UNIDOS MEXICANOS	630313	159876	405851	48645	8191	20881	64112
	SUPERFICIE Ha	5378900		462514	77880	198535	609573
		SISTEMA DE RIEGO UTILIZADO EN %					
		CANALES	CANALES	ASPERSIÓN	MICRO	GOTEO	OTRO

			RECUBIERTOS	S DE TIERRA	N	ASPERSION		
			22.60%	57.36%	6.88%	1.16%	2.95%	9.06%

Tabla 2-7. Según fuente del agua utilizada para irrigación de los cultivos

UNIDADES DE PRODUCCIÓN CON SUPERFICIE DE RIEGO SEGÚN FUENTE DEL AGUA UTILIZADA PARA IRRIGACIÓN DE LOS CULTIVOS									CUADRO 17
POR ENTIDAD FEDERATIVA									
ENTIDAD FEDERATIVA	UNIDADES DE PRODUCCIÓN ^a	FUENTE DEL AGUA PARA RIEGO							
		BORDO U HOYA DE AGUA	POZO PROFUNDO	POZO A CIELO ABIERTO	RÍO	MANANTIAL	PRESA	OTRA	
ESTADOS UNIDOS MEXICANOS	630 313	31 003	176 433	20 414	162 801	48 577	201 376	17 065	
	SUPERFICIE	Ha	1486513.813	POR POZO PROFUNDO					
		%	28%	DE LA SUPERFICIE DE RIEGO					

Superficie empleada para riego por pozo profundo

En resumen según información del último Censo Agrícola realizado por el INEGI en 2007, se obtiene la siguiente información:

Superficie empleada con riego por pozo profundo	6,727,402 Ha
La superficie por tipo de riego empleado:	
Aspersión	462,514 Ha
Micro-aspersión	77,880 Ha
Goteo	198,535 Ha
Canales recubiertos y en tierra	5,378,900 Ha
Otros	609,573 Ha

2.8 Producción de agua a nivel nacional para riego agrícola

2.8.1 Usos del agua de fuente subterránea para uso Agropecuario

Fuente: Cubo de Usos del Agua, CONAGUA, 2008. Estas cifras tienen adicionados los consumos de los sectores agro-industrial, acuacultura y pecuario.

Tabla 2-8 Cubo de Usos del Agua, CONAGUA, 2008

G_Fuente	Subterránea			
Suma de D_Volumen Agropecuario (m ³)	G_Año			
A_Región Hidrológico Administrativa	2005	2006	2007	Total general
Total general	19,175,966,518	19,679,713,363	20,080,808,184	58,936,488,065

2.8.2 Usos del agua de fuente subterránea para uso Agrícola exclusivamente

SERIE HISTÓRICA 2002-2007 DE VOLÚMENES DE AGUA CONCESIONADOS POR REGIÓN A DICIEMBRE DE CADA AÑO

Estos datos provienen del Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) y debido a consideraciones metodológicas (se basan en el lugar del título y no del aprovechamiento), no coinciden exactamente con los de los cubos de usos del agua a nivel municipio y con los publicados en las tablas de Estadísticas del Agua en México 2008.

Volúmenes de agua registrados en el REPGA.

En el uso agrícola se incluyen volúmenes identificados no inscritos.

Tabla 2-9 Serie Histórica 2002-2007 de volúmenes de agua concesionados por región a diciembre de cada año

Suma de Volumen [hm ³]			Año					
Usos	Descripción	Fuente	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Agrícola	Agrícola	Subterráneo	16,112	16,625	16,919	17,260	17,678	17,969
Crecimiento anual				3.18%	1.77%	2.01%	2.42%	1.64%

Volumen reportado por el REPGA inscritos al 30/06/2010 = 17,757.5 hm³

Este volumen debe considerarse como el legalmente autorizado a la fecha.

2.9 Cuantificación de consumo de Energía Eléctrica

2.9.1 Información de consumos tarifa 9 CFE

Tabla 2-10 Estadísticas de venta 2007-2009

Comisión Federal de Electricidad					
Estadísticas de venta					
Tarifa	2007	%	2008	%	2009
Ventas (MWh)					
9	59,691	9.3	65,264	4.5	68,178
9M	1,293,642	-10.3	1,160,949	-3.7	1,117,796
9CU	2,019,206	-15.9	1,698,896	2.7	1,745,298
9N	4,431,253	17.0	5,183,437	22.8	6,367,480
Total	7,803,792	3.9	8,108,546	14.7	9,298,752

Tabla 2-11 Sistema de información energética, ventas internas de energía eléctrica por tarifa

Sistema de Información Energética								
Sector Eléctrico Nacional								
Ventas internas de energía eléctrica por tarifa								
(mega watts-hora)								
AÑO	ene-10	feb-10	mar-10	abr-10	may-10	jun-10	jul-10	ago-10
9 Bombeo de agua para riego agrícola (baja tensión)	5,631.95	4,936.26	7,072.79	7,120.31	7,914.12	8,939.48	10,998.58	5,620.49
9M Bombeo de agua para riego agrícola (media tensión)	48,180.20	56,697.95	57,603.20	113,204.46	85,412.18	115,234.43	92,314.87	74,445.04
9CU Cargo único para uso agrícola	95,852.30	87,075.93	117,597.00	184,849.09	187,696.04	193,994.16	136,057.69	101,163.95
9N Bombeo de agua para riego agrícola (nocturna en baja o media tensión)	327,743.79	275,510.93	346,208.03	659,297.12	737,821.48	804,001.38	621,791.76	448,902.30
Tarifa agrícola	477,408.24	424,221.07	528,481.02	964,470.98	1,018,843.82	1,122,169.45	861,162.90	630,131.78

La tendencia en el uso de la energía eléctrica para este año daría un consumo estimado a diciembre de 2010 9,040,334 (mega watts-hora).

Es importante considerar en el consumo energético, la influencia de las condiciones climáticas, ya que como se aprecia en el caso de precipitaciones pluviales excepcionales en exceso, se reduce el consumo de energía eléctrica.

2.9.2 Cuantificación de consumos Energéticos para riegos tecnificados

El consumo de energía requerido para tecnificar un riego, se estima que en la mayoría de los casos solo está representado por un aumento en la carga de presión que puede ser según el tipo de riego desde 0 hasta 60 m adicionales, casi siempre sin aumento en el gasto.

La experiencia nos indica que se puede tomar como un valor promedio de aumento de consumo energético entre un 9 % y un 10 % adicional, pues aunque la potencia aumenta existe una disminución en el tiempo de bombeo debido a la propia tecnificación del riego

2.10 RESUMEN DE LA INFORMACIÓN A NIVEL NACIONAL DEL RIEGO AGRÍCOLA 2007

2.10.1 SUPERFICIE:

•SUPERFICIE CULTIVABLE EN 2007	29,902,092 Ha
• SUPERFICIE TOTAL CULTIVADA EN 2007	21,902,572 Ha
• SUPERFICIE TOTAL CON INFRAESTRUCTURA RIEGO POZO	6,727,402 Ha
• EN 85 DISTRITOS DE RIEGO 10470 EJIDOS, COMUNIDADES	3,771,369 Ha
• EN 39000 UNIDADES DE RIEGO	2,956,032 Ha

2.10.2 AGUA:

•CONCESIONES 115,051	17,713.508 hm ³
----------------------	----------------------------

2.10.3 ELECTRICIDAD:

•USUARIOS 112,524 CONSUMO AÑO 2007	7,803,792 MWh
------------------------------------	---------------

2.11 FACTORES DE CRECIMIENTO A 2010

2.11.1 SUPERFICIE: crecimiento 0.5% / año

• SUPERFICIE CULTIVABLE EN 2010	38,756,952 Ha
• SUPERFICIE TOTAL CULTIVADA EN 2010	28,388,546 Ha
• SUPERFICIE TOTAL CON INFRAESTRUCTURA RIEGO POZO	8,719,577 Ha
• EN 85 DISTRITOS DE RIEGO 10470 EJIDOS, COMUNIDADES	4,888,179 Ha
• EN 39000 UNIDADES DE RIEGO	3,831,397 Ha

2.11.2 AGUA: crecimiento 0.5% / año

• CONCESIONES 116,708	17,968.663 hm ³
-----------------------	----------------------------

2.11.3 ELECTRICIDAD:

• USUARIOS 2.7% por año porque están cambiando de tarifa	121,767
• CONSUMO AÑO 2010	9,040,334 MWh

Este crecimiento no es real ya que está afectado por aquellos productores que se están adhiriendo a la tarifa 9 por el beneficio del costo por kWh subsidiado.

SE CONCLUYE DE ACUERDO A LAS CIFRAS MOSTRADAS QUE EL CRECIMIENTO REAL EN EL INCREMENTO POR NÚMERO DE POZOS PARA BOMBEO AGRÍCOLA SEGÚN CIFRAS DE CONAGUA Y REPDA ES DEL 0.5% ANUAL, SIN EMBARGO EN FUNCIÓN DEL CONSUMO Y NUMERO DE USUARIOS DE CFE ESTE CRECIMIENTO ES DE 2.7% POR LO QUE SE CONSIDERARÁ COMO VALIDA LA TASA DE CRECIMIENTO CONSIDERADA PARA EL PRONASE DE 2.5% LA CUAL SERÁ CONSIDERADA MAS ADELANTE.

2.12 Identificación de programas institucionales existentes

Todos los programas institucionales existentes corresponden a 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.

NOMBRE DE LA INSTITUCIÓN: CONAGUA

NOMBRE DEL PROYECTO: 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 y además 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.

NOMBRE DE LA INSTITUCIÓN: CONAGUA

NOMBRE DEL PROYECTO: 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.

NOMBRE DE LA INSTITUCIÓN: SAGARPA

NOMBRE DEL PROYECTO: Proyecto Estratégico de Tecnificación de Riego 2010

OBJETIVO: 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

NOMBRE DE LA INSTITUCIÓN: SAGARPA

NOMBRE DEL PROYECTO: 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.

NOMBRE DE LA INSTITUCIÓN: SAGARPA

NOMBRE DEL PROYECTO: 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.

NOMBRE DE LA INSTITUCIÓN: SAGARPA – CFE

NOMBRE DEL PROYECTO: 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 de 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.

NOMBRE DE LA INSTITUCIÓN: SAGARPA - Coordinador de Asesores del Subsecretario de Agricultura

NOMBRE DEL PROYECTO: Apoyo de la Cuota Energética para Energía Eléctrica de Uso de Riego Agrícola

OBJETIVO: La razón para otorgarte este apoyo es disminuir los costos de producción, para hacerte más competitivo y motivarte a realizar un uso eficiente de los recursos naturales (agua y energía eléctrica). Esto representa un ahorro, en el costo por kilowatt hora, para ti durante 2005 de 46% en la tarifa 9CU y de 73% en la tarifa 9N.

NOMBRE DE LA INSTITUCIÓN: SAGARPA - FIRA y FIRCO

NOMBRE DEL PROYECTO: Proyecto Estratégico de Tecnificación del Riego

OBJETIVO: El acuerdo permitirá a los fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA) y al de Riesgo Compartido (FIRCO) operar recursos del Programa para la Adquisición de Activos Productivos de la SAGARPA en complemento con sus propios apoyos financieros y tecnológicos.

3 Identificación de áreas de oportunidad

Identificar mejores prácticas y lecciones aprendidas a nivel nacional e internacional para elevar la eficiencia del bombeo de agua.

-Identificar barreras y áreas de oportunidad en los sistemas de bombeo de agua en México, y estimar sus potenciales de mejora.

-Jerarquizar las áreas de oportunidad identificadas aplicando evaluaciones de costo-beneficio tanto privado como público y período de recuperación de la inversión, estimando en cada caso el potencial de ahorro de energía que pueda obtenerse de la implementación de las medidas sugeridas.

-Incluir el desarrollo, adaptación y/o promoción de herramientas para mejorar la gestión de los actores agrícolas / municipales, así como su capacitación y concientización. Realizar la transferencia (entrega) de la herramienta empleada por Watergy, incluyendo el manual para su operación y dar una sesión de capacitación para su uso.

3.1 Cuantificación de potenciales de ahorros energéticos globales en sistemas de bombeo agropecuario.

Medidas de Ahorro tomando como base el orden en que es conveniente realizarlas, por su facilidad de aplicarlas y su costo de recuperación.

a) Optimización del sistema eléctrico, máximo puede llegar al 2% del consumo. Sin embargo el mantenimiento y corrección de incumplimientos con la NOM-001-SEDE-2005 permitirá garantizar la continuidad de operación que influye grandemente en 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 68% y en equipo vertical bomba turbina y motor alta eficiencia 78%, mejora esperada promedio de 30 puntos porcentuales. En todo caso debe exigirse el cumplimiento con la Normatividad ya señalada en 2.3.2 Equipos de bombeo.

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 solo serán de un máximo de 2% con un ahorro en desperdicio de agua y/o en horas de bombeo de 28 puntos porcentuales.

d) Ahorro por riego tecnificado; los ahorros son en menor desperdicio de agua y/o menor tiempo de operación sobre todo cuando existen cambio de riego por gravedad a cualquiera de

los sistemas de riego tecnificado, la mejora esperada va desde un mínimo existente de 50% hasta un máximo de 85%, con un ahorro promedio de 22 puntos porcentuales.

e) Ahorro promedio para un PROYECTO INTEGRAL; tomando en cuenta todos los factores que intervienen en una mejora de eficiencia energética se estima un ahorro de un 18% del consumo eléctrico total facturado en kWh.

f) Beneficio en la producción que puede ser de 380 %, aunque no es directamente un ahorro energético si representa un mejor aprovechamiento de los recursos agua y electricidad para lograr mayores ingresos.

Los potenciales de ahorro señalados en este punto se deben considerar como valores estimados globales tomados de informes generales relacionados con los temas. En la sección 5 se encuentra el análisis de ellos, la forma de analizar el costo beneficio, así como las herramientas para facilitar la toma de decisiones.

3.2 Identificación de mejores prácticas y su aplicabilidad

3.2.1 Componentes básicos

Para óptimos resultados se deben tener en cuenta dos principios básicos:

- Máximo aprovechamiento de la energía usada desde la extracción del agua en el pozo.
- Mínimas pérdidas en la conducción y uso del agua por medio de un sistema de riego.

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

- 1.- Producción de agua, mediante pozo profundo, conducción y riego del cultivo.
- 2.- Alimentación de energía a motor-bomba, en general todo el equipo electromecánico.
- 3.- Comportamiento, es decir el coeficiente de utilización del pozo, la eficiencia electromecánica del sistema de bombeo y la eficiencia del sistema de riego.

3.2.2 Factores que intervienen

Los factores que intervienen como resultado de la combinación de estas partes en la obtención, manejo y empleo del agua con máxima eficiencia son:

3.2.2.1 Pozo profundo

Conocimiento y mantenimiento de la fuente que es el pozo profundo, cuyos parámetros fundamentales 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, puesto que los valores iniciales comparados con los actuales son el indicador de la calidad de construcción y comportamiento actual del pozo.

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 proporciona elementos que complementan la correcta utilización del pozo.

En cuanto a la fuente el mejor apoyo es el documento expedido por CONAGUA cuando ha sido autorizada la perforación y construcción del pozo que contiene entre otras informaciones: fecha de solicitud de autorización de perforación, autorización concedida, supervisión y requisitos, profundidad mínima en m, diámetro de perforación en cm, diámetro del ademe en cm, cementado de acuíferos superficiales en m, registro geológico cada 3 m conservando muestras y entregar resultado, método de muestreo geológico, llevar bitácora de perforación, agitación mecánica y lavado del pozo, limpieza de residuos en el área de perforación, filtro de grava redonda entre 7 y 21 mm, registro eléctrico y plano de construcción del pozo entregando copia, desarrollo del pozo, mínimo 50 h, aforo mínimo 10 h entregando copia, CONCESION, diámetro de succión y descarga de la bomba en cm, gasto en lps, volumen anual en m³, medidor de gasto y volumen acumulativo obligatorio, sonda neumática obligatoria, reporte mensual de

gasto, volumen y niveles estático y dinámico, obligatorio, integrar expediente con original y copia de todo lo solicitado. Es obvio el apoyo que esto representa para el comportamiento de la fuente. De aquí se parte con un Coeficiente de Utilización del pozo

3.2.2.2 Equipo electromecánico

Selección y mantenimiento de 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, así como la selección de la bomba en el rango de máxima eficiencia hidráulica y mecánica, definidas para un rango de gasto y carga adecuados, tomando en cuenta que la energía también depende directamente del tiempo de operación.

3.2.2.3 Normatividad

El cumplimiento de la Normatividad, Normas Oficiales Mexicanas para el ahorro de energía, NOM-001-ENER-2000 Eficiencia energética de bombas verticales tipo turbina con motor externo eléctrico vertical. Límites y método de prueba; 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-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; de uso obligatorio y aplicables a motores y equipos de bombeo resultan un magnifico apoyo en el paso anterior, así como 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.

3.2.2.4 Conducción del agua al riego

En relación con la conducción que en los casos de canales en tierra a cielo abierto presenta un porcentaje que puede llegar hasta un 50 %, entre filtración y evaporación, o que en los canales revestidos en climas calurosos puede ser superior al 80 %, la solución es el empleo de tuberías, tomando en cuenta un diseño de red de distribución proyectado de modo que en todas las salidas se tenga la presión adecuada para conectar el riego tecnificado, en el caso de redes de distribución existe la posibilidad de automatización para atender adecuadamente a diversos cultivos o participantes en la Unidad de Riego.

Si el agua en el sistema se condujera siempre por tubería, teniendo un buen mantenimiento de esta 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.

3.2.2.5 Riego tecnificado

Los riegos en general deben seleccionarse según el tipo de cultivo a regar, sus características y forma de operar pueden ser de muy variadas formas, pero siempre deben tomarse en cuenta algunos puntos fundamentales para obtener la mejor eficiencia del riego: aplicar el agua lo más cercano al cultivo para evitar la evaporación, por lo mismo la presión a la salida debe ser la menor posible, los movimientos del riego cuando existan no deben superar, en cuanto es posible, la superficie del cultivo.

Hay que apoyarse para las necesidades de riego al cultivo con algún instrumento de medición como: higrómetros, tensiómetros, sondas capacitivas FDR, cualquiera que permita conocer la humedad entorno a la raíz del cultivo, con lo cual 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.

3.2.3 Balance de energía

Desde el punto de vista energético partiendo de la fuente de energía que es la electricidad, la herramienta que cumple mejor todas las transformaciones de energía es el criterio del Balance de Energía, incluyendo la Eficiencia del Riego, ya que permite identificar las pérdidas de energía en cada uno de los componentes del Sistema de Riego Agrícola, tanto de la energía eléctrica directamente como de la Electromecánica y del consumo energético debido a las pérdidas de agua en cada uno de los tramos del recorrido que hace el agua para llegar desde la captación, el punto de descarga de la bomba, hasta llegar a cubrir las necesidades del cultivo.

El concepto de Ahorro de Energía mediante un Balance de Energía se basa esencialmente en determinar, la energía usada y las pérdidas que se tienen en cada componente del proceso, desde la acometida eléctrica; energía de entrada; hasta la entrega del agua necesaria para el cultivo, pasando por todos los elementos del sistema; realizando un análisis muy profundo de la energía consumida en cada paso, en busca de tecnologías de punta que se puedan aplicar para obtener mayor beneficio y disminución de pérdidas.

3.2.3.1 Equipos de medición

De acuerdo a lo anterior, en términos de agua aplicada y/o horas de bombeo, una gran cantidad de estas se pierden por un mal criterio de manejo del agua para el cultivo al no contar con equipos de medición para conocer las necesidades inmediatas de aplicar el riego, trabajando prácticamente solo por estimación, pensando que más vale que sobre agua y no que falte agua.

El empleo de equipos de medición para los parámetros eléctricos V, A, se considera el mínimo indispensable para controlar el funcionamiento eléctrico del equipo, los demás parámetros como FP, kW y kWh se pueden tomar del medidor instalado por la empresa suministradora, y mediante estas lecturas se conoce la energía eléctrica usada en el sistema.

3.2.3.2 Trabajo útil

El trabajo útil en este método está representado por el mínimo necesario para cumplir 100% con los resultados propuestos que es lograr la mayor y mejor producción del cultivo, mediante la cantidad de agua necesaria durante su desarrollo y la carga de altura para hacer llegar el agua.

Para conocer este consumo necesario de agua, llamado uso consuntivo o evapotranspiración del cultivo, se debe recurrir a información experimental para cada tipo de cultivo, de suelo, de clima, como referencias principales, aunque pueden existir otras variables.

Debido a que el uso consuntivo también es variable durante el desarrollo del cultivo, se emplea un valor ponderado para la necesidad de agua en volumen que dividido entre la superficie se convierte en lámina de riego.

Lámina de riego 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 (uso consuntivo = evapotranspiración + agua en los tejidos de la planta).

Se puede obtener información de la FAO y el INIFAP de la lámina de riego ponderada para las variables mencionadas que generalmente se presentan en tablas.

En fin, el análisis de todos los elementos que intervienen en la cadena energética por lo cual se le puede llamar Integral; permite reducir a su mínima necesidad el consumo energético de entrada haciendo uso de la ingeniería y de los desarrollos tecnológicos en todos los pasos de la cadena de transformación energética que directa o indirectamente permiten esta reducción, obteniendo de esta manera la máxima eficiencia energética posible es decir el máximo ahorro de energía en un sistema de riego agrícola en particular.

3.3 Causas que impiden aprovechar todo el potencial de ahorro

3.3.1 Desconocimiento de beneficios

Es común encontrar entre la gente involucrada en el ahorro de energía, que se piense únicamente en los equipos que utilizan la aplicación directa del energético usado, en este caso la energía eléctrica y el equipo electromecánico motor-bomba, la solución es sencilla pues mejorando la eficiencia del equipo ya se obtiene un ahorro de energía.

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 obtiene el gasto esperado porque no se tomaron en cuenta las condiciones del pozo, o por ejemplo la carga a la salida del equipo no es la suficiente para llegar el agua al cultivo, etc.

Este mal resultado reporta perjuicios en vez de beneficios haciendo que los agricultores se sientan defraudados y corran la voz a los otros compañeros, con lo cual se dificulta la promoción de todos los beneficios que reporta en especial para ellos y también para sus compañeros y el país.

Por el contrario cuando el programa se aplica de modo 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, el resultado es de gran beneficio para los agricultores, esto los convierte en los mejores propagandistas del programa.

3.3.2 Falta de cumplimiento de la legislación y de la normatividad

Existen zonas agrícolas en el país en las cuales los agricultores impiden el control tanto de los gastos y consumos hidráulicos, como de los abatimientos de los acuíferos, no solo reportando mediciones inventadas acomodadas a los datos de su concesión, mediciones que son obligatorias, sino inclusive no permitiendo el ingreso al personal de verificación, así como al personal que toma lecturas de los consumos eléctricos.

En otros casos la unidad de riego beneficiada una vez que ha obtenido mejoras en el funcionamiento electromecánico y en cantidad de agua no desperdiciada, sin importar el límite señalado por la Concesión, hace uso de todos ellos, dado que no cuentan con medición de gasto ni acumulación de consumo y tampoco cuentan con instalación de sonda neumática reportando valores dentro de los señalados en su Concesión.

3.3.3 Tiempo de realización de los proyectos

Como señalamos en 3.3.1, para que un proyecto tenga éxito se requiere que se realice un estudio integral que incluye una gran cantidad de información, lo más común es que los agricultores tienen que recabarla pues rara vez la tienen a la mano, esto retrasa considerablemente la elaboración de un proyecto.

También se requiere de la participación de especialistas que respalden todos los puntos del proyecto y posteriormente se someta a revisión dicho proyecto, con lo cual se emplea otra cantidad de tiempo que en algunos casos terminan por abortar el proyecto.

3.3.4 Fuentes de financiamiento

Actualmente la mayor parte de los proyectos realizados obtienen un 50 % de respaldo institucional y los agricultores ponen el 50 % restante, sin embargo para esta inversión se requiere financiamiento adicional que como quiera representa una barrera adicional para el desarrollo de los proyectos.

Las tasas de recuperación pueden ser muy rápidas pero para ello es necesario primero desarrollar el proyecto y de su empleo obtener los beneficios para pagar.

4 Diseño de una experiencia preliminar

Diseñar una propuesta de primera experiencia que permita validar los supuestos utilizados y recabar información sobre los costos, beneficios y períodos de recuperación de las acciones propuestas. El proyecto deberá incluir medidas tanto técnicas como de operación para elevar la eficiencia de los sistemas de bombeo.

Tomando en consideración que desde el año 2003 al año 2007 podemos contar con los resultados del programa de CONAGUA relativo al Uso Eficiente del Agua y la Energía Eléctrica (UEAEE), que puede con mucho, ser tomado como programa de experiencia preliminar, aprovechando los resultados globales de cada año y el promedio obtenido durante los cinco años de informes a nuestro alcance, sobre todo los orientados a las Eficiencias Electromecánicas y de riego, costos e ingresos.

Para conocer con más detalle la descripción, confiabilidad, el objetivo, error esperado de la muestra y la metodología empleada, se presentan a continuación los puntos del 4.1 al 4.3 y sub-secciones correspondientes:

4.1 Descripción del programa Uso Eficiente del Agua y la Energía Eléctrica (UEAEE)

El programa de UEAEE tiene como objetivo proporcionar el ahorro de agua y la energía eléctrica mediante la rehabilitación de plantas de bombeo, pozos y equipos de bombeo para riego agrícola, localizados en las Unidades Riego, auxiliando a los usuarios ante la reducción progresiva del subsidio eléctrico, aplicado mediante la Tarifa 09 Bombeo de agua para riego agrícola; así como de corregir las distorsiones generadas en los acuíferos, pozos, sistemas de bombeo, sistemas de riego y en el proceso productivo.

En forma paralela, el programa busca alcanzar un desarrollo sostenible mediante acciones concretas que ayuden a conservar los recursos no renovables; recuperar o minimizar los degradados; aumentar la productividad agrícola; elevar el nivel de vida en el medio rural; preservar el medio ambiente y conservar la biodiversidad.

Los conceptos de apoyo al usuario por parte del programa UEAEE son: rehabilitación de pozos y su sistema electromecánico de bombeo, y mejoramiento de la conducción y la aplicación del agua de riego.

A través de la rehabilitación del pozo y su sistema de bombeo, se incrementa la eficiencia electromecánica, con lo que se logra la extracción del volumen concesionado con ahorro de energía eléctrica; logrando aumentar de forma simultánea gasto hidráulico del pozo con lo que se logra una disminución en el tiempo de aplicación; con el consiguiente aumento de la productividad de la tierra por riego oportuno, y genera un rescate de energía eléctrica.

4.2 Definición de Muestra representativa

4.2.1 Cálculo de la Muestra Representativa

El tamaño de una muestra a partir de un universo finito se define con las fórmulas.

$$n = \frac{n'}{1+n'/N} \quad ; \quad n' = \frac{s^2}{\sigma^2}$$

Donde:

σ^2 Es la variación del error esperado en el universo

s^2 Es la variación del error en la muestra calculado como: $s^2 = p(1-p)$

p Es el grado de confiabilidad esperado en la muestra.

N Es el Universo finito o en este caso el total de municipios por tipo-clase.

Por lo que el tamaño de la muestra se define en función de la variación del error esperado para el universo y el grado de confiabilidad deseado en la muestra.

4.2.2 Muestra con el Programa experimental realizado

Para el riego agrícola se tiene un Universo de Unidades de Riego **36645**

Tomando los resultados de los años 2003 a 2007 del programa UEAAE de CONAGUA se han realizado **2355** muestras.

Para estos datos se obtiene:

Error en la muestra menor al **0.5 %**

Confiabilidad mayor al **98 %**

Por lo cual este universo puede tomarse como un programa de experiencia preliminar muy aceptable.

4.3 Metodología de ejecución del programa

Metodología de Implementación física

La metodología de trabajo utilizada comprende la adquisición de información y el cálculo de índices e indicadores relativos a:

- Datos generales de la Unidad de Riego
- Datos de la inversión realizada
- Situación de la operación de la Unidad de Riego antes de la inversión

- Situación de la operación de la Unidad de Riego después de la inversión
- Datos complementarios
- Observaciones
- Evaluación del impacto incremental
- Análisis financiero
- Incremento del valor de la producción y la utilidad neta de los precios reales

A continuación se detallan cada uno de los incisos anteriores.

4.3.1 Datos generales de la Unidad de Riego

Los datos generales de la Unidad de Riego son los referentes a:

- Fecha de inscripción en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA)
- Nombre de la Unidad de Riego
- Gerencia Regional
- Entidad Federativa
- Municipio
- Localidad
- Cuenca Hidrológica
- Acuífero
- Distrito de Desarrollo Rural
- Distrito de Riego (cuando aplique)
- Coordenadas: Latitud (°,',"), Longitud (°,',") y Altitud (msnm)
- Clave de Registro al REPDA
- Número de cuenta de la Comisión Federal de Electricidad
- Volumen concesionado (miles de m³)
- Tipo de aprovechamiento: almacenamiento, derivación, manantial, mixto, planta de bombeo y pozo
- Grado de marginalidad
- Superficie dominada total y por tipo de tenencia (ha)
- Número de usuarios total y por tipo de usuarios

4.3.2 Datos de la inversión realizada

Los datos requeridos de la inversión son:

- Programa mediante el cual se canalizó la inversión:
- Uso eficiente del agua y la energía eléctrica
- Sistema de riego:
- Antes de la inversión
- Después de la inversión
- Inversión (mil \$) realizada por:
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)
- Usuario
- Gobierno Estatal
- Total
- Información de la inversión realizada por:
- Concepto de trabajo
- Unidad
- Cantidad
- Precio de trabajo (mil \$)
- Importe (mil \$)

Datos para la evaluación de la inversión:

- Tasa de inflación (%)
- Tasa de interés (%)
- Número de años considerados en el horizonte de tiempo de la evaluación

4.3.3 Situación de la operación de la Unidad de Riego antes de la inversión

Los datos de la situación de la operación de la Unidad de Riego antes de la inversión, son los referentes a:

- Patrón de cultivos

La información para cada uno de los cultivos en la Unidad de Riego, antes de realizar la inversión, es:

- Nombre

- Rotación: primer o segundo cultivo
- Superficie (ha)
- Rendimiento (ton/ha)
- Precio medio (mil \$/ton)
- Costo de producción (mil \$/ha)
- Requerimiento de riego (m)
- A partir de esta información, se calcula:
- Producción (ton)
- Valor de la producción (mil \$/ha)
- Utilidad neta (mil \$/ha)
- Superficie de primeros cultivos (ha)
- Superficie de segundos cultivos (ha)
- Superficie total cosechada (ha)
- Índice de repetición
- Requerimiento de riego ponderado neto (mil m³)
- Valor de la producción (mil \$)
- Parcela media cosechada (ha/usuario)
- Superficie ociosa (ha)
- Utilidad neta total (mil \$)

Además, es necesario registrar los siguientes datos:

- Gasto hidráulico (lps)
- Horas de extracción (h)

A partir de esta información, se calcula:

- Volumen total extraído (mil m³)
- Lámina bruta de riego (m)
- Eficiencia total de riego (%)
- Productividad bruta de la tierra (mil \$/ha)
- Productividad neta de la tierra (mil \$/ha)
- Productividad bruta del agua (\$/m³)
- Productividad bruta del agua (\$/m³)

4.3.4 Situación de la operación de la Unidad de Riego después de la inversión

Los datos de la situación de la operación de la Unidad de Riego después de la inversión, son los referentes a:

Patrón de cultivos

La información para cada uno de los cultivos en la Unidad de Riego, después de realizar la inversión, es:

- Nombre
- Rotación: primer o segundo cultivo
- Superficie (ha)
- Rendimiento (ton/ha)
- Precio medio (mil \$/ton)
- Costo de producción (mil \$/ha)
- Requerimiento de riego (m)

A partir de esta información, se calcula:

- Producción (ton)
- Valor de la producción (mil \$/ha)
- Utilidad neta (mil \$/ha)
- Superficie de primeros cultivos (ha)
- Superficie de segundos cultivos (ha)
- Superficie total cosechada (ha)
- Índice de repetición
- Requerimiento de riego ponderado neto (mil m³)
- Valor de la producción (mil \$)
- Parcela media cosechada (ha/usuario)
- Superficie ociosa (ha)
- Utilidad neta total (mil \$)

Además, es necesario registrar los siguientes datos:

- Gasto hidráulico (lps)
- Horas de extracción (h)
- A partir de esta información, se calcula:
- Volumen total extraído (mil m³)

- Lámina bruta de riego (m)
- Eficiencia total de riego (%)
- Productividad bruta de la tierra (mil \$/ha)
- Productividad neta de la tierra (mil \$/ha)
- Productividad bruta del agua (\$/m³)
- Productividad bruta del agua (\$/m³)

4.3.5 Datos complementarios

Algunos datos complementarios que se incluyen en el SISEVUR 3.0 y considerados en la evaluación del programa UEAE, son los siguientes:

Eficiencias de manejo del agua de riego:

Antes de la inversión

- De conducción (%)
- De aplicación (%)

Después de la inversión

- De conducción (%)
- De aplicación (%)

A partir de estos datos se obtiene:

- Eficiencia total de riego antes de la inversión
- Eficiencia total de riego después de la inversión

4.3.6 Evaluación del impacto incremental

Los índices de evaluación calculados a partir de la situación incremental (diferencia entre antes de la inversión y después de la inversión en la Unidad de Riego), son:

- Gasto hidráulico (lps)
- Horas de extracción (ha)
- Volumen extraído (mil m³)
- Lámina bruta de riego (m)
- Eficiencia de riego (%)

- Superficie cosechada (ha)
- Valor de la producción (mil \$)
- Utilidad neta (mil \$)
- Productividad bruta de la tierra (mil \$/ha)
- Productividad bruta del agua (\$/m³)
- Productividad neta de la tierra (mil \$/ha)
- Productividad neta del agua (\$/m³)

4.3.7 Análisis financiero

El análisis financiero considera la actualización de beneficios utilizando la tasa de interés y los años de horizonte de evaluación indicados por el usuario. Este análisis considera únicamente la situación incremental de la inversión. Los indicadores que se calculan, son:

Relación beneficio-costo bruta

Relación beneficio-costo neta

4.3.8 Incremento del valor de la producción y la utilidad neta a precios reales

El incremento en el valor de la producción y de la utilidad neta se evalúan a precios reales del escenario “después”, para lo cual se actualiza el valor de la producción obtenido “antes” mediante la tasa de inflación del año en turno.

4.3.9 Manejo conjunto de bases de datos anuales a nivel nacional.

El programa emplea un software desarrollado por la misma CONAGUA nombrado SISEVUR 3.0, además de su manejo sencillo, ejecuta diferentes cálculos de una manera interna, por lo que es posible verificar la calidad de las inspecciones que fueron realizadas, ya sea por contrato o por administración.

En dicho documento se citan los indicadores técnico-económicos de mayor representatividad e importancia, citándose los promedios a nivel estatal, es decir, se realiza un análisis previo de la información de las Unidades de Riego correspondientes a cada estado.

4.4 Definición de indicadores de evaluación

Los indicadores de evaluación y resultados globales promedio del programa desde 2003 hasta 2007, permiten obtener valores que son de utilidad para la propuesta del plan nacional como se observa en la sección 4.5 a continuación.

Sin embargo para el programa energético sería de gran utilidad convertir toda la información adquirida para elaborar un BALANCE ENERGÉTICO para los casos atendidos más representativos y que se encuentran reportados para cada año en el SISEVUR 3.0, de esta manera se podrá analizar cada eslabón de la cadena energética en busca de soluciones comunes y valoradas, que permitan obtener mayor eficiencia energética, por tanto mayor Ahorro de Energía, con los mejores costos de recuperación.

4.5 Documentación del programa

Usando a manera de programa experimental la información y los resultados de la aplicación del Programa “Uso Eficiente Agua y Energía Eléctrica” de la Comisión Nacional del Agua; resumen a nivel nacional del año 2003 al año 2007; se presenta a continuación parte de la información obtenida de los resúmenes ejecutivos correspondientes.

4.5.1 Datos generales de muestra

Los datos generales en información resumida para el periodo 2003-2007 quedan de la siguiente forma:

Tabla 4-1. Datos generales en información resumida periodo 2003-2007

Concepto	Cantidad	Cantidad	Cantidad	Cantidad	Cantidad	Total
AÑO	2003	2004	2005	2006	2007	
Unidades de Riego beneficiadas	273	520	650	370	542	2355
Superficie de riego beneficiada (ha)	13,010	21,561	28,394	15,273	21,752	99990
Usuarios beneficiados	3,637	5,127	7,041	5,784	5,911	27500
Superficie por Unidad de Riego (ha/Unidad de Riego) promedio	47.7	53.65	57.90	48.84	46.14	50.85
Inversión de la Comisión Nacional del Agua (Mil \$)	23,542	50,567	87,955	78,537	99,870	340472
Inversión de los usuarios (Mil \$)	19,405	44,537	64,921	61,542	73,545	263950
Inversión de los Gobiernos Estatales (Mil \$)	7,914	15,951	33,147	24,988	34,658	116658
Inversión total (Mil \$)	50,861	110,194	186,024	165,068	208,073	720219
Inversión por Unidad de Riego (Mil \$) promedio	186.3	246.0	399.2	446.1	383.9	305.8
Inversión por hectárea (Mil \$/ha) promedio	3.909	6.140	7.616	12.632	9.566	7.203

4.5.2 Concentrado de datos físicos

Respecto a los datos técnicos de toda la operación física desarrollada durante un ciclo de cultivo a lo largo de cada uno de los años de la muestra se presenta a continuación una tabla con la concentración de los mismos.

Tabla 4-2. Concentrado de datos físicos de antes y después

AÑO	Unidad	2003			2004			2005			2006			2007		
		Antes	Después	Incremental												
Sin Sembrar	%	4.8	0	-4.8	3	1.4	-2.0	9.6	1.3	-8.3	19	1.4	-17.6	34.9	8.3	-26.6
Gravedad	%	69.9	56.4	-13.5	74	68.9	-5.2	65.3	38.0	-27.3	66.4	20.9	-45.5	47.2	15.9	-31.4
Gravedad por compuertas	%	7	9.5	2.5				3.3	8.5	5.2	3.3	15.7	12.4	11.62	12.92	1.3
Aspersión	%	10.6	17.9	7.3	12.6	14.2	1.6	9.4	20.7	11.3	8.4	32.2	23.8	2.96	24.0	21.0
Goteo	%	1	5.5	4.4	4.5	8.1	3.6	2.8	12.2	9.4	0	16.3	16.3	3.14	23.8	20.7
Micro aspersión	%	5.5	8.1	2.6	5.2	7.2	2.0	9.2	16.1	6.9	2.4	8.9	6.5	0.2	8.1	7.9
Pivote Central	%	1.1	2.6	1.5	0.2	0.2	0	0.4	3.3	2.9	0.5	4.6	4.1	0	7	7
Primeros cultivos	ha	25.9	34	8.1	26.2	29.4	3.2	37.8	43.6	5.9	37.0	41.9	4.9	33.4	45.6	12.2
Segundos cultivos	ha	1.1	2.1	1	6.2	8.3	2.2	2.7	4.0	1.27	5.8	6.3	0.4	1.3	3.1	1.8
Índice de repetición	adim	1.04	1.06	0.02	1.07	1.09	0.02	1.07	1.11	0.04	1.09	1.13	0.04	1.06	1.09	0.03
Superficie ociosa	ha	21.8	13.7	-8.1	22.3	16.9	-5.3	20.5	13.3	-7.2	11.8	6.9	-4.9	12.7	0.5	-12.2
Gasto hidráulico	lps	57	68	11	28.8	45.0	16.2	38.5	47.0	8.5	39.8	53.1	13.3	35.3	49.6	14.3
Horas de extracción	h	2,666	2,101	-565	2,554	1,877	-676	2,895	2,047	-848	2,755	1,895	-860	2,202	1,964	-238

Potencial de mejora de la eficiencia en sistemas de bombeo agropecuario en México
4. Diseño de una experiencia preliminar - Programa Piloto

AÑO		2003			2004			2005			2006			2007		
Concepto por Unidad de riego	Unidad	Antes	Después	Incremental												
Consumo de energía eléctrica	MWh	161.1	87.2	-73.9	160.5	13.4	-26.1	155.8	106.7	-49.1	153.3	133.0	-20.3	77.0	120.6	43.6
Costo total de extracción	Mil \$	46.2	28.2	-18.0	58.1	43.9	-14.1	77.2	41.7	-35.5	109.0	76.8	-32.2	40.6	44.6	4.0
Volumen de riego neto	Mil m ³	277.2	336.5	59.2	207.7	246.4	38.7	259.2	307.2	48.0	294.3	397.6	103.4	211.0	307.0	96.0
Volumen de riego bruto	Mil m ³	547.1	514.3	-32.7	332.9	317.6	-15.3	446.8	369.3	-77.5	551.9	479.5	-72.5	351.0	354.1	3.1
Lámina bruta de riego	m	2.03	1.42	-0.61	1.03	0.84	-0.19	1.10	0.79	-0.31	1.29	0.99	-0.30	1.01	0.73	-0.28
Eficiencia total de riego	%	50.7	65.4	14.7	62.4	77.6	15.2	58.0	83.2	25.2	53.3	82.9	29.6	60.1	86.7	26.6
Eficiencia electromecánica	%	34.0	65.0	31.0	34.2	63.5	29.4	36.5	76.7	40.2	48.5	71.6	23.0	56.1	79.0	22.9
Valor de la producción	Mil \$	787	1,270	483	881	1,481	5,500	1,250	1,914	664	2,019	2,711	692	1,617	3,034	1,418
Utilidad neta de producción	Mil \$	433	759	326	505	973	468	768	1,294	525	1,515	2,107	592	1,096	2,354	1,258
Bruta	Mil \$/ha	29.14	35.17	6.03	26.30	42.26	15.97	30.87	46.02	15.15	32.73	51.33	18.60	63.37	81.99	18.53
Neta	Mil \$/ha	16.05	21.02	4.97	14.96	29.16	14.19	18.14	30.94	12.80	22.94	33.93	10.99	45.50	60.65	15.14
Bruta	\$/m ³	1.44	2.47	1.03	3.41	6.3	2.89	3.21	6.67	3.46	3.38	5.99	2.61	4.76	8.8	4.04
Neta	\$/m ³	0.79	1.48	0.69	1.95	4.46	2.51	1.91	4.57	2.66	2.21	4.23	2.02	3.14	6.72	3.58
Bruta	adim	--	--	18.01	-	-	9.12	-	-	10.96	-	-	7.41	-	-	12.85
Neta	adim			12.57	-	-	7.46	-	-	8.52	-	-	5.82	-	-	10.46
Incremento del Valor de la Producción a Precios Reales	Mil \$	--	--	434.3	-	-	576	-	-	655	-	-	787	-	-	3,241

AÑO		2003			2004			2005			2006			2007		
Concepto por Unidad de riego	Unidad	Antes	Después	Incremental												
Incremento de la Utilidad Neta a Precios Reales	Mil \$	--	--	299	-	-	449	-	-	525	-	-	689	-	-	2,553
Potencia promedio utilizada por las unidades de riego	kW	60.4	41.5	-18.9	62.9	71.6	8.8	53.8	52.1	-1.7	55.6	70.2	14.4	35.0	61.4	26.4
Carga de altura promedio utilizada por las unidades de riego	m	36.9	40.5	3.6	72.1	103.1	31.0	72.1	103.1	31.0	69.1	96.4	27.3	56.6	99.7	43.1

4.5.3 Tipo de sistema de riego

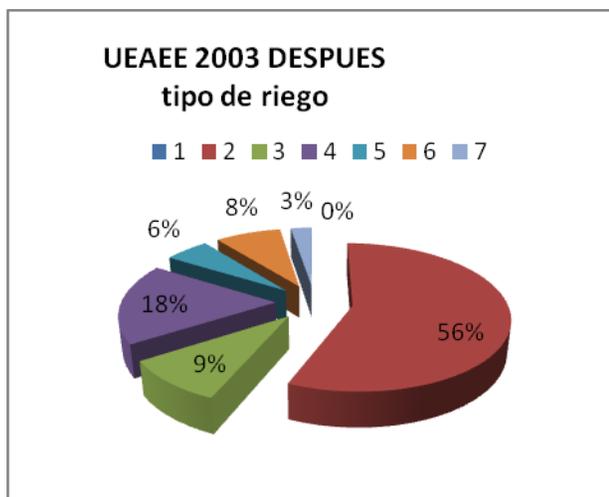
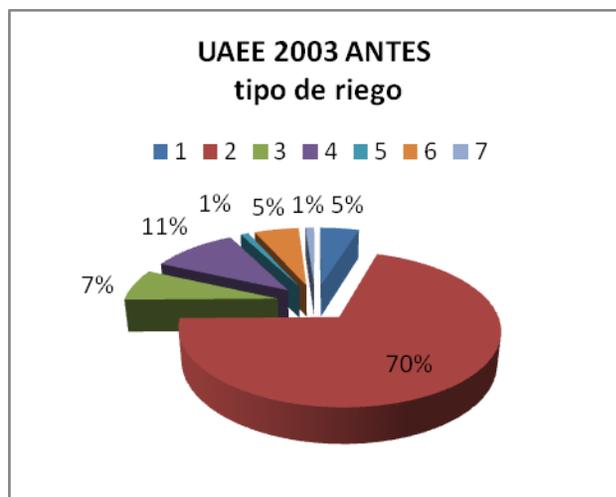
Un análisis de los cambios verificados en los tipos de sistemas de riego utilizados nos permite observar la disminución en los riegos por gravedad que son los menos eficientes.

Tabla 4-3 Resultados por tipo de sistema de riego

Tipo de sistema de riego								
AÑO	Concepto por Unidad de riego	Sin Sembrar (1)	Gravedad (2)	Gravedad por compuertas (3)	Aspersión (4)	Goteo (5)	Microaspersión (6)	Pivote Central (7)
	Unidad	%	%	%	%	%	%	%
2003	Antes	4.8	69.9	7	10.6	1	5.5	1.1
	Después	0	56.4	9.5	17.9	5.5	8.1	2.6
	Incremental	-4.8	-13.5	2.5	7.3	4.4	2.6	1.5
2004	Antes	3	74	0	12.61	4.5	5.18	0.23
	Después	1.35	68.92	0	14.19	8.1	7.21	0.23

	Incremental	-2.03	-5.18	0	1.58	3.6	2.03	0
2005	Antes	9.6	65.3	3.3	9.4	2.8	9.2	0.4
	Después	1.3	38.0	8.5	20.7	12.2	16.1	3.3
	Incremental	-8.3	-27.3	5.2	11.3	9.4	6.9	2.9
2006	Antes	19	66.4	3.3	8.4	0	2.4	0.5
	Después	1.4	20.9	15.7	32.2	16.3	8.9	4.6
	Incremental	-17.6	-45.5	12.4	23.8	16.3	6.5	4.1
2007	Antes	34.87	47.23	11.62	2.96	3.14	0.18	0
	Después	8.3	15.87	12.92	23.99	23.8	8.12	7
	Incremental	-26.57	-31.36	1.3	21.03	20.66	7.94	7

Tabla 4-4. Gráficos de resultados anuales por tipo de sistema de riego



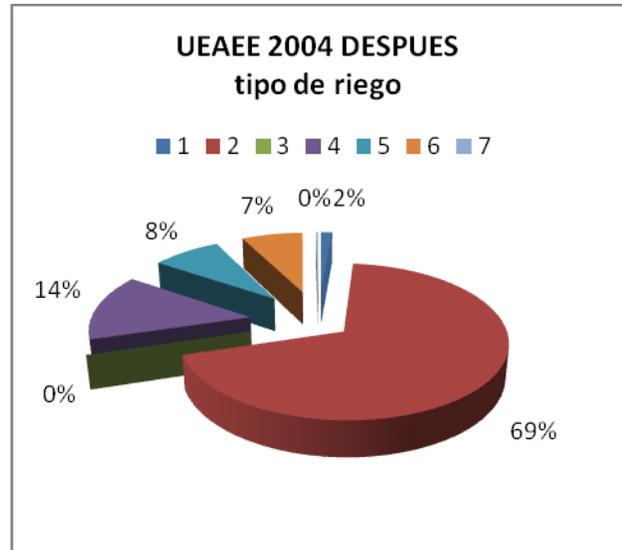
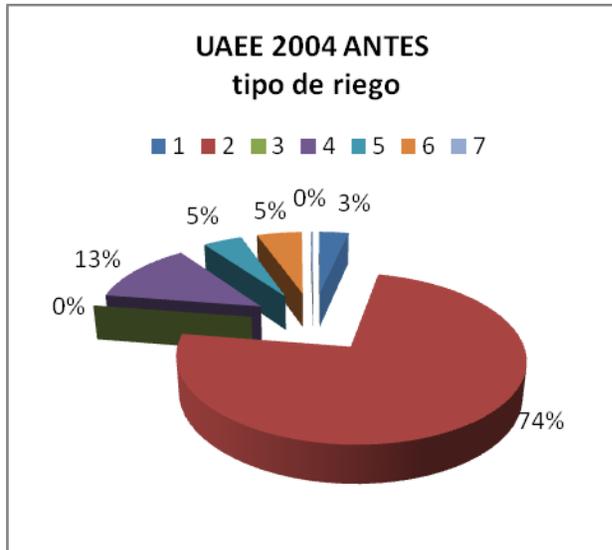
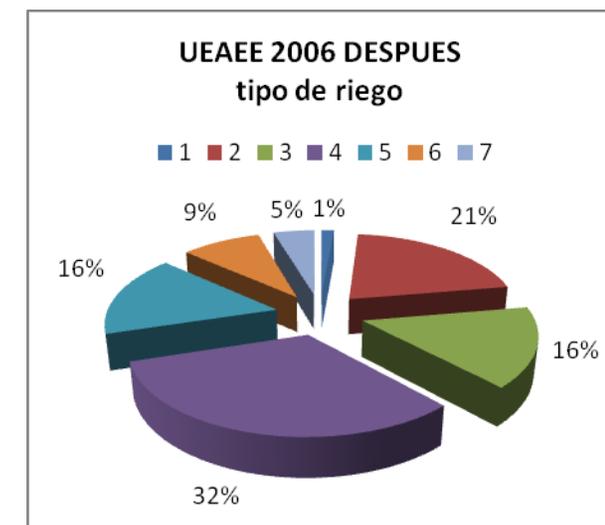
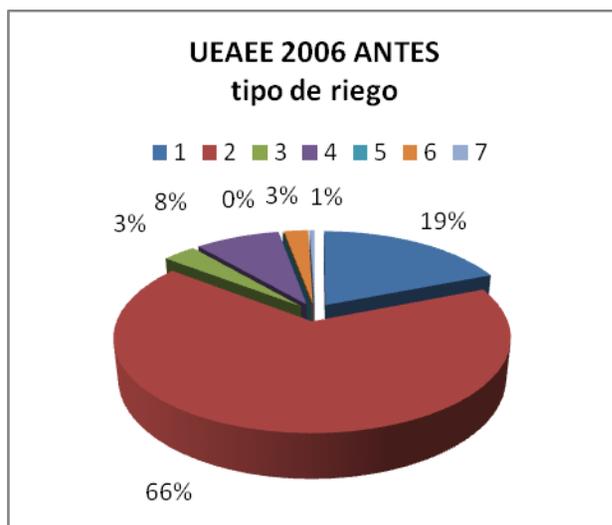
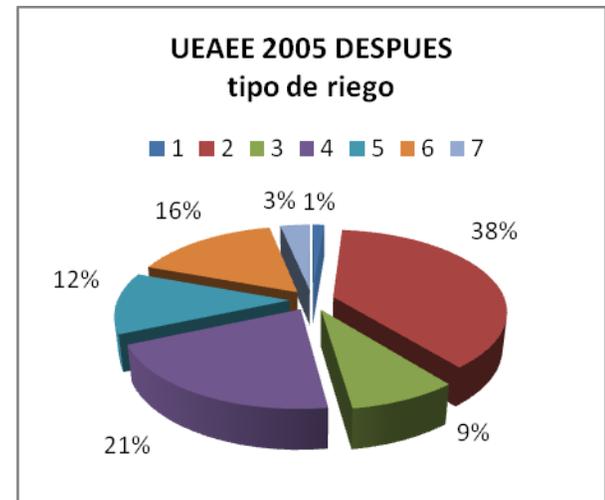
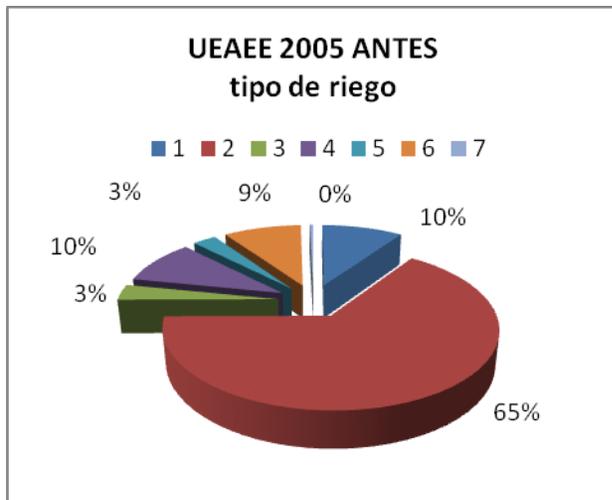
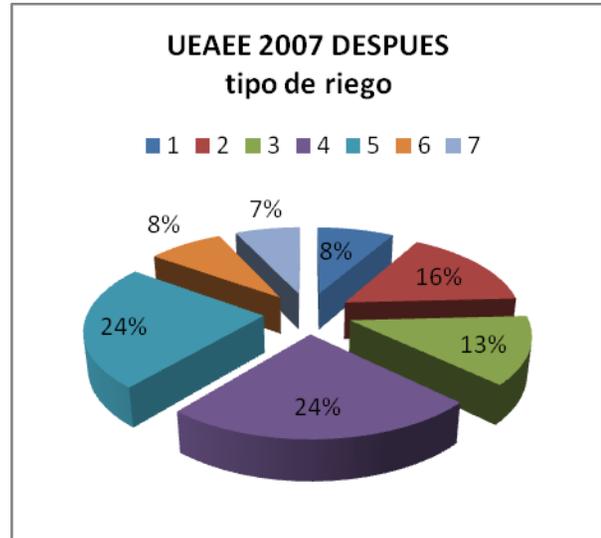
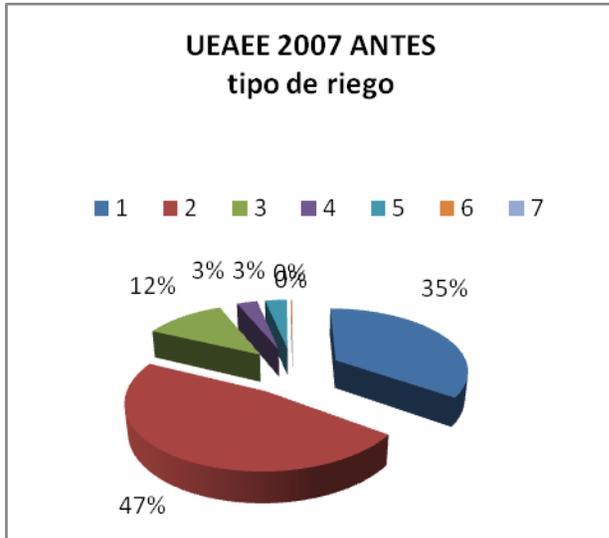


Tabla 4-5. Gráficos de resultados anuales por tipo de sistema de riego (continua)





4.5.4 Superficie cosechada

También para la superficie cosechada y debido a la tecnificación de los riegos se observa una buena reducción de la superficie ociosa o sea un incremento en la superficie cultivada.

Tabla 4-6. Superficie cosechada antes y después

Superficie cosechada					
AÑO	Concepto por Unidad de riego	Primeros cultivos (1)	Segundos cultivos (2)	Índice de repetición (3)	Superficie ociosa (4)
	Unidad	ha	ha	adim	ha
2003	Antes	25.9	1.1	1.04	21.8
	Después	34	2.1	1.06	13.7
	Incremental	8.1	1	0.02	-8.1
2004	Antes	26.23	6.15	1.07	22.26
	Después	29.41	8.3	1.09	16.93
	Incremental	3.18	2.15	0.02	-5.33
2005	Antes	37.76	2.69	1.07	20.46
	Después	43.64	3.96	1.11	13.30
	Incremental	5.89	1.27	0.04	-7.16
2006	Antes	37.07	5.83	1.09	11.77
	Después	41.93	6.27	1.13	6.9
	Incremental	4.86	0.44	0.04	-4.87
2007	Antes	33.44	1.34	1.06	12.71
	Después	45.64	3.09	1.09	0.51
	Incremental	12.2	1.75	0.03	-12.2

Tabla 4-7. Gráficos que muestran la superficie cosechada antes y después

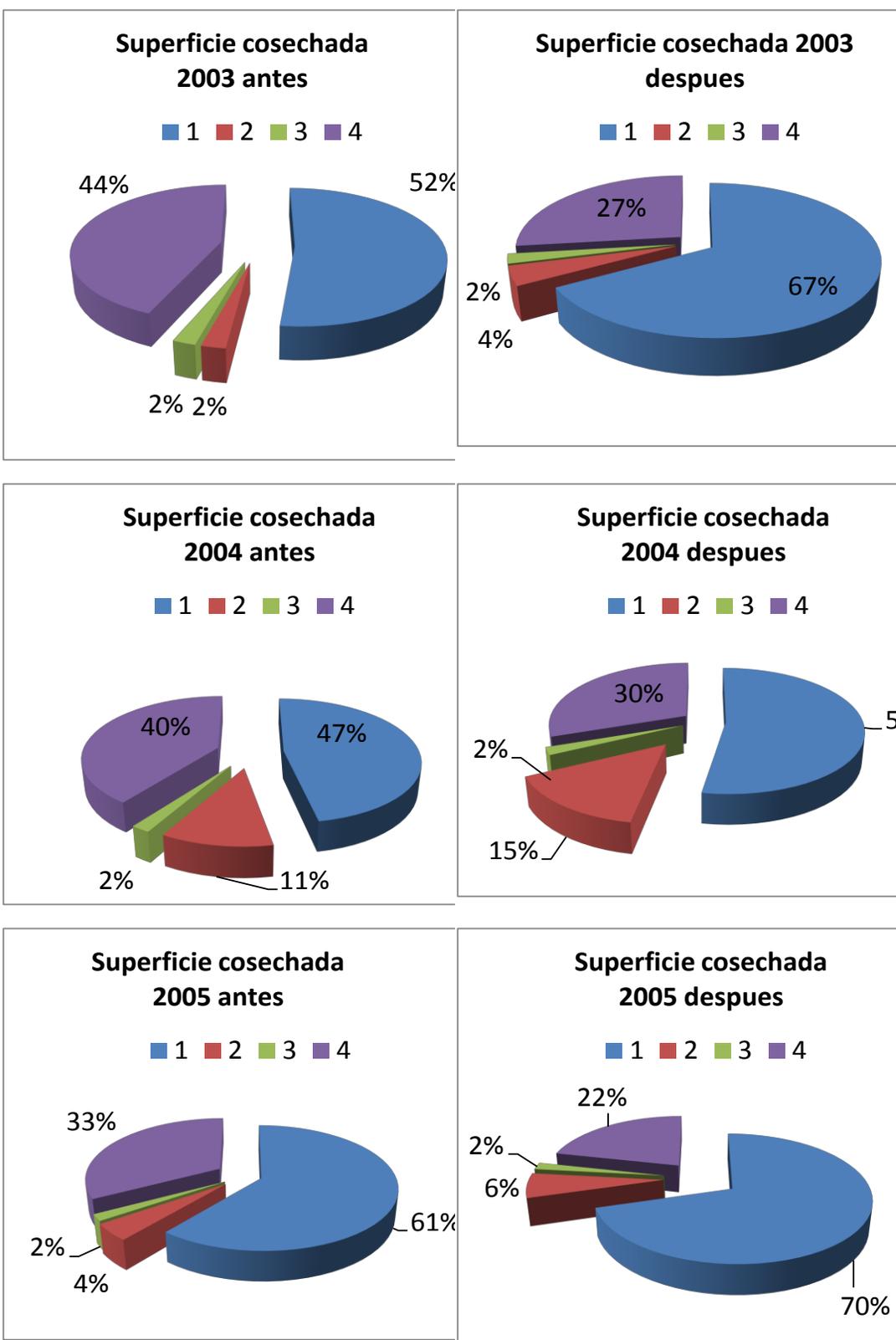
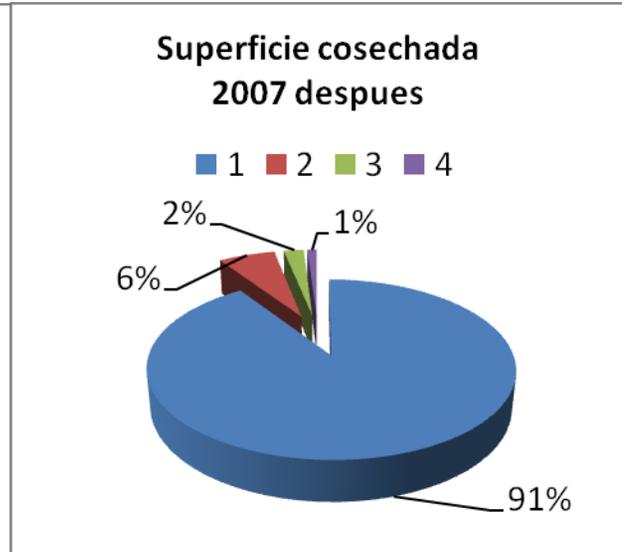
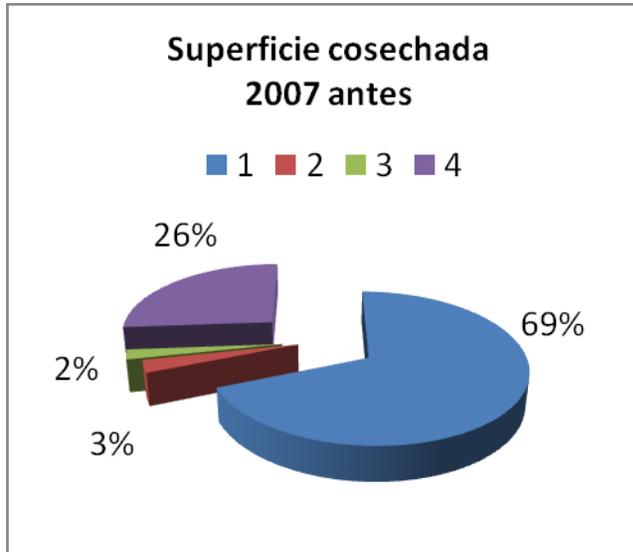
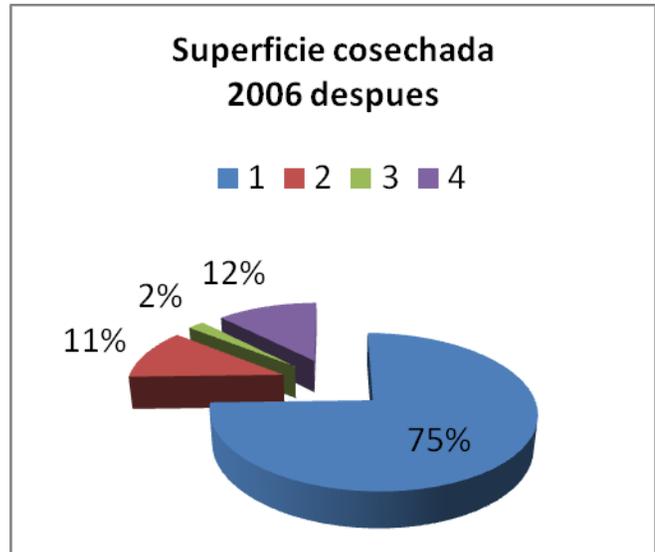
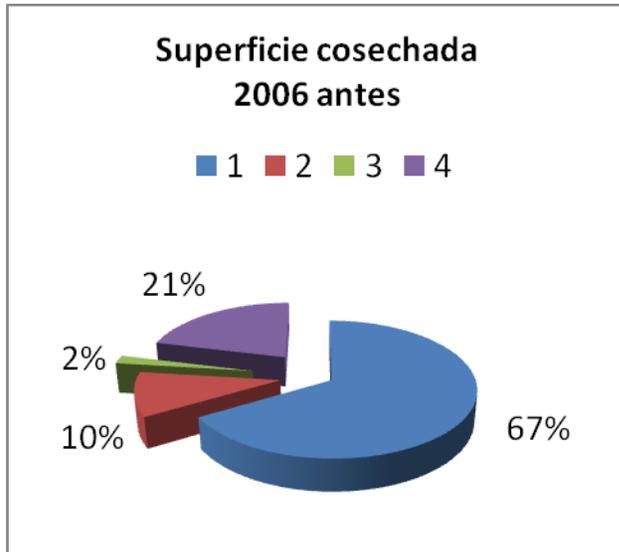


Tabla 4-8. Gráficos que muestran la superficie cosechada antes y después (continua)



Que explican los buenos resultados obtenidos sobre todo en la productividad de la Unidad de riego.

4.5.5 Resultados Técnicos del programa desarrollado y usado como experimental

Considerando los principales parámetros de comportamiento técnico tenemos:

Tabla 4-9. Resumen de parámetros técnicos de las aplicaciones al inicio del programa

RESUMEN DE PARÁMETROS TÉCNICOS DE LAS APLICACIONES AL INICIO						
ANTES	2003	2004	2005	2006	2007	Total/ Promedio
Unidades de riego beneficiadas	273	520	650	370	542	2,355
Gasto hidráulico (lps) promedio	57	28.79	38.52	39.8	35.31	39.88
Horas de extracción (h)	2,666	2,553.56	2,895.12	2,755.47	2,201.76	2,614.38
Consumo de energía eléctrica (kWh)	161,100	160,496	155,764	153,269	77,002	141,526.20
Volumen de riego neto (Mil m ³)	277.24	207.7	259.19	294.254	210.952	249.87
Lámina bruta de riego (m) promedio	2.03	1.03	1.1	1.29	1.01	1.29
Eficiencia total de riego (%) promedio	50.7	62.4	58.01	53.31	60.1	56.90
Eficiencia electromecánica (%) prom.	34	34.18	36.52	48.52	56.08	41.86
POTENCIA (kW) promedio	60.428	62.852	53.802	55.624	34.973	53.54
CARGA TOTAL H (m) promedio	36.86	72.064	72.064	69.124	56.62	61.35
Productividad bruta de la tierra (\$/ha): Es la razón entre el Valor de la producción y la superficie de primeros cultivos.	29,140	26,294.88	30,870.00	32,730	63,371	36,481.20
Productividad neta de la tierra (\$/ha): Es la razón entre la utilidad neta total y la superficie de primeros cultivos.	16,050	14,963.07	18,140.00	22,941	45,509	23,520.61
Productividad bruta del agua (\$/m ³): Es la razón entre el valor de la producción y el volumen de riego bruto.	1.44	3.41	3.21	3.38	4.76	3.24
Productividad neta del agua (\$/m ³): Es la razón entre la utilidad neta total y el volumen de riego bruto	0.79	1.95	1.91	2.21	3.14	2.00

Tabla 4-10 Resumen de parámetros técnicos de las aplicaciones al termino del programa

RESUMEN DE RESULTADOS FINALES DE LAS APLICACIONES						
DESPUES	2003	2004	2005	2006	2007	Total/ Promedio
Unidades de riego beneficiadas	273	520	650	370	542	2,355
Gasto hidráulico (lps) promedio	68	44.99	46.97	53.09	49.56	52.52
Horas de extracción (h)	2,101	1,877.21	2,047.30	1,895.46	1,964.07	1977.01
Consumo de energía eléctrica (kWh)	87,240	134,430	106,650	132,983	120,551	116370.84
Volumen de riego neto (Mil m³)	336.47	246.42	307.19	397.615	306.907	318.92
Lámina bruta de riego (m) promedio	1.42	0.84	0.79	0.99	0.73	0.95
Eficiencia total de riego (%) promedio	65.4	77.59	83.18	82.93	86.67	79.15
Eficiencia electromecánica (%) prom.	65	63.54	76.71	71.56	78.98	71.16
POTENCIA (kW) promedio	41.523	71.612	52.093	70.159	61.378	59.35
CARGA TOTAL H (m) promedio	40.46	103.097	103.097	96.399	99.708	88.55
Productividad bruta de la tierra (\$/ha): Es la razón entre el Valor de la producción y la superficie de primeros cultivos.	35,170	42,261.02	46,020.00	51,332	81,899	51,336.40
Productividad neta de la tierra (\$/ha): Es la razón entre la utilidad neta total y la superficie de primeros cultivos.	21,020	29,156.11	30,940.00	33,931	60,649	35,139.22
Productividad bruta del agua (\$/m³): Es la razón entre el valor de la producción y el volumen de riego bruto.	2.47	6.3	6.67	5.99	8.8	6.05
Productividad neta del agua (\$/m³): Es la razón entre la utilidad neta total y el volumen de riego bruto	1.48	4.46	4.57	4.23	6.72	4.29

4.5.6 Índice energético

La tabla que se presenta a continuación nos permite observar las mejoras en los Índices Energéticos obtenidos en la aplicación del programa mencionado, mostrando las columnas de los otros parámetros para información.

Tabla 4-11 Mejoras en el índice energético con sus referencias

CONAGUA PROGRAMA UEAE "USO EFICIENTE DEL AGUA Y DE LA ENERGIA ELECTRICIA"												
AÑO	Concepto por Unidad de riego	Gasto hidráulico	Horas de extracción	Consumo de energía eléctrica	Costo total de extracción	Volumen de riego neto	Volumen de riego bruto	Lámina bruta de riego	Eficiencia total de riego	Eficiencia electro mecánica	Índice Energético BRUTO	Índice Energético NETO
	Unidad	lps	h	kWh	\$	Mil m ³	Mil m ³	m	%	%	kWh/m ³	kWh/m ³
2003	Antes	57	2,666	161,100	46,200	277	547	2.030	50.70	34.00	0.5811	0.2945
	Después	68	2,101	87,240	28,170	336	514	1.420	65.40	65.00	0.2593	0.1696
	Incremental	11	-565	-73,860	-18,030	59	-33	-0.610	14.70	31.00	0.2538	0.0598
2004	Antes	28.79	2,554	160,496	58,066	208	333	1.030	62.40	34.18	0.7727	0.4822
	Después	44.99	1,877	134,430	43,943	246	318	0.840	77.59	63.54	0.5455	0.4233
	Incremental	16.2	-676	-26,066	-14,123	39	-15	-0.190	15.19	29.36	0.2272	0.0589
2005	Antes	38.52	2,895	155,764	77,150	259	447	1.100	58.01	36.52	0.6010	0.3486
	Después	46.97	2,047	106,650	41,660	307	369	0.790	83.18	76.71	0.3472	0.2888
	Incremental	8.45	-848	-49,113	-35,490	48	-77	-0.310	25.17	40.19	-1.0232	0.6339
2006	Antes	39.8	2,755	153,269	108,996	294	552	1.290	53.31	48.52	0.5209	0.2777
	Después	53.09	1,895	132,983	76,819	398	479	0.990	82.93	71.56	0.3345	0.2774
	Incremental	13.29	-860	-20,286	-32,177	103	-72	-0.300	29.62	23.04	0.1864	0.0003
2007	Antes	35.31	2,202	77,002	40,582	211	351	1.010	60.10	56.08	0.3650	0.2194
	Después	49.56	1,964	120,551	44,565	307	354	0.730	86.67	78.98	0.3928	0.3404
	Incremental	14.25	-238	43,549	3,983	96	3	-0.280	26.57	22.90	-0.0278	-0.1211

4.5.7 Resumen de los Índices Energéticos

Antes y después para volúmenes de agua empleados neto y bruto. Resumen de las mejoras en el índice energético a través del programa.

Tabla 4-12. Resumen de índices energéticos

AÑO	Índice Energético BRUTO			Índice Energético NETO		
	Antes	Después	Incremental	Antes	Después	Incremental
2003	0.5811	0.2593	0.2538	0.2945	0.1696	0.0598
2004	0.7727	0.5455	0.2272	0.4822	0.4233	0.0589
2005	0.6010	0.3472	-1.0232	0.3486	0.2888	0.6339
2006	0.5209	0.3345	0.1864	0.2777	0.2774	0.0003
2007(1)	0.3650	0.3928	-0.0278	0.2194	0.3404	-0.1211
PROMEDIOS	0.5681	0.3758	-0.1923	0.3245	0.2999	-0.0246

4.5.8 Resultados en %

Tabla 4-13. Resumen de índices energéticos en porcentajes

	disminución en consumo eléctrico	% mejora de Índice Energético BRUTO kWh/m ³	% mejora de Índice Energético NETO kWh/m ³
2003	-45.8%	42.4%	55.4%
2004	-16.24%	12.21%	29.40%
2005	-31.53%	17.17%	42.23%
2006	-13.24%	0.12%	35.79%
2007(1)	56.56%	-55.19%	-7.61%

Nota (1): en este año ingresaron al programa unidades de riego que no estaban en operación el ciclo de cultivo anterior y por ello en el consumo anterior se registraron con 0 consumo, su consumo solo impacto el consumo posterior por lo que aparece como si no hubiera existido ahorro en el consumo de energía.

4.5.9 Otros parámetros

Comparando los parámetros energéticos principales con los de las condiciones al inicio de la aplicación del programa se observa que a lo largo de los 5 años se han tenido los siguientes resultados (en promedio):

1) Aumento en el gasto de:	12.64 lps
2) Disminución de horas de extracción en:	-637.77 h
3) Disminución en consumo de energía eléctrica de.	-25,155 kWh
4) Aumento en el volumen de riego neto de:	69.05 mil m ³
5) Disminución de lámina de riego bruta en:	-0.34 m
6) Aumento en la eficiencia de riego de:	22.25 %
7) Aumento de la eficiencia electromecánica de:	29.30 %
8) Aumento mínimo en la potencia de:	5.82 kW
9) Aumento en la carga total de:	27.21 m
10)Aumento en la Productividad bruta de la tierra:	14,855 (\$/ha)
11)Aumento en la Productividad neta de la tierra:	11,619 (\$/ha)
12)Aumento en la Productividad bruta del agua:	2.81 (\$/m ³)
13)Aumento en la Productividad neta del agua:	2.29 (\$/m ³)

Visto en porcentaje:

1) Aumento en el gasto de:	31.69 %
2) Disminución de horas de extracción en:	-24.38 %
3) Disminución en consumo de energía eléctrica de:	-17.77 %
4) Aumento en el volumen de riego neto de:	27.64 %
5) Disminución de lámina de riego bruta en:	-26.16 %
6) Aumento en la eficiencia de riego en:	39.10 %
7) Aumento de la eficiencia electromecánica en:	69.99 %
8) Aumento mínimo en la potencia de:	10.87 %
9) Aumento mínimo en la carga total de:	44.35 %
10) Aumento en la Productividad bruta de la tierra:	40.72 %
11) Aumento en la Productividad neta de la tierra:	49.40 %
12) Aumento en la Productividad bruta del agua:	86.60 %
13) Aumento en la Productividad neta del agua:	114.60 %

NOTA: En 2009 se fusionaron los programas UEAAE y UPIH bajo el nombre “**Modernización y Tecnificación de Unidades de Riego**”(MTUR), operando bajo la misma metodología.

5 Programa de implementación en apoyo al diseño de un Programa Nacional

5.1 Definición de Alcances y Metas

5.1.1 Acciones contempladas y su interrelación

1. Como primera acción muy importante, es necesario adaptar el enfoque del balance integral de energía en situación actual, que permita analizar cada paso de la transformación de energía en busca de soluciones más eficientes, de este modo las mejoras al proyecto propuesto contemplaran menores pérdidas de energía.
2. Con el objeto de agilizar la tramitación previa para la adhesión al programa actual de “Modernización y Tecnificación de Unidades de Riego” de la CONAGUA, que está enfocado al uso sustentable de la energía y el agua, conviene desarrollar una Herramienta remota de pre-diagnóstico que puede manejar CONUEE para fortalecer y promover el apoyo a los programas existentes.
3. Derivado de esto CONUEE debe proporcionar información energética basándose en la normatividad existente, sobre equipos de bombeo y componentes electromecánicos que se emplean en los sistemas de riego promoviendo además la sustentabilidad necesaria para la explotación de los acuíferos y los importantes beneficios que se tienen evitando la sobre-explotación que finalmente conduce al agotamiento de los acuíferos y por ende a no tener posibilidades de riego en el futuro.
4. La promoción debe respaldar el empleo de medición para lograr los resultados propuestos, sobre todo mediante capacitación creando conciencia de los beneficios que se obtienen mediante el control de sus equipos e instalaciones, ya que las mediciones necesarias pueden ser muy sencillas, como son: la lectura del medidor de CFE, la de los medidores de agua, gasto y volumen producido, presión de descarga y con la sonda neumática mantener el control sobre el nivel estático y dinámico.
5. Los pasos a seguir inician con la revisión del coeficiente de utilización del pozo con el fin de comprobar si se ha desviado de los valores iniciales, se debe tomar en cuenta que el gasto concesionado y propuesto, de ninguna manera se encuentre por encima del límite de operación del acuífero, para lo cual se debe incluir en la promoción energética un modo sencillo de comprobarlo mediante el nivel estático a cero gasto y posteriormente variando, a base de cerrar la válvula de descarga, el gasto por lo menos en tres valores diferentes tomando las lecturas de nivel dinámico para cada uno de ellos, con esta información se puede dibujar una gráfica en la cual, si el coeficiente de utilización es constante el resultado es una línea recta, indicativo de que no existe

problema con la explotación del acuífero, pero si es variable se obtiene una curva lo que indicaría sobre-explotación del acuífero o dependiendo del nivel dinámico que si está dentro de los valores originales puede ser necesario que se proponga una limpieza del ademe.

6. El siguiente paso comprobar la eficiencia electromecánica usando el gasto por la carga total de altura que es el nivel dinámico más la presión en la descarga en m y dividiendo entre la lectura del medidor de CFE en kW de demanda máxima, la promoción contemplará la publicación de los valores mínimos recomendados por las NOM.
7. Disminución de pérdidas de agua en la conducción, si es el caso por lo menos se deben recubrir los canales, o mejor usando tuberías de distribución diseñadas para carga uniforme en toda la superficie de cultivo.
8. Optimización del control de operación mediante medición por medio de tensiómetros o algún otro tipo de medidor que indique la necesidad de aplicar riego al cultivo.
9. Promover la tecnificación del riego de acuerdo al cultivo, para lograr reducción de la superficie ociosa, reducir el desperdicio de agua y como consecuencia se obtenga el menor consumo de energía en todo el sistema.

5.1.2 Cuantificación de potenciales de ahorro

Tomando como referencia los promedios de ahorro obtenidos de los resultados del programa CONAGUA (UEAEE) 2003 a 2007 usado como programa experimental, calculando los promedios totales de los cinco años se tienen:

Eficiencia electromecánica promedio antes de las mejoras:	41.86 %
Eficiencia de riego promedio antes de la tecnificación:	56.90%
Eficiencia electromecánica promedio después de las mejoras:	71.16%
Eficiencia de riego promedio después de la tecnificación:	79.15%
Individualmente los dos componentes representan:	
Medidas de mejora en eficiencia electromecánica:	29.3%
Implementación de tecnificación del riego mejora en eficiencia de riego:	22.3%
Pero conjuntando los dos componentes principales del sistema de riego sin ninguna medida de mejora la eficiencia total antes de las medidas es de:	23.82%
El ahorro de energía esperado si únicamente se aplican las medidas de mejora en la eficiencia electromecánica son del orden de:	16.67%
El ahorro de energía esperado si únicamente se aplican las medidas de implementación de riego tecnificado para la mejora de la eficiencia de riego:	9.31%

El ahorro de energía total esperado con la mejora integral es decir mejorando la eficiencia electromecánica e implantando riego tecnificado es de: 32.50%

La diferencia en consumo obtenida como promedio en el programa experimental solamente llego al 17.7% pues como se explica en la Nota(1) en el año 2007 se adhirieron al programa unidades de riego que en ciclo anterior no presentaron consumo por lo cual no se reflejo el ahorro en ese año.

Como se aprecia es muy importante que se realice el plan integral que debe incluir la mejora en eficiencia electromecánica y la mejora en el uso del agua mediante la tecnificación del riego.

Aplicando los porcentajes de ahorro de 16.67% aplicando las medidas tradicionales de mejora en la eficiencia energética o la mejora con programa integral que es de 32.5% al consumo de energía nacional, y usando los costos promedio del programa UEAEE se presenta la siguiente tabla con dos escenarios:

Escenario I – Programando la realización del programa con 1200 Unidades de riego por año, un total al año 2030 de 22800 Unidades de riego atendidas.

Escenario II – Programando la realización del programa con 600 Unidades de riego por año, un total al año 2030 de 11400 Unidades de Riego atendidas.

Tabla 5-1: Propuestas de potenciales de ahorro.

Componente	Energía consumida en 2010 GWh/año	Energía Ahorrada únicamente por medidas de Eficiencia Electromecánica MWh/año y \$/año		Energía Total Ahorrada por medidas integrales de ahorro por mejoras de eficiencias electromecánica y de riego	
		GWh/año	\$/año	GWh/año	\$/año
Bombeo riego Agrícola Escenario I	9,040.33	15.37	\$6,896,549	29.88	\$13,445,582
Bombeo riego Agrícola Escenario II	9,040.33	7.66	\$3,448,275	14.94	\$6,722,791
Potencial de Ahorro en términos reales I		16.67 %		32.50 %	
Potencial de Ahorro en términos reales II		16.67 %		32.50 %	

5.1.3 Propuesta de Ahorro con escenarios I y II

Se propone una meta deseable de 22800 Unidades de Riego 1200 anuales promedio para el escenario I.

Se propone una meta deseable de 11400 Unidades de Riego 600 anuales promedio para el escenario II.

Supuestos

- Consumo actual 9.04 TWh anuales a diciembre 2010
- Crecimiento esperado 2.5 % anual de acuerdo a lo señalado en la sección 2.11 y las consideraciones para el PRONASE.
- Columna considerando solo mejora de eficiencia electromecánica.
- Columna considerando mejora integral, electromecánica más riego tecnificado.

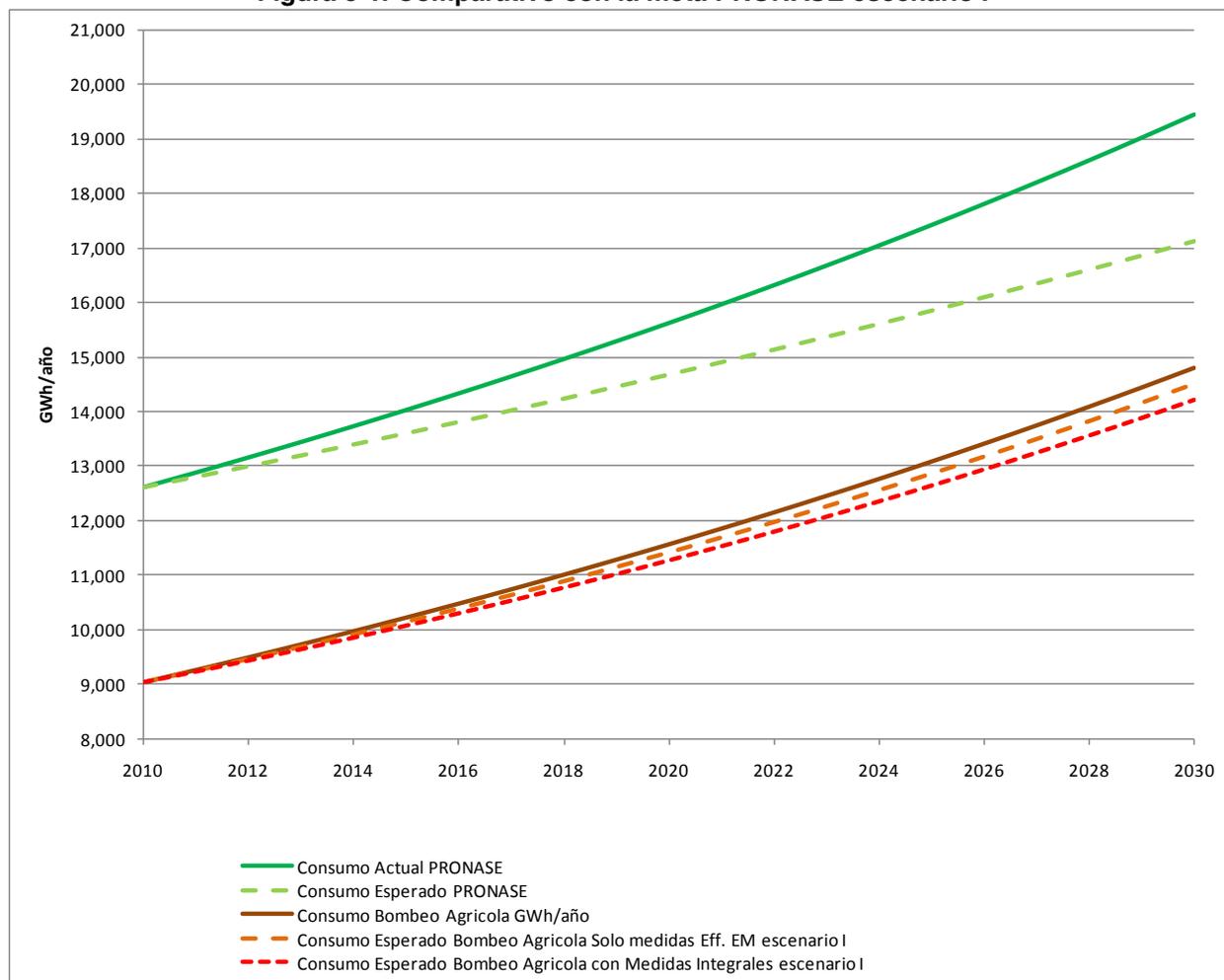
Tabla 5-2. Ahorro energético propuestas escenario I.

Año	Consumo Esperado PRONASE GWh	Ahorro Esperado PRONASE Total GWh/año	Consumo Bombeo Agrícola GWh/año	Ahorro Acumulado GWh/año solo electromecánica	Ahorro Acumulado GWh/año integral incluye riego
2010	12,624.57	0	9,040.33	0.000	0.000
2011	12,894.44	79.483	9,266.34	15.326	29.879
2012	13,170.80	162.114	9,498.00	30.651	59.758
2013	13,453.80	248.003	9,735.45	45.977	89.637
2014	13,743.62	337.266	9,978.84	61.303	119.516
2015	14,040.42	430.020	10,228.31	76.628	149.395
2016	14,344.37	526.389	10,484.02	91.954	179.274
2017	14,655.66	626.498	10,746.12	107.280	209.153
2018	14,974.45	730.477	11,014.77	122.605	239.033
2019	15,300.95	838.463	11,290.14	137.931	268.912
2020	15,635.33	950.593	11,572.39	153.257	298.791
2021	15,977.79	1,067.012	11,861.70	168.582	328.670
2022	16,328.55	1,187.868	12,158.24	183.908	358.549
2023	16,687.79	1,313.313	12,462.20	199.234	388.428
2024	17,055.73	1,443.506	12,773.76	214.559	418.307
2025	17,432.59	1,578.611	13,093.10	229.885	448.186
2026	17,818.58	1,718.794	13,420.43	245.211	478.065
2027	18,213.94	1,864.230	13,755.94	260.536	507.944
2028	18,618.90	2,015.099	14,099.84	275.862	537.823
2029	19,033.69	2,171.586	14,452.33	291.188	567.702
2030	19,458.56	2,333.881	14,813.64	306.513	597.581
		21,623.208		3,218.390	6,274.605

Tabla 5-3. Ahorro energético propuestas escenario II

Año	Consumo Esperado PRONASE GWh	Ahorro Esperado PRONASE Total GWh/año	Consumo Bombeo Agrícola GWh/año	Ahorro Acumulado GWh/año solo electromecánica	Ahorro Acumulado GWh/año integral incluye riego
2010	1,2624.568	0	9,040.33	0	0
2011	1,2814.957	79.483	9,266.34	7.663	14.940
2012	1,3008.684	162.114	9,498.00	15.326	29.879
2013	1,3205.801	248.003	9,735.45	22.988	44.819
2014	1,3406.357	337.266	9,978.84	30.651	59.758
2015	1,3610.401	430.020	10,228.31	38.314	74.698
2016	1,3817.985	526.389	10,484.02	45.977	89.637
2017	1,4029.159	626.498	10,746.12	53.640	104.577
2018	1,4243.974	730.477	11,014.77	61.303	119.516
2019	1,4462.482	838.463	11,290.14	68.965	134.456
2020	1,4684.734	950.593	11,572.39	76.628	149.395
2021	1,4910.782	1,067.012	11,861.70	84.291	164.335
2022	1,5140.678	1,187.868	12,158.24	91.954	179.274
2023	1,5374.475	1,313.313	12,462.20	99.617	194.214
2024	1,5612.224	1,443.506	12,773.76	107.280	209.153
2025	1,5853.978	1,578.611	13,093.10	114.942	224.093
2026	1,6099.790	1,718.794	13,420.43	122.605	239.033
2027	1,6349.713	1,864.230	13,755.94	130.268	253.972
2028	1,6603.800	2,015.099	14,099.84	137.931	268.912
2029	1,6862.102	2,171.586	14,452.33	145.594	283.851
2030	1,7124.674	2,333.881	14,813.64	153.257	298.791
		21,623.208		1,609.195	3,137.302

Figura 5-1. Comparativo con la meta PRONASE escenario I

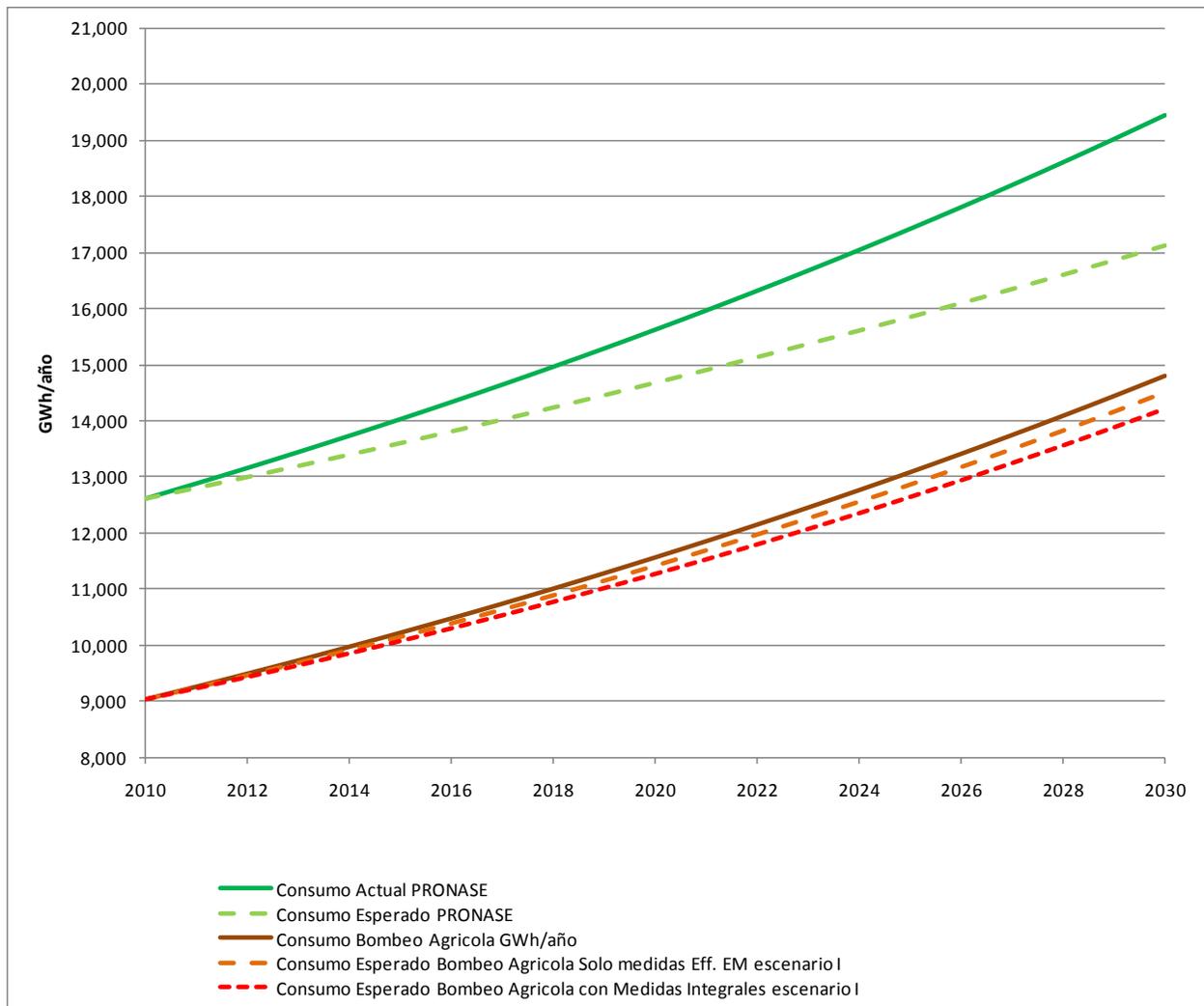


Para Escenario I se obtiene :

- **Consumo proyectado total en el 2030, 14.81 TWh**
- **Ahorro anual aprox. Escenario I -15.33 29.88 GWh**
- **Ahorro total alcanzable a 2030, Escenario I – 3.22 6.27 TWh,**

En la Figura 5-1, se muestra la proyección de ahorros y se compara con la estimada en el PRONASE que incluye las componentes municipal e hidroagrícola, y que estima un ahorro de 22TWh, 5 TWh para el municipal y 17 TWh para hidroagrícola acumulados al 2030. Como se puede observar no se alcanza la meta supuesta por PRONASE de 17 TWh al 2030 ya que se requieren un mayor número de usuarios que se acojan al programa y los ahorros estimados en PRONASE no tomaron en cuenta el incremento de producción de agua que hacen los agricultores para tener una mayor producción de cultivo disminuyendo así el porcentaje neto.

Figura 5-2. Comparativo con la meta PRONASE escenario II



Para Escenario II se obtiene :

- Consumo proyectado total en el 2030, 14.81 TWh
- Ahorro anual aprox. Escenario II -7.66 14.93 GWh
- Ahorro total alcanzable a 2030, Escenario I – 1.61 3.14 TWh,

5.1.4 Presupuesto para proyectos

Teniendo en cuenta que se deben realizar 1,200 proyectos agrícolas de acuerdo al Escenario I a continuación se muestra la corrida financiera necesaria para presupuesto de dicho escenario, así como el potencial de ahorro que se tendría al implementar medidas de ahorro con proyectos integrales. De acuerdo a la sección 4.5.9 donde se tiene que el beneficio adicional de los programas de CONAGUA han tenido como resultado un Aumento en la productividad de agua de 2.29 \$/m³ y de 11,619 \$/ha, se puede también calcular el monto que representarían estos beneficios adicionales de acuerdo a lo siguiente.

Tabla 5-4. Inversión y ahorro del proyecto.

Año	Tasa Inflación	Inflación Acumulada	Costo Total Actualizado	Ahorro Actualizado Anual \$	Incremento en utilidad por Productividad del agua en \$	Incremento en la utilidad por incremento en la productividad de la tierra en \$
2010						
2011	4,10%	4,10%	\$437,220,000	\$13,996,850	\$2,185,465	\$738,060,027
2012	4,10%	8,20%	\$454,440,000	\$14,548,119	\$2,271,540	\$767,128,673
2013	4,10%	12,30%	\$471,660,000	\$15,099,388	\$2,357,614	\$796,197,320
2014	4,10%	16,40%	\$488,880,000	\$15,650,657	\$2,443,689	\$825,265,966
2015	4,10%	20,50%	\$506,100,000	\$16,201,926	\$2,529,764	\$854,334,613
2016	4,10%	24,60%	\$523,320,000	\$16,753,195	\$2,615,839	\$883,403,259
2017	4,10%	28,70%	\$540,540,000	\$17,304,463	\$2,701,914	\$912,471,906
2018	4,10%	32,80%	\$557,760,000	\$17,855,732	\$2,787,989	\$941,540,553
2019	4,10%	36,90%	\$574,980,000	\$18,407,001	\$2,874,064	\$970,609,199
2020	4,10%	41,00%	\$592,200,000	\$18,958,270	\$2,960,139	\$999,677,846
2021	4,10%	45,10%	\$609,420,000	\$19,509,539	\$3,046,214	\$1,028,746,492
2022	4,10%	49,20%	\$626,640,000	\$20,060,808	\$3,132,289	\$1,057,815,139
2023	4,10%	53,30%	\$643,860,000	\$20,612,076	\$3,218,364	\$1,086,883,786
2024	4,10%	57,40%	\$661,080,000	\$21,163,345	\$3,304,439	\$1,115,952,432
2025	4,10%	61,50%	\$678,300,000	\$21,714,614	\$3,390,514	\$1,145,021,079
2026	4,10%	65,60%	\$695,520,000	\$22,265,883	\$3,476,589	\$1,174,089,725
2027	4,10%	69,70%	\$712,740,000	\$22,817,152	\$3,562,664	\$1,203,158,372
2028	4,10%	73,80%	\$729,960,000	\$23,368,421	\$3,648,739	\$1,232,227,018
2029	4,10%	77,90%	\$747,180,000	\$23,919,689	\$3,734,814	\$1,261,295,665
2030	4,10%	82,00%	\$764,400,000	\$24,470,958	\$3,820,889	\$1,290,364,312
Totales acumulados			\$12,016'200,000.00	\$384,678,087	\$60,063,535	\$20,284'243,382

Como se puede observar la Inversión estimada de 12,016 Millones de \$, tiene un retorno que pasa un poco los 6 meses, es decir un ciclo agrícola, debido a la alta productividad que se obtiene de la tierra.

5.2 Lineamientos generales de operación

5.2.1 Recomendaciones generales

- Desarrollo de las herramientas para la intervención remota, con objeto de fortalecer los programas existentes.
- Se requiere exigir el cumplimiento de la Ley de Aguas Nacionales, Concesiones y Normas Oficiales Mexicanas.
- Una estructura permanente que realice actividades necesarias de gestión de proyectos: promoción, evaluación, seguimiento y difusión.
- Se necesita prever el financiamiento de esos costos de transacción como parte del programa.
- Se requiere facilitar la superación a las barreras existentes.
- Se requiere tener acceso formal a los programas oficiales existentes.
- Tramitar criterios de priorización de las respectivas autoridades
- Se propone continuar con las actividades que realizaba el programa UEAEE, actualmente llamado MTUR (Modernización y Tecnificación de Unidades de Riego), el año 2011, incentivando a los participantes para lograr el impulso al resto de actividades en base a resultados

5.2.2 Herramientas a desarrollar para la Intervención remota

Se propone un plan de apoyo mediante Intervención remota para promover el Programa a dos tipos de usuarios:

- Usuarios que no estén haciendo uso del programa vigente de CONAGUA
- Usuarios que a solicitud de CONAGUA requieran capacitación o respaldo.

Para lo cual a continuación se presentan las herramientas a desarrollar para llevarlo a cabo.

5.2.2.1 Materiales de capacitación.

Tanto para el desarrollo del proyecto de eficiencia energética como para el manejo del riego para mayor eficiencia

5.2.2.2 Para el proyecto de eficiencia energética

- a) Formatos de recopilación de información y mediciones para el diagnóstico energético

- b) Software para análisis de información energética y procesamiento de resultados para obtener ahorros de energía potenciales y costo beneficio con su respectivo manual de instrucciones y anexos técnicos como recomendaciones para la selección de equipos de bombeo e implementación de proyectos de riego tecnificado.

5.2.2.3 Para el proyecto de eficiencia del riego

- a) Herramienta para el desarrollo de la auditoria de agua (Balance de agua)
- b) Herramientas para el cálculo del balance volumétrico actual y de proyecto
- c) Manual para la generación de información complementaria
 - Recomendaciones para la aplicación del riego tecnificado
 - Formatos de cuantificación de obra

5.2.2.4 Herramientas para la gestión energética

- a) Manual de indicadores
- b) Lineamientos para el plan de acción para el desarrollo de un programa de eficiencia energética para riego tecnificado PEERT

5.3 Acciones para el fortalecimiento de los programas existentes

5.3.1 Acciones iniciales

Es muy importante llevar a cabo un análisis, mediante Balance de Energía, de una muestra representativa de casos específicos

Es muy importante llevar a cabo un análisis, mediante Balance de Energía, de una muestra representativa de casos específicos realizados con el programa UEAE, tomando para ello la información de los archivos SISEVUR 3.0 de CONAGUA, con el objeto de observar y evaluar energéticamente las acciones realizadas.

El resultado que se pretende lograr es la clasificación de las mejores prácticas de ahorro de energía empleadas y que servirán como recomendaciones en la ejecución del Plan Nacional con objeto de fortalecer el programa existente, de apoyo para la rehabilitación de sistemas de bombeo agropecuario.

También este estudio permitirá el desarrollo de herramientas para el control y seguimiento, desde el punto de vista energético del Plan Nacional.

5.3.2 Acciones permanentes

Dado que uno de los principales problemas que restan efectividad a los resultados de los programas de apoyo, es la falta de cumplimiento de la Ley de Aguas Nacionales, su Reglamento y la Normatividad, es de fundamental importancia reforzar la vigilancia y exigir su cumplimiento.

Una acción que se debe llevar a cabo es la promoción y capacitación enfocadas a los beneficios que de su cumplimiento se derivan a favor de todos los mexicanos y especialmente de los usuarios de Unidades de Riego.

Es necesario contar con una estructura permanente que realice las actividades necesarias de gestión de proyectos: promoción, evaluación, seguimiento y difusión.

Esta estructura será la encargada de recibir del solicitante la información de comportamiento actual de su sistema de riego, para que previo estudio energético y balance de energía defina posibles acciones para la mejora energética, que la unidad de riego cotizará y tomará la decisión que mayores beneficios le otorgue.

En algunos casos pueden existir medidas de corto plazo que favorezcan buenos resultados y con una recuperación de la inversión también en corto plazo.

La estructura de atención propuesta pudiera actuar además de hacerlo en forma directa de una manera remota como se ha presentado en el punto 5.3.2.

5.4 Recursos Financieros necesarios para el programa

Se han mencionado ya los programas de apoyo y financiamiento operando actualmente, estos programas cuentan actualmente con recursos y además existen también programas para facilitar el financiamiento.

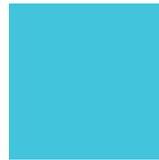
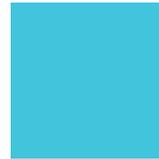
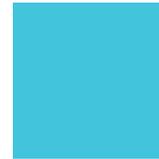
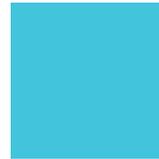
Hasta aquí nos referimos al grueso de los programas pero no hay que olvidar que se requieren fondos para la estructura de atención al programa, para el respaldo de publicidad y tal vez para cursos de capacitación sobre la cadena energética y el Balance Energético que es la base del Plan propuesto.

5.5 Beneficios esperados

- Optimizar el uso de energía para satisfacer las necesidades de suministro de agua al cultivo con el menor costo, mediante ahorro de energía eléctrica por menos horas de uso y menos desperdicio de agua.
- Sustentabilidad evitando la sobre explotación de los acuíferos.
- Aumento de la producción.

Bibliografía

- INEGI. Estados Unidos Mexicanos. Censo Agropecuario 2007, IX Censo Ejidal. Aguascalientes, Ags. 2009.
- CFE.- Tarifas promedio de energía eléctrica 2004-2010.
- SENER.- Precio al Público de Productos Petrolíferos 2005-2010
- CONAGUA.- Registro Público de Derechos de Agua, Edición Junio 2010.
- CONAGUA.- Documento “Estadísticas del Agua en México, Edición 2010”
- SIE.- Sistema de Información Energética del Sector Eléctrico Nacional, ventas internas de energía eléctrica por tarifa y Usuarios de energía eléctrica por tarifa, para Tarifa 6 “Bombeo de agua potable y negras de servicio público”.
- WATERGY.- Información de proyectos realizados por Watergy México A.C.



© Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5
65760 Eschborn/Alemania
www.giz.de

- Cooperación Alemana al Desarrollo -

Agencia de la GIZ en México
Torre Hemicor, PH
Av. Insurgentes Sur No. 826
Col. del Valle
C.P. 03100, México, D.F.
T +52 55 55 36 23 44
F +52 55 55 36 23 44
E giz-mexiko@giz.de
I www.giz.de/mexico