

# **EFICIENCIAS ELECTROMECAÑICAS DEL BOMBEO PARA RIEGO EN MONTECASEROS Y ALTO CHAPANAY. DPTO SAN MARTÍN -MENDOZA**

**Nicolás Martinis, Carlos Mirábile, Gregorio Ballonga, Marta Nuñez**

Instituto Nacional del Agua-Centro Regional Andino

Belgrano oeste 210 Mendoza 5500 telefax 261-4288251 mail [nmartinis@ina.gov.ar](mailto:nmartinis@ina.gov.ar)

## **RESUMEN**

El objetivo de este trabajo, fue desarrollar una metodología que permita valorar la eficiencia de los equipos electromecánicos que se utilizan en el bombeo de agua subterránea para riego agrícola, que permita a partir de su conocimiento la gestión eficiente y sirva a los usuarios como herramienta para incrementar la competencia empresaria.

Las tareas de campo consistieron en mediciones eléctricas e hidráulicas y en el relevamiento de la información agrícola pertinente. Se midió: nivel estático y dinámico, salinidad inicial y final del agua, caudal erogado y potencia requerida; en 15 perforaciones sobre 70 visitadas, ubicadas en los distritos de Montecaseros y Alto Chapanay, del Oasis Norte.

“In situ” se pudo inferir que la conservación de los sistemas de bombeo es deficiente, no realizándose un adecuado mantenimiento en tiempo y forma. Las cañerías de producción, en la mayoría de los casos, presentan avanzados procesos de oxidación y/o incrustación

En 14 de las 15 perforaciones estudiadas, tanto el rendimiento de los sistemas de elevación como el de las bombas se hallan por debajo del óptimo y la estimación de la demanda de potencia extra (por ineficiencia de las bombas) presenta valores variables que totalizan 172,11 Kw.

En general, las electrobombas presentan mayor rendimiento, debido a su mayor eficiencia hidráulica y mecánica, mientras en las bombas de eje vertical la eficiencia por transmisión motor-bomba es baja, debido a factores como correas insuficientes y/o deterioradas con baja tensión, falta de alineamiento motor - bomba, lubricación deficiente, etc.

En la mayoría de las propiedades, la conducción del agua hacia las parcelas se hace a través de acequias no revestidas y dado el predominio de suelos franco arenosos en la zona, las pérdidas de agua hasta la parcela cultivada son importantes.

Tanto en riego superficial como en riego por goteo se ha detectado que en general el agricultor aplica más agua de la necesaria. Como una primera aproximación, en el mes de diciembre, en las fincas regadas en forma superficial se aplicó un exceso de 83 mm y en las de riego por goteo, de 52 mm (520 m<sup>3</sup>/ha). Esto implica un exceso de consumo energético por hectárea regada de 178,3 y 105,2 Kwh/ha, respectivamente.

**Palabras clave:** Energía – Bombeo – Riego

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se ha desarrollado dentro del marco del proyecto global sobre “Incremento de la Eficiencia Energética y Productiva en las PyMES argentinas (PIEEP)”, PN 97.2224.0001.00 de GTZ GMBH-Agencia Alemana de Cooperación Técnica S.R.L.

La problemática actual de las áreas que riegan por bombeo no es solo el costo de la energía sino también en función de la crisis energética actual, la disponibilidad de la misma. Se sabe que el costo del agua de riego por bombeo para cultivar una hectárea es entre 3 y 5 veces superior al del agua de turnado (río), a nivel de empresa agrícola se hace entonces necesario la reducción de este costo a fin de tener competitividad en el mercado, y el uso eficiente de la electricidad consumida para riego es la manera de lograrlo para lo cual principalmente se necesita un adecuado mantenimiento de los equipos de bombeo y la aplicación eficiente del riego.

A nivel Provincia el uso eficiente de la energía por parte del sector agrícola se traducirá en un ahorro de electricidad la cual en estos momentos de crisis puede ser volcados a sectores industriales que hoy presentan restricciones en los suministros.

## OBJETIVOS

Los objetivos que se pretende alcanzar con este proyecto son los que se detallan a continuación:

### Generales

- Desarrollar metodología y cálculo de la **eficiencia energética productiva en el bombeo de agua subterránea para el riego** en explotaciones agropecuarias de la Pcia. de Mendoza.
- Elaboración de los informes específicos de las explotaciones agropecuarias correspondientes a los pozos de bombeo de agua subterránea estudiados en el proyecto.
- Elaboración de una propuesta de programa de eficiencia **energética productiva en perforaciones utilizadas para** riego agrícola.

### Específico

- Desarrollar una metodología para el incremento de la **eficiencia energética productiva en el bombeo de agua subterránea para riego** agrícola, que permita una gestión eficiente del recurso agua y sirva a los usuarios como herramienta para incrementar la competencia empresaria.

## DESCRIPCIÓN Y ANTECEDENTES DEL ÁREA DE ESTUDIO

Se ubica en el departamento. de San Martín y comprende los distritos de Alto Chapanay y Montecaseros (figura 1) zona de bombeo casi exclusivo, situada al norte del área regada por el río Tunuyán inferior. La misma se desarrolla a partir de la década del 60 incentivada por

desgravaciones fiscales a la construcción de perforaciones, lo que permitió una rápida ampliación de la superficie cultivada en los bordes de los oasis.

La zona presenta desde hace tiempo problemas de salinización en los primeros niveles acuíferos y es por ello que la tendencia actual es explotar aquellos que se encuentran por debajo de los 180 metros de profundidad.

Actualmente esta zona se encuentra bajo medidas de restricción impuestas por parte del Departamento General de Irrigación prohibiendo la ejecución de nueve perforaciones, para atenuar la sobre explotación de los acuíferos y proteger su calidad.

El uso eficiente de la energía para riego es fundamental para la sustentabilidad y el desarrollo futuro de la zona, ya que todo aumento del área cultivada en cada finca dependerá entre otros aspectos, de la eficiencia electro mecánica de los equipos de bombeo y del riego .

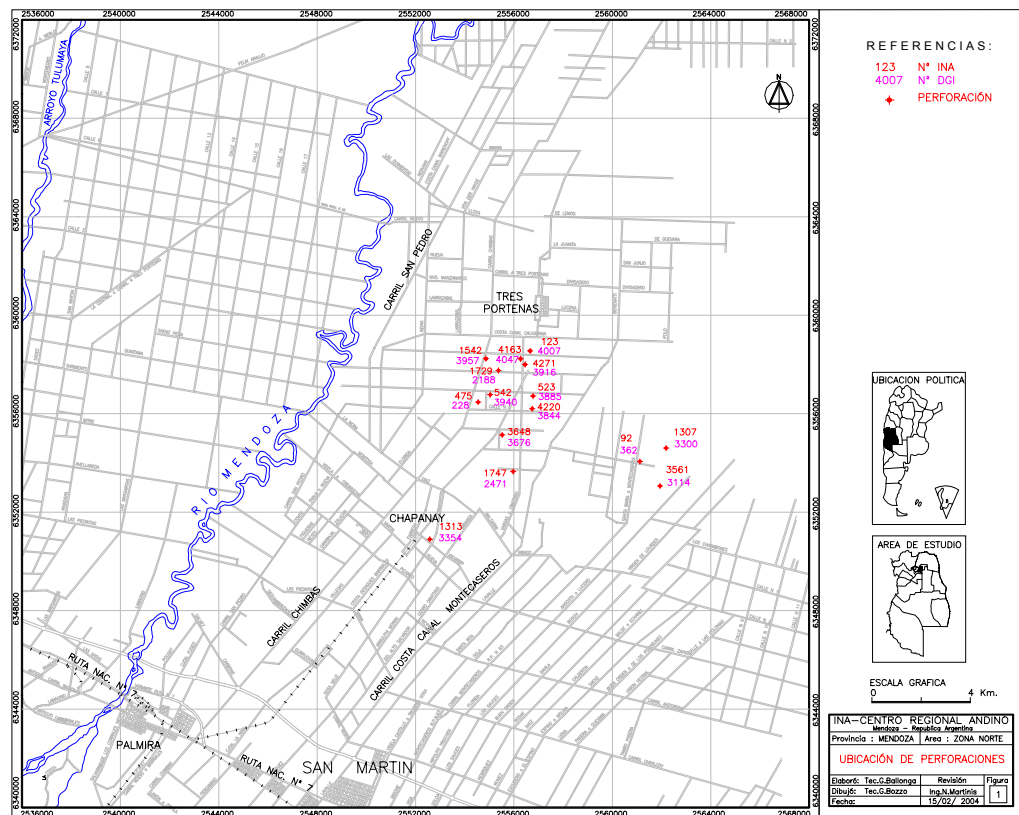


Figura 1. Área de estudio, ubicación de las perforaciones chequeadas

## MATERIAL Y MÉTODOS

Las actividades de campo realizaron durante el mes de diciembre de 2003, consistieron en principio, en efectuar un relevamiento en campaña de la información básica que permitiese conocer los rendimientos de los sistemas de extracción de agua subterránea. La tarea pudo concretarse en 15 pozos sobre 70 chequeados, ubicados en fincas que dependían exclusivamente del bombeo electromecánico para el riego de los cultivos. Los datos obtenidos son los inherentes a la finca, a la perforación y los de las mediciones hidráulicas y eléctricas realizadas in situ que consistieron en

aforo de la perforación, determinación de nivel estático (NE), nivel dinámico (ND), salinidad inicial y final del agua bombeada ( CEi y Cef), tiempo de estabilización del nivel, potencia, etc

Posteriormente, en gabinete se procedió a analizar la información relevada y a efectuar los cálculos pertinentes que permitiesen la valoración de los rendimientos de las instalaciones de bombeo.

### **Determinación de nivel estático y dinámico**

Se utilizaron cintas eléctricas con graduación al centímetro. El método consistió en introducir un sensor eléctrico entre las cañerías de entubación y producción del pozo. La tarea se vio dificultada porque no todas las perforaciones permitían un acceso al espacio anular entre las cañerías, debido a que el cabezal, en muchos casos apoyaba sobre una base de hormigón y además, cuando se podía acceder espacio anular no se podía descender la cinta debido al poco espacio que separa ambas cañerías, y/o las incrustaciones y corrosión y a los cables de suministro eléctrico de las electro bombas de motor sumergido, basura, etc.

### **Medición de la Conductividad Eléctrica Específica**

“In situ” se utilizó un conductivímetro de amplio rango marca HATCH con termómetro incorporado y corrección automática de lectura.

Las muestras de agua subterránea se obtuvieron al inicio de la etapa de bombeo, es decir, luego de estar el pozo en reposo durante varias horas. En el momento del arranque se tomaba la primer agua de la cañería, a la que se le media la CE inicial. Cuando el Nivel Dinámico se estabilizaba, se obtenía la segunda muestra de agua, generalmente este lapso fue superior a los 20 minutos de funcionamiento continuo del equipo de bombeo. La comparación de las dos mediciones de CE da idea del estado de estanqueidad de la cañería de entubación. Como regla se asume que cuando un pozo, acusa variación de la salinidad del agua superior al 9 ó 10 %, entre el valor inicial y final, luego de un tiempo de reposo, estaría indicando falta de estanqueidad en la cañería de entubación.

Asimismo las muestras de agua se llevaron al laboratorio del Centro Regional Andino, para determinar su CE y contrastar estas con los valores medidos en campaña.

### **Medición de caudales**

Se realizó con un caudalímetro (provisto y operado por personal de la UTN Mendoza) que se instala en la parte exterior de la cañería de producción ( método no invasivo) y en las perforaciones que lo permitían, también se empleo el método de la regla de caudales (muy utilizado por los agricultores, en función de su bajo costo y simplicidad), con el objeto de contrastar ambos resultados.

### **Medición de la potencia requerida por el equipo de bombeo**

Se efectuó mediante un analizador de energía provisto y operado por personal de la UTN Mendoza.

### Otros datos de interés

Además de las mediciones realizadas se obtuvo información general sobre: propietario, encargado, ubicación geográfica del pozo utilizando un geoposicionador satelital (GPS), superficie cultivada de la propiedad, superficie regada con dicha perforación, tipo de bomba, ruta y folio, NIC o N° de medidor, diámetro de la cañería de descarga, profundidad del pozo, ubicación de filtros y diámetro de la cañería de entubación. De estos tres últimos parámetros no se posee información para todas las perforaciones, por desconocimiento del propietario o encargado.

También se ha analizado en cada ensayo los informes técnicos de finales de obra de aquellas perforaciones que fue posible recopilar.

De todas las perforaciones estudiadas se obtuvieron fotografías digitales.

### Rendimiento de los sistemas de elevación

Compuestos por motor, bomba, y cañería de producción, se ha calculado utilizando la siguiente expresión:

$$R_{se} = 9.81 * Q * H_m / P \quad \text{y} \quad R_{se} = R_b * R_m$$

donde:

- **R<sub>se</sub>** es el rendimiento del sistema de elevación.
- **Q** es el caudal de bombeo (m<sup>3</sup>/s)
- **H<sub>m</sub>** es la altura manométrica (m)
- **P** es la potencia en Kilowatios (KW) absorbida en bornes de la red
- **R<sub>b</sub>** es el rendimiento de la bomba
- **R<sub>m</sub>** es el rendimiento del motor

La altura manométrica o carga total de bombeo se ha calculado sumando a la altura de elevación las pérdidas de carga por fricción, accesorios y velocidad:

$$H_m = H_e + H_f + H_v$$

donde:

- **H<sub>m</sub>** : es la altura manométrica
- **H<sub>e</sub>** : es la altura estática de elevación, desde el nivel dinámico o de bombeo en el pozo, hasta el punto en que se va a llevar el agua, en metros.
- **H<sub>f</sub>** : es la pérdida total por fricción, expresada en metros.
- **H<sub>v</sub>** : es la carga de velocidad, en metros; o sea, la carga para poner en movimiento el agua. Se determina mediante la formula  $h = 0.051 V^2$  estando **h** en metros y **V** en metros por segundo.

## RESULTADOS

Con los datos relevados y que constan en las 15 fichas de campo confeccionadas para cada ensayo, se confeccionó una base de datos, y de su análisis surge la información que se detalla a continuación.

*Superficie:*

4 fincas entre 9 y 20 has  
4 finca entre 21 y 30 has  
3 fincas entre 31 y 50 has  
4 fincas entre 60 a 85 has

*Cultivo:* predominante vid en 14 de las 15 fincas (en dos consociados con frutales) , y una sola finca cultivada con hortalizas (cebolla).

*Nivel estático:* los niveles estáticos medidos varían entre 20,51 m y 11,18 m.

*Nivel dinámico:* la variación de los niveles dinámicos queda comprendida entre los 20,48 m y 44,65 m.

*Depresión:* el rango de depresión oscila entre los 26,50 m y 4,35 m.

*Tiempo de estabilización:* casi en el 75% de las perforaciones la estabilidad se logra entre los 15 y 30 minutos y en el 25% restante entre los 30 y 42 minutos.

*Salinidad:* excluyendo dos pozos, el 1° y el 10°, en que las salinidades del agua medidas en términos de conductividad eléctrica específica son elevadas ( CE ) de 3.900 y 2.560  $\mu\text{S}/\text{cm}$  todas las otras acusaron valores bajos, variables entre los 750 y 1400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , lo que las hace en principio en función de éste parámetro, aptas para riego sin limitaciones salvo en caso de algún cultivo sumamente sensible a la salinidad.

Al momento de realizarse los registros de CE en campaña, sobre los 15 pozos, en 6 se estaba extrayendo agua y no se pudo establecer diferencia mientras que en los 9 restantes si se determinó la salinidad inicial y final ya que se encontraban en reposo al momento de iniciar el ensayo. Las variaciones entre ellas fueron mínimas y sólo en el pozo 12° la salinidad pasó de 2840  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (35%), poniendo de manifiesto la falta de estanqueidad en su cañería de entubación. A esta perforación estaría ingresando agua de mayor salinidad probablemente desde los niveles superiores. El caso debería estudiarse con más detalle efectuando ensayos de bombeo seriados y filmación del interior de la cañería de entubación, tal que permitan definir con mayor precisión el grado y tiempo de afectación de la calidad del agua alumbrada destinada al riego.

La estanqueidad de las cañerías de entubación o aislación, puede verificarse mediante la ejecución de ensayos de bombeo hidroquímicos seriados. Estando el pozo en reposo durante 24 horas por lo menos, el ensayo consiste en poner en funcionamiento el pozo y medir la CE del agua durante 30 minutos aproximadamente. Si la CE no varía a medida que transcurre el tiempo o se es una recta paralela el eje de los tiempos, las cañerías se hallan estancas y no permiten el ingreso de agua salina de los niveles superiores. Si las cañerías están perforadas por efecto de la corrosión, o porque el entubado del pozo no ha sido el correcto, entonces la curva de salinidad presentará aumentos o desvíos que indican ingreso de agua salina. En algunos casos, el ingreso suele ser importante y la salinidad del agua elevada haciéndola inapta o inapropiada para la agricultura.

De los 15 ensayos realizados, sólo 9 poseen antecedentes de ensayos hidroquímicos seriados, cuyos datos y gráficos pueden verse en el anexo al final del informe.

*Profundidad de las perforaciones:* las perforaciones, en el área que se estableció para el trabajo, presentan profundidades que oscilan entre los 90 m y 300 m. Solo 3 de ellas no superan los 200 m de profundidad y son las correspondientes los ensayos 1,10 y 13 del anexo.

*Caudal:* los caudales medidos tienen un rango que varía entre los 80 y 250 m<sup>3</sup>/h

*Estado del equipamiento:* de la observación “in situ” de los equipos relevados se puede decir que el estado de conservación de los sistemas de bombeo es deficiente. El mantenimiento que se realiza es solamente correctivo.

En las bombas de accionamiento superficial la eficiencia por transmisión motor-bomba es en la mayoría de los casos baja, debido a:

- Número de correas insuficiente
- Correas viejas o deterioradas por exposición a la intemperie
- Baja tensión de las correas
- Falla de alineamiento entre el motor y cabezal de la bomba
- Lubricación deficiente por exceso o defecto

Las cañerías de producción, en la mayoría de los casos, presentan avanzados procesos de oxidación y/o incrustación y los diseños hidráulicos se consideran deficientes por presentar en el exterior curvas y cambios de dirección con mal diseño hidráulico.

En la mayoría de las propiedades visitadas, la conducción del agua hacia los cultivos se hace a través de acequias no revestidas ni entubadas, debido a ello, la pérdida de volumen del agua, es en algunos casos muy importante por la condición franco arenosa, que predomina en los suelos de la zona.

Pocas son las propiedades que cuentan con sistemas presurizados de riego. En ciertos casos la perforación abastece a una represa, de la cual se sirven las bombas del sistema riego, en otros, la misma bomba presuriza el sistema de riego. Muy pocas propiedades cuentan con sistemas de conducción de agua entubado, denominado Riego Californiano, el cual consta de cañerías de hormigón comprimido del tipo espiga enchufe y cámaras de carga, a las cuales vierten las perforaciones.

### **Cálculo del rendimiento de los sistemas de elevación**

El rendimiento de los sistemas de elevación (**Rse**) se ha calculado mediante la aplicación de las formulas indicadas.

Las pérdidas de carga (en las cañerías, accesorios y velocidad ( **Hm = He + Hf + Hv** ), fueron calculadas a partir de ecuaciones, ábacos y tablas obtenidas de manuales y libros que se citan en la bibliografía.

El cuadro1 permite observar los rendimientos de los sistemas de elevación, calculados a partir de la aplicación de la formula ( $Rse = 9.81 * Q * Hm / P$  donde  $Rse = Rb * Rm$ ).

**Cuadro 1. Rendimientos de los sistemas de elevación de las perforaciones chequeadas**

<b>Ensayo</b>	<b>Equipo elevación</b>	<b>RENDIMIENTO sistema de elevación (Rse) (Motor + bomba )</b>
1	E.B.	0.68
2	E.B.	0.46
3	E.B.	0.72
4	E.B.	0.61
5	B P	0.44
6	B P	0.57
7	B P	0.79
8	E.B.	0.43
9	B P	0.48
10	E.B.	0.46
11	E.B.	0.57
12	E.B.	0.41
13	B P	0.58
14	E.B.	0.43
15	E.B.	0.42

Si consideramos que el rendimiento óptimo de un sistema de elevación con electrobomba es de 80 % y con bomba de profundidad 78 - 79 % , vemos que salvo en el caso del ensayo 7, el resto se halla por debajo de estos porcentajes.

### **Estimación del rendimiento de las bombas**

El rendimiento de las bombas se ha determinado partiendo de la estimación del rendimiento de los motores que las accionan, que para nuestro caso se considera rinden un 95 a 96 %:

$$\mathbf{Rb = Rse/Rm}$$

donde :

**Rb** es el rendimiento de la bomba

**Rse** es el rendimiento del sistema de elevación

**Rm** es el rendimiento del motor

Los resultados se detallan en el cuadro 2.

Si consideramos que el rendimiento óptimo de una bomba con motor sumergido (electrobomba ) es de 85 % y que el de una bomba de eje accionada desde el exterior es de 82%, vemos que salvo el pozo ensayo 7, el resto se halla por debajo de estos porcentajes.

**Cuadro 2. Rendimientos de los sistemas de elevación, motores y bombas**

Ensayo	Equipo elevación	RENDIMIENTO sist elev.( Motor + bomba)	RENDIMIENTO estimado motor	RENDIMIENTO bomba
				Rb
1	E.B.	0.68	0.95	0.72
2	E.B.	0.46	0.95	0.48
3	E.B.	0.72	0.95	0.76
4	E.B.	0.61	0.95	0.64
5	B.P.	0.44	0.95	0.46
6	B.P.	0.57	0.95	0.60
7	B.P.	0.79	0.96	0.82
8	E.B.	0.43	0.95	0.45
9	B.P.	0.48	0.95	0.50
10	E.B.	0.46	0.95	0.48
11	E.B.	0.57	0.95	0.60
12	E.B.	0.41	0.95	0.43
13	B.P.	0.58	0.95	0.61
14	E.B.	0.43	0.95	0.45
15	E.B.	0.42	0.95	0.45

Si consideramos que el rendimiento optimo de una bomba con motor sumergido (electrobomba ) es de 85 % y que el de un bomba de eje accionada desde el exterior es de 82%, vemos que salvo el pozo ensayo 7, el resto se halla por debajo de estos porcentajes.

**Estimación de la demanda de potencia extra por ineficiencia de las bombas**

La demanda de potencia extra por ineficiencia de los equipos de bombeo surge de las siguientes expresiones:

$$\text{Demanda de potencia extra} = P_o - P_m$$

$$P_o = P_m * R_b / R_{ob}$$

donde:

**P<sub>o</sub>** es la potencia optima que debería consumir la bomba

**P<sub>m</sub>** es la potencia real medida durante el funcionamiento del pozo

**R<sub>b</sub>** es el rendimiento real de la bomba

**R<sub>ob</sub>** es el rendimiento óptimo de la bomba

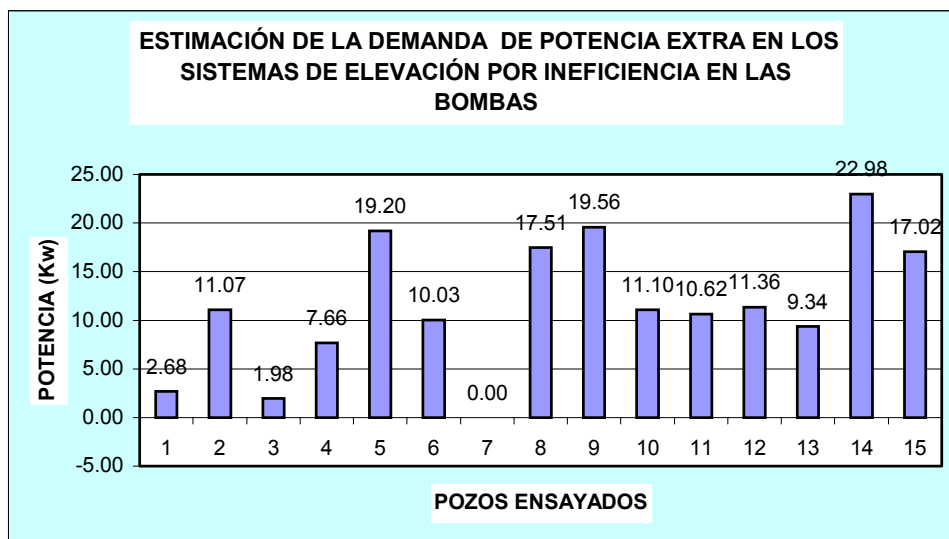
Las demandas de potencia extra calculadas se presentan en forma numérica y gráfica en el Cuadro 3 y Figura 2 respectivamente..

Salvo en el caso del pozo 7, en que el equipo tiene elevado rendimiento mecánico e hidráulico y la demanda extra de potencia estimado es nulo, el resto, presenta valores variables que sumados hacen un total de 172.11 Kw. Si esta potencia se demanda durante una hora de funcionamiento en los equipos de elevación con bajos rendimientos de sus bombas, entonces el consumo extra de energía por bombeo es de 172.11 Kwh.

**Cuadro 3. Potencia medida, potencia óptima y demanda de potencia extra**

Ensayo	Equipo elev.	Potencia medida	Rendimiento estimado bomba	Rendimiento óptimo bomba	Potencia óptima	DEMANDA DE POTENCIA EXTRA
		Pm (kw)	Rb	Rob	Po (kw)	Pm-Po (kw)
1	E.B.	17.00	0.72	0.85	14.3	2.68
2	E.B.	25.67	0.48	0.85	14.6	11.07
3	E.B.	19.00	0.76	0.85	17.0	1.98
4	E.B.	31.00	0.64	0.85	23.3	7.66
5	BP	43.50	0.46	0.82	24.3	19.20
6	BP	37.00	0.60	0.82	27.0	10.03
7	BP	36.50	0.82	0.82	36.5	0.00
8	E.B.	37.00	0.45	0.85	19.5	17.51
9	BP	50.40	0.50	0.82	30.8	19.56
10	E.B.	25.50	0.48	0.85	14.4	11.10
11	E.B.	36.12	0.60	0.85	25.5	10.62
12	E.B.	23.00	0.43	0.85	11.6	11.36
13	BP	36.00	0.61	0.82	26.7	9.34
14	E.B.	49.00	0.45	0.85	26.0	22.98
15	E.B.	35.80	0.45	0.85	18.8	17.02
Demanda de potencia extra total						172.11

Los pozos 1 y 3 tienen buenos rendimientos y en consecuencia una demanda extra de potencia baja. El resto se aleja de las condiciones óptimas de funcionamiento de la bomba.



**Figura 1. Demanda de potencia extra por ineficiencia en las bombas**

### Situación del riego

De las 15 perforaciones analizadas, sólo 7 permitieron esbozar un análisis de la situación en función del riego, en virtud de ser la única perforación existente en la finca, o tener el agricultor perfectamente delimitado el sector de riego de cada perforación cuando existían más de una.

En el cuadro 4 se observa: las perforaciones que nos permitieron realizar el análisis, la superficie que riega, su caudal y salinidad, como también los promedios ponderados de dichos parámetros divididos en dos categorías, los que se utilizaban para regar en forma tradicional y los que regaban por goteo

**Cuadro 4. Superficie regada, caudal y salinidad de las perforaciones analizadas desde el punto de vista del riego**

Riego tradicional				Riego por goteo			
Perf. N°	Sup. ( has)	Caudal m <sup>3</sup> /h	Salinidad μS/cm	Perf. n°	Sup. ( has)	Caudal m <sup>3</sup> /h	Salinidad μS/cm
3	9	123	779	7	30	197	740
5	30	182	775	10	18	100	2500
6	30	157	760				
9	34	250	980				
13	30	175	1400				
	<b>133</b>				<b>48</b>		
<b>Prom. Pond</b>		<b>188</b>	<b>965</b>	<b>Prom. Pond</b>		<b>160</b>	<b>1422</b>

Con los datos de potencia (medidos a campo) y consumo energético (suministrado por las proveedoras eléctricas) se determinó la cantidad de horas de funcionamiento durante el mes de diciembre de cada perforación, este valor se lo multiplicó por el caudal -m<sup>3</sup>/hora- (determinado a campo) y se obtuvo de cada perforación el volumen de agua extraído para dicho mes.

Al volumen erogado se lo dividió por la cantidad de hectáreas regadas y se obtuvo la lámina bruta de bombeo para riego que ante la falta de estudios de eficiencia de riego específicos, se la ha utilizado para intentar compararla con la lámina general de reposición de esa zona, para el cultivo de la vid que es el presente en el 94 % de las fincas en donde se efectuó el estudio.

Se ha calculado mediante la utilización del modelo de balance hídrico-salino “Balansal” (Mirábile, C., 1987) la lámina general de reposición y no la real ya que en el cálculo de esta última no solo intervienen los parámetros inherentes al clima y al cultivo, sino también los del suelo, en este caso se han utilizado los valores de un suelo intermedio de los predominantes en el área. Dicho suelo es el franco arenoso, cuya salinidad está en el orden de los 2,300 μS/cm ( según plano de textura y salinidad de suelos de Morábito, Mirábile y otros) y es regado con un agua cuya salinidad es de 965 y 1422 μS/cm respectivamente

En el cuadro 5, se puede observar para cada tipo de riego, las láminas brutas de bombeo para riego y la lámina general de reposición o lámina necesaria. Expresadas ambas en mm.

Los resultados obtenidos arrojan a priori que en dichas fincas, tanto en las que se riega en forma tradicional como por goteo, aplican una lamina similar en el mes de diciembre que esta en el orden de los 265 y 268 mm, mientras que la lámina general de reposición calculada está en el orden de los 182 mm para riego tradicional y 216 mm para riego por goteo, incluyéndose en estos valores las necesidades del cultivo más el requerimiento de lixiviación a fin de no elevar la salinidad del suelo.

**Cuadro 5. Láminas bruta de bombeo( aplicada) y de reposición, en riego tradicional y en goteo**

Riego tradicional			Riego por goteo		
Perf. N°	L. Bombeo (mm)	L. de Reposic. (mm)	Perf. n°	L. Bombeo (mm)	L. de Reposic. (mm)
3	292	182	7	294	216
5	192	182	10	226	216
6	374	182			
9	266	182			
13	222	182			
<b>Prom. Pond</b>	<b>265</b>	<b>182</b>	<b>Prom. Pond</b>	<b>268</b>	<b>216</b>

El cultivo regado por el sistema de riego por goteo, si bien tiene una lámina de evapotranspiración similar al regado en forma tradicional, necesita una lámina de lixiviación mayor para mantener la salinidad constante, ya que la salinidad del agua utilizada para regar es mayor.

De todas maneras en las dos formas de riego se ha detectado que el agricultor aplica mas agua de la necesaria (por lo menos en el mes de diciembre) y si se infiere que esto es una tendencia que se daría en el resto del ciclo en cada propiedad, en mayor o menor medida dependiendo de distintas particularidades, se presenta entonces una situación de exceso de bombeo (ineficiencia energética). Para cuantificar esto con exactitud será necesario realizar un minucioso estudio de eficiencias de riego en cada una de las propiedades en que se realizó el trabajo

No obstante como una primera aproximación puede decirse que en el mes de diciembre en las fincas regadas en forma tradicional se aplicó un exceso de 83 mm, que equivalen a 830 m<sup>3</sup>/ha y en las de riego por goteo el exceso fue de 52 mm (520 m<sup>3</sup>/ha). Si dividimos éstos volúmenes por el caudal promedio erogado por las perforaciones que riegan en forma tradicional y por goteo se tiene, para dicho mes, el tiempo en exceso que se ha bombeado por hectárea en cada una de las situaciones, como se observa en el cuadro 6.

**Cuadro 6. Tiempo promedio de exceso de bombeo por hectárea en riego tradicional y por goteo**

Riego Tradicional					Riego por goteo				
Lámina bombeo Prom.Pond	Lámina. Reposic Gral.	Exceso (mm) *(m <sup>3</sup> /ha)	Caudal de pozo Prom.Pond (m <sup>3</sup> /h )	Exceso tiempo bombeo (hs)	L bombeo Prom.Pond (mm)	L. Reposic Gral. (mm)	Exceso (mm) *(m <sup>3</sup> /ha)	Caudal de pozo Prom.Pond (m <sup>3</sup> /h )	Exceso tiempo bombeo (hs)
265	182	83 *830	188	4,41	268	216	52 *520	160	3,25

En el riego tradicional o superficial, no todo el agua bombeada llega al cultivo ya que se producen pérdidas en la red de acequias de conducción, que en casos de suelos sueltos (livianos) pueden estar en el orden del 20-25% o más. Si consideramos que en el 40 % de las fincas en que se efectuó el estudio y regaban en forma tradicional, poseen sistema californiano (distribución del agua por tuberías sin presión) en donde las pérdidas son mínimas, se podría inferir que las pérdidas por conducción promedio estarían en el 12 % del agua bombeada, lo que es igual a 32 mm de lámina. Por lo tanto de los 83mm de exceso, 32 son por pérdidas en la conducción e implican 1,7 horas de bombeo /ha en el mes de diciembre.

Es de destacar que el riego por goteo, además de no presentar pérdidas significativas por conducción, permite la reposición diaria de los consumos de agua, evitando que la humedad presente en el suelo baje mucho con respecto a su capacidad de campo (valor máximo que el mismo puede almacenar), por esto los cultivos regados por este método invierten menos energía en extraer agua del mismo, destinando más energía a su desarrollo, floración y fructificación logrando una producción muy superior a la obtenida en cultivos por riego tradicional.

Todo esto hace que la relación energía consumida vs producción o la relación costo total de la energía consumida vs ingresos por producción sea favorable a este tipo de riego. Sería aconsejable que luego del periodo de cosecha y una vez conocidos los precios de la uva ( si el agricultor accede a suministrar datos) se realizara un estudio a fin de cuantificar estos índices.

Si al tiempo de exceso de bombeo (funcionamiento) por hectárea se lo multiplica por el promedio ponderado de consumo de kilowats-hora de las perforaciones se tiene la energía consumida en exceso por hectárea para dicho mes. Como se observa en el cuadro 7.

**Cuadro 7. Consumo en exceso de energía por hectárea en riego tradicional y riego por goteo.**

<b>Riego tradicional</b>			<b>Riego por goteo</b>		
<b>Perforación. N°</b>	<b>Superf. (Ha)</b>	<b>Energía consumida Kwh</b>	<b>Perforación. N°</b>	<b>Superf. (Ha)</b>	<b>Energía consumida Kwh</b>
3	9	19	7	30	36,5
5	30	43,5	10	18	25,5
6	30	37			
9	34	50,4			
13	30	36			
<b>Prom. Ponderado</b>		<b>40,45</b>	<b>Prom. Ponderado</b>		<b>32,37</b>
<b>Exceso tiempo de bombeo (hs/ha)</b>		<b>4,41</b>	<b>Exceso tiempo de bombeo (hs/ha)</b>		<b>3,25</b>
<b>Exceso Energía consumida (Kwh/ha)</b>		<b>178,38</b>	<b>Exceso Energía consumida (Kwh/ha)</b>		<b>105,2</b>

Se observa que el exceso de consumo de energía por hectárea regada es menor en las fincas que riegan por goteo (105,2 Kwh/ha) que en las que riegan en forma tradicional (178,38 Kwh/ha), esta disminución está en el orden del 41%. Siendo el costo de la energía eléctrica ( en baja) de 0,045 pesos ( IVA incluido) se estaría en un gasto en exceso de 8,1pesos/ha para la situación de riego tradicional y 4,7 pesos/ha para riego por goteo.

Es necesario expresar que el valor de las láminas de riego en exceso – que originan los valores mencionados en el párrafo anterior- serían menores y más exactas si se calcularan a partir de láminas reales de aplicación y necesidades, para lo cual se debe efectuar un estudio de eficiencias de riego.

## CONCLUSIONES

Como ya se dijo, la eficiencia energética en el riego agrícola por bombeo electromecánico depende de la salinidad del agua del pozo del cual se extrae (a mayor salinidad mayor requerimiento de agua y más consumo de energía), del rendimiento de los equipos de bombeo, y de las eficiencias de conducción y aplicación en las fincas (a mayores pérdidas mayor necesidad de agua y más consumo energético por bombeo).

En este trabajo solo se ha estimado el consumo extra de energía por el bajo rendimiento de las bombas, se ha medido la salinidad del agua de los pozos, y se estiman las pérdidas debidas al riego.

Las conclusiones son las que se detallan a continuación:

- La mejor calidad del agua alumbrada desde los acuíferos de la zona, se halla en aquellos pozos que tienen los filtros colocados por debajo de los 180 m de profundidad. La salinidad del agua medida en términos de Conductividad eléctrica específica CE, en general, estando las cañerías de entubación estancas, no supera los 1300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , lo que la hace apropiada para el riego agrícola.

En los ensayos 1, 10 y 13 en que los filtros de los pozos están ubicados por arriba de los 180 m de profundidad, se detectaron en dos de ellos ( 1 y 10), valores de CEE que superan los 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . En este caso el agua no es apropiada para el riego. Al regar con esta agua, se requiere más cantidad de ella para el lavado de sales del suelo y el consumo energético se ve incrementado. Por ello es conveniente al realizar una perforación, ubicar los filtros en las capas productivas menos salinas.

- En general los equipos de bombeo presentan un deficiente estado de conservación y mantenimiento, lo que redundo en una mediana a baja eficiencia de la función específica. De los 15 equipos ensayados sólo en el caso del ensayo 7 el rendimiento fue optimo con un 79 % y un rendimiento estimado para la bomba del 82 %. Los ensayos efectuados en los equipos pozos 1 y 3 tienen buenos rendimientos y en consecuencia un consumo extra de potencia bajo. El resto se aleja de las condiciones optimas de funcionamiento.

En cuanto a la estimación del rendimiento de las bombas, asumiendo que los motores eléctricos funcionan con rendimientos del 95 – 96 %, se repite la situación anterior en que las bombas 1,3 y 7 tienen los mejores rendimientos.

La potencia extra demandada por ineficiencia de las bombas, se estima en 172,11 Kw que para una hora de funcionamiento de los equipos se traduce en un consumo de energía de 172.11 Kwh.

- Por las características predominantes del suelo de la zona, la conducción a cielo abierto y en conducciones sin impermeabilizar, tienen una perdida por infiltración de aproximadamente 25 al 30% del volumen circulante. Si tenemos en cuenta que el sistema adoptado en todos los casos, excepto los de riego presurizado, corresponden a este esquema, se tiene una muy baja eficiencia en el uso del agua para el de riego.
- Se observa que el exceso de consumo de energía por hectárea regada es menor en las fincas que riegan por goteo (105,2 Kwh/ha) que en las que riegan en forma tradicional (178,38 Kwh/ha), esta disminución está en el orden del 41%. Siendo el costo de la energía eléctrica ( en baja) de 0,045 pesos ( IVA incluido) se estaría en un gasto en exceso de 8,1pesos/ha para la situación de riego tradicional y 4,7 pesos/ha para riego por goteo.

Con los parámetros evaluados en el presente estudio solo fue posible calcular la lámina bruta bombeada para riego, la cual permite tener una idea grosera, pero de ninguna manera es la lámina real de riego aplicada al cultivo. Tampoco fue posible calcular la lámina exacta de reposición, ya que para su cálculo se necesitan además de diversos parámetros climáticos y de cultivo, conocer perfectamente el tipo textural de suelo en toda la profundidad de exploración radical, su salinidad, así como la humedad presente antes del riego. Por todo ello, estos resultados obtenidos (al comparar las láminas calculadas) son solo orientativos de la situación presente.

Por lo expresado en el punto anterior resulta necesario realizar un estudio orgánico de eficiencias de riego en todas las fincas visitadas a fin de cuantificar correctamente la eficiencia de uso del agua bombeada mediante la medición y relación de láminas reales de riego aplicado y necesidades. Dicho estudio permitirá identificar las pérdidas por conducción, aplicación y distribución y formular las recomendaciones pertinentes para cada caso a fin lograr un más eficiente uso del recurso hídrico, ya que su ineficiencia esta asociada a un mayor numero de horas de bombeo y consumo eléctrico.

## RECOMENDACIONES

- Para controlar una de las vías de la salinización de los acuíferos, es importante proceder al cegado de todos aquellos pozos abandonados y efectuar controles salinos en aquellos que si bien están en actividad, presentan un avanzado estado de deterioro de las cañerías de entubación.

En cuanto a las profundidades a perforar, y tener las mejores condiciones de calidad de agua para la zona de estudio, es conveniente superar los 180 m. A partir de esa profundidad la salinidad medida en términos de Conductividad Eléctrica Específica (CE), se halla por debajo de los 1300  $\mu\text{s}/\text{cm}$ .

- Se recomienda la instalación de equipos con elevado rendimiento y, si están en uso el mantenimiento preventivo de ellos, evitando el consumo de energía extra por baja eficiencia en el bombeo.

En general las electrobombas (bombas y motor sumergido) tienen mayor rendimiento, debido a que tienen mayor eficiencia hidráulica, mecánica y bajo mantenimiento, aunque su costo sea mayor. Tiene además la ventaja de necesitar una menor sección de la cañería de descarga, con lo cual se reduce el diámetro de entubación de la perforación, y en el caso de las perforaciones existentes, permite introducirlas dentro de las reducciones de las cañerías de aislación o entubación.

- Es de suma importancia la impermeabilización o entubamiento de las conducciones de agua para riego, utilizando materiales como PVC, PPL, Polietileno o similares, muy difundidos en otras zonas agrícolas y de comprobada eficiencia y relativamente bajo costo.
- En el caso de la provincia de Mendoza, el agua extraída por bombeo en la zona rural es destinada casi exclusivamente al riego. Para conocer cabalmente la eficiencia con que es utilizada la energía para el riego es necesario conocer no solo el estado de las perforaciones desde el punto de vista electromecánico, sino que debe conocerse la calidad de agua que se extrae del acuífero y las eficiencias con que esa agua es utilizada para riego, ya que un riego ineficiente por exceso implica consumo de energía innecesario.

## BIBLIOGRAFÍA

- Benítez Alberto** (1972) *Captación de aguas subterráneas*. Editorial DOSSAT, S.A. Madrid, España.
- Custodio E. Llamas M.R.** (1976) *Hidrología subterránea*. Ediciones Omega S.A. Barcelona, España.
- Hydraulic Institute** (1979) *Engineering Data Book*. Cleveland, Estados Unidos.
- Johnson Edward E. INC.** (1975) *El agua subterránea y los pozos*. Publicado por Johnson Division, UOP INC. Minnesota, Estados Unidos.
- Larburu Arrizabalaga N.** (1995) *Máquinas (prontuario)*. Editorial Paraninfo, S.A. Madrid, España.
- Mirábile C.** (1987). *Modelo de Balance Hídrico Salino “Balansal”*.
- Morábito J., C. Mirábile, P. Pizzuolo, D. Tossi, M. Manzanera y L. Mastrantonio** (2004) “*Salinidad de Suelos Regadíos e Incultos en el Oasis Norte de Mendoza – Argentina*”
- Morábito J., C. Mirábile, S Salatino y otros** (2003). *Determinación de escenarios de demanda de riego en el área dominada por el río Mendoza*.