

BOMBEO FOTOVOLTAICO: UN ANALISIS TECNICO - SOCIAL DE INSTALACIONES EN LA PROVINCIA DE CATAMARCA

C. Rodriguez, R. Herrera y M. Kiskia
Subsecretaría de Ciencia y Tecnología
República 838 - C.P 4700 - Catamarca -Argentina
Email: sucytca@seambiente.gov.ar

A. Iriarte¹
INENCO - Catamarca
Fac. de Ciencias Agrarias - U.N.Ca
M. Quiroga 93 - 4700 - Catamarca - Argentina
Email: iriarte@plab.unca.edu.ar

A. Fabris
Ituzaingo 550
Capital Federal - Argentina
Email: aldofabris@ciudad.com.ar

RESUMEN - Las bajas precipitaciones pluviales y los escasos escurrimientos superficiales lleva a numerosas poblaciones rurales de Catamarca a recurrir al agua acumulada en represas, para bebida, arriesgándose a contraer enfermedades intestinales. Existen también servicios reducidos donde se extrae agua subterránea mediante bombeo, implicando elevados gastos operativos. Este factor y los elevados niveles de radiación solar, contribuyeron a decidir el uso de tecnología fotovoltaica para extraer agua subterránea. En el presente trabajo se describe: principales características de las poblaciones, problemas comunitarios y gubernamentales involucrados con la transferencia tecnológica, además de las características de los sistemas instalados. La evaluación del comportamiento durante nueve años permite reportar las fallas producidas y arribar a la conclusión que, a pesar de los problemas técnicos, el sistema cuenta con aceptación social en la mayoría de las poblaciones beneficiadas con el programa, salvo algunas que proponen la instalación de sistemas mixtos.

Palabras Clave: bombeo fotovoltaico, análisis técnico, aspectos sociales

INTRODUCCION

La provincia de Catamarca ubicada a los 25°12' y 30°5' de latitud sur y entre los 64°56' y 69°28' de longitud oeste, abarca una superficie aproximada de 100.968 km². Se divide en 16 Departamentos, con numerosas localidades que presentan condiciones de semidesierto. Las precipitaciones pluviales en algunos casos no llega a 300 mm anuales. Tampoco existen en las proximidades escurrimientos superficiales de agua (ríos, arroyos, etc) que permitan abastecer a las poblaciones.

La elevada heliofanía y altas temperaturas provocan considerables pérdidas por evaporación en los estanques naturales que se colmatan en épocas de lluvia y en los reservorios donde la población almacena agua. Esta carencia de fuentes hídricas repercute negativamente en las formas de obtención de agua potable. Durante la época de lluvias (3 meses al año) un alto porcentaje de la población consume agua de represa, compartiendo la bebida con los animales, arriesgándose a contraer enfermedades como hepatitis y cólera por la contaminación del fluido. Otros pobladores dependen de servicios reducidos, donde bombas accionadas por motores a explosión extraen agua subterránea, implicando elevados gastos operativos al organismo estatal prestador del servicio; y a los mismos usuarios quienes deben aportar el combustible.

Cuando las represas se secan o las bombas no funcionan, el agua para consumo humano y ganadero, debe ser distribuida en camiones, causando problemas logísticos y altas erogaciones al gobierno provincial y a la comunidad quien se ve forzada a disminuir sus magros ingresos por el pago a particulares para el transporte.

Los altos niveles de radiación (5 a 6 kWh m²día⁻¹) en estas zonas, una de las causas de ausencia de agua, fue decisivo para la implementación del uso de tecnología fotovoltaica para la extracción de agua subterránea.

CARACTERIZACION DEL PROGRAMA

Características de las poblaciones beneficiarias

Población: Un patrón de asentamiento muy disperso es la característica común de todas estas comunidades que apenas superan los 150 habitantes. La población joven emigra hacia el gran Buenos Aires y la Capital Federal en busca de trabajo. La mayoría de ellos se insertan en las villas marginales de estos grandes centros urbanos. En referencia a este tema expresan los vecinos:

¹ Investigador del CONICET

- "Tienen razón de irse. Nosotros nacemos y morimos cuidando cabras, no hay posibilidades de una vida mejor..."
- "En el pueblo hay fiesta y alegría para fin de año, con el Niño Dios vuelven los hijos a visitarnos"

Aspectos económicos: El desarrollo de estrategias de supervivencia en una economía precaria, agravada por el medio físico hostil, es el denominador común de estas poblaciones. La actividad productiva más importante es la cría de ganado caprino, la que por las características agroecológicas de la zona, presenta mayor resistencia ante la poca disponibilidad y deficiente calidad de pasturas. Juega también un papel negativo el sistema precario de tenencia de la tierra. Gran parte de los productores explotan la ganadería en forma extensiva en tierras sin conocer, quién es legalmente el propietario o cuáles son sus límites. Es así que una gran proporción de la superficie es pastoreada como campo comunero realizando en la mayoría de los casos una sobre explotación del recurso forrajero. En menor escala se da la cría de ganado vacuno, caballar y ovino.

La mujer realiza las tareas propias del hogar, además cuida las majadas de cabras, trae leña, agua y produce los alimentos para la familia. Sus actividades recreativas se reducen a visitas entre vecinas, reuniones familiares y campeonatos de fútbol.

Salud: La cobertura médica es esporádica, dos de estas localidades no cuentan ni con Posta Sanitaria para los primeros auxilios. Cobra gran relevancia y protagonismo la medicina popular en base a hierbas que crecen en el lugar.

Vivienda: La mayoría están construidas con paredes de adobe y techos de ramas del lugar compactadas con barro. Por lo general son muy precarias y constan de uno o dos dormitorios con una galería donde se come. Se cocina generalmente en una ramada independiente del resto de la vivienda.

Educación: Estas poblaciones cuentan con el servicio de educación formal primaria (con excepción de la localidad de Los Raigones) a cargo de uno o dos docentes por escuela. No se observan acciones de educación no formal destinadas a atender requerimientos de capacitación tanto en servicios como en actividades productivas.

A manera de síntesis, la Tabla 1 muestra los resultados de relevamientos realizados en las principales localidades de la zona, con anterioridad a la transferencia de los sistemas de bombeo fotovoltaicos.

Localidad	Habitantes	Abastecimiento de agua	Producción diaria de agua	Ganado			Equipamiento comunitario			
				Caprino	Vacuno	Otro	Posta Sanitaria	Escuela	Correo	Regist Civil
Carranza	98	Motor Gas-oil 36 conex. domic.	7.200 l 2hs de bombeo	200	100	90	Sí	Sí	Sí	No
El Milagro	69	Motor gas-oil Servicio reducido	1569 l 2hs de bombeo	200	400	90	No	Sí	No	No
El Bañado	160	Motor gas-oil 4 conex. domicil.	8.000 l 4hs de bombeo	600	700	100	Sí	No	No	No
La Horqueta	91	Molino Servicio reducido 2 conex. dom.	4.856 l	400	150	100	No	Sí	No	No
Los raigones	40	Noque	2.650 l	600	130	150	No	No	No	No

Tabla 1. Situación de la población antes de la transferencia de los sistemas de bombeo fotovoltaicos

En varias localidades las instalaciones de los nuevos sistemas se realizaron en reemplazo de una bomba de pistón diesel. En el caso particular de Los Raigones la extracción del agua se realizaba utilizando un caballo y una bolsa de cuero que eran maniobrados por dos personas (una para el caballo y una para la manipulación de la bolsa de cuero). En cambio en La Horqueta se reemplazó un molino Americano Multipala, que comandaba una bomba de pistón. Generalmente el agua bombeada es almacenada en dos reservorios: un tanque elevado entre 6 y 11 m sobre el nivel del suelo, con una capacidad entre 8 y 10 m³ y en un tanque tipo Australiano con una capacidad entre 20 y 40 m³. Las excepciones la constituyen las localidades de Las Peñas y El Quemado donde no existen tanques Australianos. Ambas poseen una capacidad de almacenamiento de 2 m³, el primero a 4,5 m de altura y el segundo a 1 m de elevación sobre el nivel del suelo.

Problemas encontrados a la hora de transferir la tecnología a la comunidad

Toda transferencia de tecnología relativamente nueva implica derribar diferentes barreras tanto culturales como administrativas. Durante el desarrollo de los programas de bombeo fotovoltaico nos encontramos con diversos problemas, los que están relacionados con:

a) La comunidad beneficiaria de la transferencia:

- ✓ Descreimiento, como consecuencia de experiencias negativas repetidas a través de generaciones con respecto a promesas incumplidas de políticos.
- ✓ Escasa cultura organizativa para la solución en común de los problemas que afectan a la comunidad.
- ✓ Escasa capacidad de autogestión y promoción comunitaria como consecuencia de una viciada práctica de "dádivas" durante las campañas políticas, metodología que genera en las comunidades la conciencia que debe recibir pasivamente.
- ✓ Desconfianza ante lo desconocido.

b) *A nivel de Organismos participantes y de equipos técnicos:*

- ✓ Burocracia administrativa que dificulta la coordinación entre los Entes gubernamentales responsables del Proyecto.
- ✓ Falta de financiamiento local para la optimización de la infraestructura existente (pozos, tanques y distribución).
- ✓ Falta de concientización sobre la necesidad de constituir equipos interdisciplinarios de trabajo que garanticen una transferencia eficaz y eficiente de la tecnología.

Metodología utilizada en el campo social de la transferencia

Realizado el estudio de factibilidad, se organizaron jornadas comunitarias de información sobre los nuevos sistemas de bombeo, sus bondades y limitaciones. Se procedió a capacitar a los encargados de las Plantas de Bombeo sobre el cuidado y manejo de los equipos, esto en forma simultánea a las instalaciones. Además se generaron procesos participativos de organización comunitaria para la ejecución de otros proyectos que surgen como impacto de la tecnología transferida. Estos proyectos contienen un fuerte componente de educación no formal que capacita para la participación, toma de decisiones y entrena en la práctica de actividades específicas según el proyecto (cultivo de hortalizas y frutales, producción de plantines).

Este proceso cuenta con apoyo de material escrito que presenta un abordaje temático desde la experiencia, en un lenguaje propio del universo vocabular del adulto que habita la zona rural de la provincia. Para la superación de las dificultades planteadas en la comunidad se procedió a campañas de información, jornadas de capacitación y asistencia técnica.

Principales características de los sistemas de bombeo instalados

En Tabla 2 se muestran las características principales de los sistemas instalados en la provincia de Catamarca. En la misma se identifican los 7 realizados dentro del programa Argentino - Alemán de Bombeo Fotovoltaico, por la marca (AEG), además de aquellos adquiridos con financiamiento del estado provincial.

LOCALIDAD	Altura tanque [m]	Prof. de Montaje [m]	Agua bombeada promed. [m ³ d ⁻¹]	Tipo de bomba	Nº de módulos	Pot. del Gener [Wp]	Módulos Fotovol.	Inversor	Año de Instalac
CARRANZA	11	32	35	Grundfos SP 5ª-7	32	1600	AEG Si Polier.	SA 1500 Grundfos	1991
LOS RAIGONES	10	32	30	Grundfos SP 5ª-7	32	1600	AEG Si Polier.	SA 1500 Grundfos	1991
EL MILAGRO	8	23	20	Grundfos SP 5ª-7	24	1200	AEG Si Polier.	SA 1500 Grundfos	1991
LAS PALMITAS	10,9	31,5	30	Grundfos SP 5ª-7	32	1800	AEG Si Polier.	SA 1500 Grundfos	1993
EL BAÑADO	8	15	40	Grundfos SP 5ª-7	32	1600	AEG Si Polier.	SA 1500 Grundfos	1993
LA HORQUETA	9	32	12	Grundfos SP 3ª-10	14	800	AEG Si Polier.	SA 1500 Grundfos	1993
LOS MORTEROS	11	19	25	Grundfos SP 5ª-7	24	1200	AEG Si Polier.	SA 1500 Grundfos	1993
LAS PEÑAS	4,5	3	2	Solarjack D 128	2	96	Solartec Si Polier.	--	1995
EL QUEMADO	2,5	18	2	Solarjack D 128	2	96	Solartec Si Polier.	--	1996
EI MILAGRO II	7	32	25	Grundfos SP 5ª-7	32	1600	BPSolar Si Polier.	SA 1500 Grundfos	1999
LA HUERTA	35 (1)	4	8	Grundfos SP 5ª-10	14	728	BPSolar Si Polier.	SA 1500 Grundfos	1998
LOS GOMEZ	22 (1)	2	13	Grundfos SP 5ª-10	14	728	BPSolar Si Polier.	SA 1500 Grundfos	1998
EL MOJON	50 (1)	20	6	Grundfos SP 5ª-10	14	728	BPSolar Si Polier.	SA 1500 Grundfos	1998
BAJO HONDO	10	10	20	Grundfos SP 5ª-7	14	1092	BPSolar Si Polier.	SA 1500 Grundfos	1998

(1): El tanque de reserva esta colocado sobre una loma, a una distancia horizontal media de 200 m.

Tabla 2. Características de los sistemas de bombeo fotovoltaicos instalados en la provincia de Catamarca

Descripción de los sistemas de bombeo

Los sistemas instalados, excepto los de Las Peñas y El Quemado, constan de un Generador Solar, un Inversor de corriente continua a corriente alterna y un motor-bomba sumergible; diseñados para extraer agua suficiente para uso y acumulación, evitando de esta manera la incorporación de baterías. El generador fotovoltaico esta constituido por 3 conjuntos de módulos conectados en paralelo para alimentar el inversor. Cada conjunto esta formado por 8 módulos dispuestos en serie, los que están construidos con 40 celdas de silicio policristalino de 100 cm² conectadas en serie para producir una potencia de 50 Wp.

El inversor, puede funcionar con frecuencia variable según la potencia entregada por el generador fotovoltaico, es el responsable de la conversión de corriente continua en corriente alterna trifásica y puede realizar el seguimiento del punto de máxima potencia del generador. Posee además protección en la salida ante cortocircuitos y bloqueo o embalado del motor -

bomba y controla automáticamente el arranque y parada del mismo según condiciones de corriente y voltaje de generación. Tiene una potencia de 1500 W nominales y una eficiencia del 90 %.

El motor sumergible, cuyas partes principales son de acero inoxidable, está acoplado a la bomba, la que es del tipo centrífuga de varias etapas. Las Peñas y El Quemado tienen motor sumergible de corriente continua, lo que implica un principio de funcionamiento distinto para la bomba. Estos sistemas están constituidos por un generador fotovoltaico que alimenta un controlador de carga y de allí un motor - bomba del tipo de pistón.

Control del funcionamiento

Para el monitoreo de los sistemas de bombeo se instalaron en algunas plantas, sistemas de adquisición de datos, que permiten registrar parámetros de bombeo, eléctricos y de radiación solar. En otras existen solo instrumentos de simple integración para grabación diaria en archivos lógicos de datos de radiación.

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS SISTEMAS.

En Tabla 3 se muestra un resumen de las principales fallas (a Mayo de 2000) de los sistemas instalados. Como puede observarse, los problemas encontrados tienen diferente origen: en el generador solar, el inversor, la bomba o en la perforación. Los problemas de la perforación pueden ser a causa de la fuente (salinización, depresión del agua, etc.) e ingeniería de perforación o mantenimiento. Se incluye también el factor humano porque en algunos casos son los responsables de la rotura o pérdida de función de algunos componentes.

LOCALIDAD	Causas y Fallas Registradas					Problemas /Soluciones
	Generador Solar	Inversor	Bomba	Pozo	Humano	
CARRANZA	SI (1)	NO	SI (2)	SI (3)	NO	(1) Pérdida de potencia del generador solar. Problema resuelto luego de reemplazarlo.
LOS RAIGONES	SI (1)	NO	NO	SI (4)	NO	(2) Rotura de estrías de la bomba. Se reemplazó.
EL MILAGRO	SI (1)	NO	NO	NO	NO	(3) Falla en encamisado de la perforación.
LAS PALMITAS	SI (5)	NO	NO	SI (6)	NO	(4) Pozo secado durante los primeros ensayos. Resuelto luego de limpiar el mismo.
EL BAÑADO	SI (5)	NO	NO	NO	NO	(5) Pérdida de potencia del generador solar.
LA HORQUETA	SI (1)	NO	NO	SI (7)	NO	(6) Salinización del agua del pozo
LOS MORTEROS	SI (1)	NO	NO	NO	NO	(7) Secado de pozo con alto caudal de bombeo en la tarde. Resuelto mediante una reducción del tamaño del generador solar.
LAS PEÑAS	NO	--	SI (8)	NO	SI (9)	(8) Rotura de la bomba por obstrucción de cañería de impulsión. Reemplazo de la bomba.
EL QUEMADO	NO	--	SI (8)	NO	SI (9)	(9) Bloqueo manual de válvula en cañería de impulsión. Resuelto eliminando válvulas y automatizando la interrupción del bombeo por sistema de flotante.
EL MILAGRO II	NO	NO	NO	NO	NO	
LA HUERTA	NO	NO	NO	NO	O	
LOS GOMEZ	NO	NO	NO	NO	NO	
EL MOJÓN	NO	NO	NO	NO	NO	
BAJO HONDO	NO	NO	NO	NO	NO	

Tabla 3. Reporte de fallas de los sistemas instalados a Mayo de 2000

El análisis de los datos registrados en forma automática y los recolectados manualmente nos permitieron detectar las anomalías en el funcionamiento de las diferentes plantas de bombeo. La Fig. 1 muestra el comportamiento de la planta ubicada en la localidad de Carranza desde su instalación en el año 1991 hasta 1995. Se grafican valores de radiación global sobre una superficie inclinada 30° (ángulo adoptado para colocación de los módulos), caudal máximo y caudal promedio mensual bombeado por el sistema. Puede observarse que durante los primeros dos años tanto la curva de caudales máximos como la de promedios tienen una muy marcada correlación con la que representa los valores de radiación solar. Luego comienza a notarse una disminución de la cantidad de agua bombeada, tal es así que en el mes de Julio de 1994 ya se pudo determinar que el principal problema residía en el motor - bomba. Este se había deteriorado a causa de incrustaciones por el material proveniente del caño utilizado en el encamisado de la perforación. Con el reemplazo de esta parte del sistema se logra la recuperación del caudal bombeado.

Un análisis a partir de la potencia diaria desarrollada por los módulos, determina que la pérdida de eficiencia del sistema se debía también a problemas en el generador solar. (Fig. 2). Como los equipos instalados en las localidades de Los Raigones y El Milagro presentaban las mismas fallas, en Julio de 1995 los generadores solares completos fueron reemplazados,

recuperándose la eficiencia inicial. (Fig. 3). Un estudio del proveedor indicaba que los módulos destinados a estas 3 plantas había tenido problemas en su fabricación.

La nueva batería de módulos no arrojó los resultados esperados, pues aunque el fabricante garantizaba perdidas de eficiencia menores al 10 % en diez años, mediciones realizadas en el mes de mayo de 2000 indican problemas en la generación. Tal es así que en Carranza ya se observa deterioro en 7 de un total de 24 módulos que conforman el sistema. Esta deficiencia se ve reflejada también en el caudal de agua bombeada, la que según mediciones en esta misma fecha alcanzó un caudal máximo de agua bombeada de 19 m³, valor que representa una disminución del 35 % en relación con los máximos caudales registrados para igual época del año cuando el sistema trabaja en condiciones óptimas.

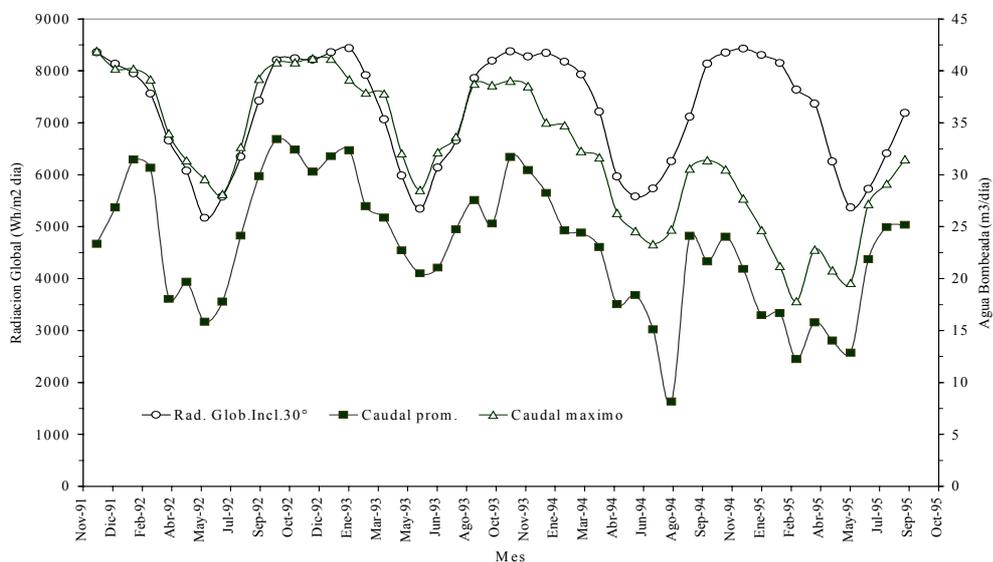


Fig. 1. Variación mensual de la radiación global y caudal de agua bombeada (1991 – 1995)

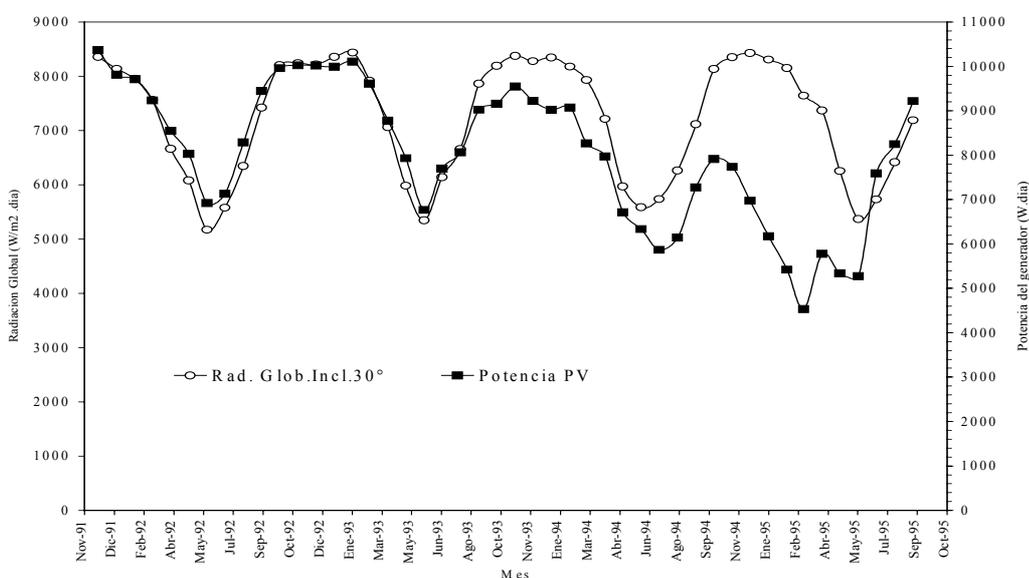


Fig. 2. Variación mensual de la potencia del generador y su relación con la radiación solar (1991 – 1995)

Se ha detectado también deterioro en los módulos de las plantas de La Horqueta, El Bañado, Los Morteros y Las Palmitas, instaladas en el año 1993, a pesar que el fabricante asegura que estos elementos son distintos a los provistos en el año 1991.

Las plantas de bombeo adquiridas en el mercado local e instaladas en los años 1998 y 1999 en las localidades de El Milagro II, La Huerta, Los Gómez y El Mojón, hasta el momento no registran fallas en ninguno de sus componentes. En relación con las demás partes del sistema es importante destacar el excelente comportamiento de los inversores y el motor – bomba, ya que las fallas de este último fueron producidas por agentes externos al mecanismo de funcionamiento.

En lo referente a los sistemas de bombeo de El Quemado y Las Peñas, aunque no hubo un seguimiento de eficiencia desde su instalación (en 1994 la primera y 1995 la segunda), se registraron problemas de funcionamiento en dos oportunidades. En ambas se produjo un deterioro del motor por falta de continuidad en su bobinado. En Las Peñas se determinó que la causa de

esta falla había sido la obstrucción de la cañería de impulsión. Se estima que por idéntico motivo se inutilizó la bomba instalada en la localidad de El Quemado, pues según relato de vecinos, se procedía al cierre de las válvulas de entrada al tanque de reserva cuando la bomba estaba en funcionamiento. Ambas bombas, luego de su reemplazo funcionan correctamente. Con la particularidad que la instalada en El Quemado trabaja sumergida en un ambiente altamente salino (Cloruros: 6.498 mg l⁻¹, Sulfatos: 8.800 mg l⁻¹)

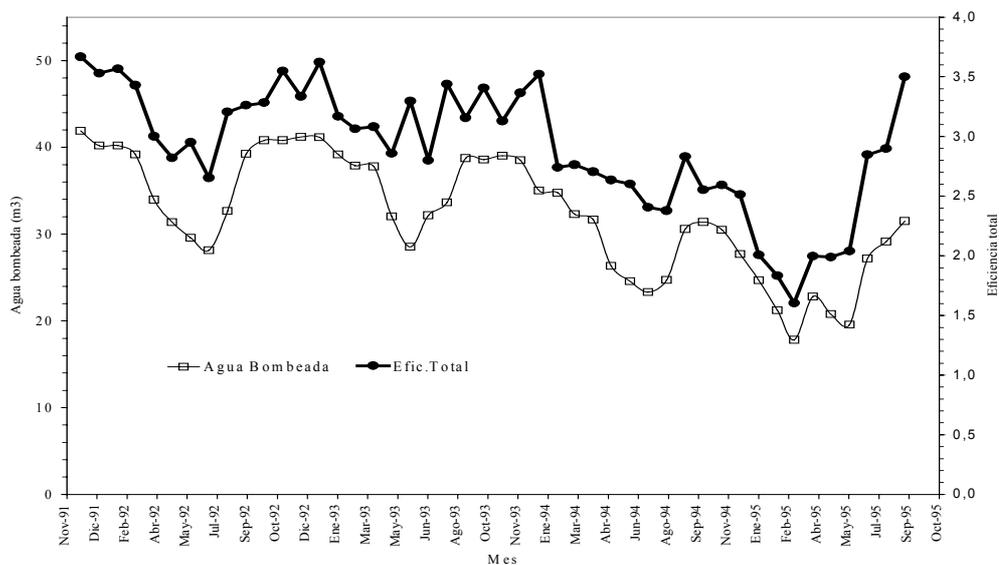


Fig. 3. Variación mensual de la eficiencia total del sistema e influencia en el volumen de agua bombeada.

CONCLUSIONES

La demostración mediante la instalación de los sistemas de bombeo permitió constatar a los pobladores que se trata de una tecnología confiable y que es una realidad en su comunidad. La ventaja de la automatización es considerable ante la falta de personal capacitado para operar otros sistemas tales como grupos electrógenos. Además los costos de mantenimiento de los sistemas con inversores son muy reducidos. Una desventaja de los sistemas con bombas de corriente continua es que los mismos adolecen de protecciones adecuadas.

Hasta el momento los módulos fotovoltaicos, utilizados en sistemas para bombeo de agua, en nuestra provincia no están cumpliendo con las especificaciones de eficiencias garantizadas por los fabricantes. Esto genera una opinión desfavorable en los usuarios, como por ejemplo en la localidad de El Bañado donde la disminución de cantidad del agua disponible hace que los pobladores añoren el viejo sistema de la bomba de gas-oil o soliciten la instalación de ambos sistemas para compensar la deficiencia. El impacto fue mayor en las localidades donde la transferencia tuvo un componente educativo fuerte, que como consecuencia se generaron otros proyectos que contribuyeron eficazmente al logro del objetivo propuesto.

Es fundamental la conformación de equipos interdisciplinarios (sociólogos, educadores, ingenieros, etc.) con el propósito de aunar criterios de trabajo que permitan un planteo coherente en la transferencia de tecnologías. Además se debe garantizar la continuidad y calidad del servicio mediante un seguimiento técnico permanente de los equipos instalados. Esto evita la "caída" de la tecnología y el regreso a la situación anterior a la transferencia.

Los cambios climáticos han producido un aumento de días nublados, esto implica la necesidad de implementar sistemas mixtos de bombeo (fotovoltaico - diesel o fotovoltaico - eólico) en comunidades donde las características del pozo no permite una extracción exhaustiva durante las horas de sol.

REFERENCIAS

- Fabris, A; Schröer, R; et al -"Programa de Bombeo Fotovoltaico" - Actas de la 15° Reunión de trabajo de la ASADES, 1992.
- Herrera, R; Rodriguez C.; Vigo, C; et al -"Bombeo Fotovoltaico de agua en La Horqueta. Dpto. La Paz - Catamarca: Diseño y características de funcionamiento" - Actas de la 17° Reunión de trabajo de la ASADES, 1994.
- Fabris A -"Photovoltaic Pumping Program: Argentina Results After Four Years Systems Operation" - Seminario Intenational Photovoltaic Pumping Program - GTZ - Eschborn - República Federal de Alemania, Noviembre de 1995.

ABSTRACT - The scarce pluvial precipitations and the low surface drainage make many rural populations in Catamarca resort to water reservoirs for drinking, running the risk of intestinal illnesses. Reduced services pumping out underground water involve high cost of operation. All this and the high solar radiation levels contributed to the decision to use photovoltaic energy to take out underground water.

This work describes: the main populations characteristics of, community and governmental problems about technology transfer, besides the characteristics of installed systems. The evaluations made through nine years, allows to report the produced flaws and to reach the conclusion that, in spite of technical problems, the system has the approval of the populations benefited with the program, except some that propose the installation of mixed systems.