

## **EQUIPOS PARA EL RIEGO**

### **ARTÍCULO ORIGINAL**

# **Contribución a la reducción del fenómeno de intrusión salina a partir de una adecuada selección del equipo de bombeo**

## *Contribution to the reduction the saltwater intrusion phenomenon from of an appropriate pumping equipment selection*

Dr.C. Enrique Cisneros Zayas<sup>I</sup>, Ing. Esmayler Guerra Gutierrez<sup>II</sup>, Dr.C. Teresa López Seijas<sup>I</sup>, Dr.C. Felicita González Robaina<sup>I</sup>

<sup>I</sup> Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba.

<sup>II</sup> Empresa de Aprovechamiento Hidráulico, La Habana, Cuba.

**RESUMEN.** El municipio Güira de Melena está ubicado sobre un acuífero costero abierto donde el fenómeno de intrusión salina está presente debido entre otras causas a la sobreexplotación de los pozos para el riego, es por ello que el presente trabajo tiene como objetivo la selección adecuada de los equipos de bombeo en entidades productivas de la zona sur del municipio con vista contribuir a la reducción del fenómeno de intrusión salina. Para el estudio se seleccionaron dos entidades productivas donde se realizó un diagnóstico que permitió conocer la situación actual de las estaciones de bombeo; a partir del hidromódulo fijado de  $2,85 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$  se definió para cada entidad el caudal necesario y mediante la relación beneficio-costos se pudo conocer la efectividad económica de las propuestas realizadas. Como resultado se obtuvo que con la adecuada selección del equipo de bombeo se reduzcan entre un 25 y 67 % los caudales a extraer del acuífero contribuyendo esto a atenuar significativamente el fenómeno de intrusión salina. La potencia de los motores instalados actualmente superan la necesaria en valores que oscilan entre 1,75 y 3,40 veces más, lo que provoca una mayor demanda en capacidad de corriente instalada y obras inducidas, lo que eleva los costos de bombeo desde 0,67 a 1,03 peso  $\text{h}^{-1}$ ; por último, cuando los equipos de bombeo están adecuadamente seleccionados se logran relaciones Beneficio-Costo superiores a la de los equipos sobredimensionados, mejorando el desempeño del riego y permitiendo que la actividad sea viable y sostenible.

**Palabras clave:** hidromódulo, potencia instalada, costos de bombeo.

**ABSTRACT.** Güira de Melena municipality is located on a coastal open aquifer, where the saltwater intrusion phenomenon is present due among other causes to the over exploitation of wells for the irrigation purposes, that's why the aim of this paper is making a study for the appropriate selection of pumping equipment in productive organizations of this municipality that contribute to reducing saltwater intrusion phenomenon. For the study two productive entities were selected where a diagnosis was carried out that allowed to know the current situation of the pumping equipment, from the fixed hydromodule of  $2,85 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$  was defined for each entity the flow rate necessary and by means of the relationship benefit-cost could meet the economic effectiveness of proposals stated. As a result it was found out that with the appropriate selection of the pumping equipment flows rate to extract the aquifer decrease between a 25 and 67 %, contributing significantly to attenuate the saltwater intrusion phenomenon, the power of the motors installed at the moment overcomes power needs in values that they oscillate between 1,75 and 3,40 times more, what causes bigger demand in capacity of transformers and induced appliances, increasing pumping costs from 0,67 to 1,03 \$  $\text{h}^{-1}$  and lastly when the pumping equipment are appropriately chosen higher relationship benefit-cost are achieved in comparison to the over dimensional equipment, improving the irrigation performance and making the activity more viable and sustainable.

**Keywords:** hydromodule, power installed, pumping costs.

## INTRODUCCIÓN

A nivel mundial el riego consume el 70% del agua dulce del planeta y se estima que del agua extraída para el riego, solo el 40% llega de forma efectiva a los cultivos<sup>1</sup> (Madramootoo y Fyles, 2010; FAO, 2011).

Cuba no está exenta de toda esta problemática, Herrera *et al.* (2011) informaron una disminución de un 40% de los recursos hídricos aprovechables por habitante, a consecuencia del crecimiento de la población, a pesar del incremento de los volúmenes disponibles, dado por el desarrollo de la infraestructura hidráulica.

El municipio Güira de Melena (provincia Artemisa) garantiza el 25 % de la producción agrícola que abastece a La Habana, la capital de Cuba. En ella se siembra el 12% de la producción nacional de papa, es además, importante productora de plátano, boniato, ajo y otras hortalizas, maíz, frijol y frutales<sup>2</sup>.

Para sostener estas producciones el municipio tiene bajo riego un área aproximada de 3529 ha las que son regadas con aguas superficiales y 4017 ha con aguas subterráneas<sup>3</sup>.

La intrusión salina es el fenómeno originado por el movimiento del agua salada hacia las aguas dulces del acuífero, siendo frecuentemente causada por la explotación de las aguas subterráneas mediante pozos en las zonas costeras (Duarte *et al.*, 2002).

En los acuíferos costeros, existen una relación de equilibrio natural entre el agua subterránea dulce que descarga al mar y el agua salada de origen marino, que penetra parcialmente tierra adentro, usualmente en forma de cuña apoyada en la base del acuífero. Este equilibrio natural puede verse alterado por la acción humana al modificar la descarga de agua dulce, fundamentalmente debido a la sobreexplotación por bombeos en el acuífero, con lo que se provoca la penetración de la cuña de agua marina tierra adentro.

Los principios de la dinámica de los acuíferos costeros en cuanto a la relación entre las aguas saladas y las dulces son bien conocidos aunque cada lugar tiene sus propias características en dependencia de la hidrogeología local.

En la información recogida en el diagnóstico del municipio Güira Melena por el Proyecto Basal (BASAL, 2014) se plantea que debido a la situación tan crítica del tramo Güira-Quivicán en la cuenca Artemisa –Quivicán de la Costera Sur de La Habana, donde la intrusión penetró durante años debido a la intensa explotación agrícola y de abasto a la capital (Acueducto Cuenca Sur), al bajo porcentaje o déficit de las lluvias en los últimos 25 años y también al efecto desestabilizador del régimen subterráneo, provocado por los canales que drenaban el acuífero, los valores de salinidad en las aguas de los pozos de bombeo aumentaron notablemente, peligrando la entrega

garantizada de los volúmenes comprometidos, y lo que es peor, **el deterioro irreversible de la calidad** de los recursos hídricos subterráneos de esta cuenca.

La Costa Sur, y más específicamente el tramo Güira-Quivicán (Cuenca Sur Centro) es una de las zonas más potentes del país desde el punto de vista acuífero. Esto es lo que la hace con características tan especiales y por lo que, desde más de cinco décadas anteriores, fue escenario de grandes planes de desarrollo agrícola (riego).

La agricultura, por su parte, ha tenido siempre numerosos equipos de bombeo instalados; de donde se extrae, además, según datos de López (2002), un promedio de aproximadamente  $3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , para el regadío de una amplia zona.

En la parte sur del municipio se encuentran en explotación 95 pozos para el riego de los cultivos, donde, en la mayoría de los casos las estaciones de bombeo están sobredimensionadas o sobre explotadas, incidiendo negativamente en el equilibrio de la zona entre el agua dulce y el agua salada, enfatizando el fenómeno de intrusión salina, además de elevar los costos asociados al riego. Es por ello que el presente trabajo tiene como objetivo la selección adecuada de equipos de bombeo en entidades productivas de la zona sur del municipio Güira de Melena que contribuyan a la reducción del fenómeno de intrusión salina en el acuífero costero sur de la provincia de Artemisa.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El Municipio Güira de Melena se encuentra ubicado al Sur-oeste de la Provincia Artemisa, limitada al Norte con el Municipio de San Antonio de los Baños, al Este con el Municipio Quivicán, al Oeste con el Municipio Alquizar y al Sur con el Golfo de Batabanó. En la Figura 1 se muestran los límites geográficos del municipio<sup>4</sup>.



FIGURA 1. Ubicación geográfica del municipio Güira de Melena.

La zona se caracteriza por una precipitación media anual

<sup>1</sup> WALKER, S. W. Lessons for the Last Half Century of Irrigation Engineering. Research- Where to Now? En: Memorias del III Congreso Iberoamericano de Riego y Drenaje, 2011.

<sup>2</sup> BASAL. Documento del Proyecto. Bases Ambientales para la Sostenibilidad Alimentaria Local (BASAL). Impreso en los talleres de CUBAENERGIA, 79pp., 2014.

<sup>3</sup> SIMIS. Información técnica básica sobre el proyecto Güira de Melena. 30pp., 1995.

<sup>4</sup> Guerra, E. “Estudio para la selección de equipo de bombeo en entidades productivas del municipio Güira de Malena que contribuya a atenuar el fenómeno de intrusión salina”, Tesis en opción al título de Ingeniero Hidráulico, 65p, CIH, La Habana. Cuba.2015.

que está en el rango de 1000 a 1500 mm en el territorio, siendo el rango anual de días con lluvias para esta zona de 60 a 100. En período poco lluvioso (diciembre-abril) precipita el 28% y en el período lluvioso (mayo-noviembre) el 72% del total. La temperaturas del orden de los 24 °C, o sea con una temperatura media anual de 24.2 °C y en la zona de costa superiores a los 26 °C. La regularidad espacial de este elemento se hace más notable en el mes de Julio, cuando predomina el rango de 26 a 28 °C, con 26,9 °C y en la zona de costa valores promedios superiores. En el mes de enero las temperaturas medias del territorio oscilan entre 20 y 22 °C.

Para el diagnóstico se realizó una inspección visual que permitió conocer el estado técnico actual de las estaciones de bombeo, así como los caudales instalados, lo anterior fue complementado con la entrevista al jefe de riego de la Empresa Municipal y propietarios de fincas, con el fin de conocer

la información que tienen los mismos sobre la importancia de la adecuada relación bomba-motor-área como una de las medidas para atenuar el fenómeno de intrusión salina; además de la documentación en informes técnicos y los análisis de laboratorio de calidad del agua efectuados por el INRH en los pozos de interés, el Grupo Empresarial de Aprovechamiento Hidráulico (GEAH) del municipio suministro la información sobre la disponibilidad y calidad del agua.

El estudio se realizó en estaciones de bombeo seleccionadas en dos sitios de intervención del proyecto BASAL, específicamente en dos Cooperativas de Créditos y Servicios Fortalecidas (CCSF), “Frank País” y “Niceto Pérez”, localizadas en la zona sur del municipio Güira de Melena y consideradas como fuertemente amenazadas por el fenómeno de intrusión salina. La ubicación geográfica de los pozos se muestra en la Tabla 1.

**TABLA 1. Coordenadas de los pozos estudiados en entidades del municipio Güira de Melena**

Nombre del pozo	Cuenca hidrológica	X	Y
<i>CCSF “Frank País”.</i>			
Pozo 86.	HS-3	350728,00	322103,44
Pozo 87.	HS-3	350859,80	322076,93
Pozo 91.	HS-3	350142,98	322578,61
<i>CCSF “Niceto Pérez”.</i>			
Pozo 10.	HS-3	347038,19	322891,49
Pozo 2.	HS-3	346507,61	323004,05
Pozo 1.	HS-3	346642,23	322988,30

Para la determinación del abatimiento máximo permisible en el pozo de bombeo ( $S_{pm\acute{a}x}$ ) se utilizó la expresión 1. En acuíferos costeros abiertos; el nivel dinámico no debe tener cotas menores de 1m sobre el nivel medio del mar (N. M. M.)<sup>5</sup>.

$$S_{pm\acute{a}x} = h_d - 1 \quad (1)$$

donde:

$h_d$ : cota del nivel estático sobre el N. M. M. antes del bombeo.

$S_{pm\acute{a}x}$ : Abatimiento permisible máximo.

El cálculo del caudal máximo según el abatimiento máximo permisible ( $Q_{pm\acute{a}x}$ ), según la expresión 2

$$S_{pm\acute{a}x} = SD + ST \quad (2)$$

donde:

SD: abatimiento de la componente darciana; ST: abatimiento de la componente turbulenta.

$$S_{pm\acute{a}x} = 0.366 \cdot \frac{Q_{pm\acute{a}x}}{TD} \log\left(\frac{r_0}{r_p}\right) + \left(\frac{Q_{pm\acute{a}x}}{2\pi r_p T_t}\right)^2 \cdot \frac{1}{r_p} \quad (3)$$

donde:

$r_p$ : radio del pozo;  $T_t$ : transmisibilidad turbulenta.

Nota: No se toma en cuenta la componente turbulenta por falta de datos.

Para definir si existe peligro de intrusión se compararon

los gastos máximo permisibles con el gasto instalado ( $Q_{inst}$ ) en cada pozo de bombeo.

Si:  $Q_{m\acute{a}x} > Q_{inst}$  no existe peligro de intrusión salina

$Q_{m\acute{a}x} < Q_{inst}$  peligro de intrusión salina.

Para la determinación de la adecuada relación bomba-motor-área en cada entidad se utilizó el hidromódulo 2,85  $L s^{-1} ha^{-1}$  propuestos en el Reglamento para la Operación y Mantenimiento de los Sistemas de Riego y Drenaje (CITMA, 2009) para riego superficial en el cultivo de viandas, granos y hortalizas.

El gasto necesario se determinó según la expresión (4) propuesta por Matov, (1976):

$$Q_n = \text{hidromódulo} \times \text{área} \quad (4)$$

donde:

$Q_n$ : Caudal necesario ( $L s^{-1}$ ); Hidromódulo ( $L s^{-1} ha^{-1}$ ); Área ( $ha$ )

La carga total (Ht) se determinó según la expresión 5, Herrera *et al.* (2013).

$$H_t = H_a + H_i + H_p \quad (m) \quad (5)$$

donde:

$H_a$ : Altura geométrica de aspiración (m);  $H_i$ : Altura geométrica de impulsión (m);  $H_p$ : Pérdida de carga (m).

Con los datos de la bomba (caudal y carga) se determinó

<sup>5</sup> PÉREZ F., D.: “Nuevo enfoque en el tratamiento de la intrusión salina en los acuíferos costeros”. Memorias del Primer Taller de expertos en vulnerabilidad de acuíferos costeros en el caribe insular. CUJAE. Ciudad de la Habana. Cuba. Octubre 12-15, 2004.

la potencia necesaria de la bomba y del motor.

La Potencia de la bomba (Pot. bomba) se determinó según la expresión (6):

$$Pot\ bomba = \frac{Q \times H}{102 \times Efb} \quad (Kw) \quad (6)$$

Dónde:

**Q**: Caudal necesario (L s<sup>-1</sup>); **H**: Carga total (m); **Efb**: Eficiencia de la bomba = 77 (%)

La Potencia del motor (Pot motor) se determinó según la expresión (7):

$$Pot\ motor = 1,15\ Pot\ bomba \quad (Kw) \quad (7)$$

Para evaluar económicamente las propuestas, se realizó un análisis utilizando como principal indicador la relación beneficio costo (B/C), Muñoz (2007), utilizando la expresión 8, donde se compararon las estaciones de bombeo existentes con las propuestas a partir del hidromódulo necesario por técnica de riego y sobre la base de los consumos de agua y energía, para satisfacer la demanda máxima del cultivo principal durante una campaña de riego.

$$\frac{B}{C} = \frac{Bb}{CR} \quad (8)$$

Dónde:

**Bb**: Beneficio bruto marginal (peso ha<sup>-1</sup>) = Rendimiento agrícola marginal (t ha<sup>-1</sup>) x precio unitario del producto;

**CR**: Costo por riego (peso ha<sup>-1</sup>) = Sumatoria de los gastos (agua y energía) por el riego.

Para la determinación de las partidas diferenciales y los importes obtenidos por la contabilidad durante la fase de estudio, se utilizaron las siguientes fuentes:

- Se consideró como precio del agua subterránea 9,20 peso MN por capacidad instalada, según INRH Resolución 421-2012. (INRH, 2012).
- El cultivo de referencia para el estudio fue el tomate.
- El precio unitario del tomate 10870 peso t<sup>-1</sup> (según Resolución No. 157/2016 del Ministerio de Finanzas y Precios).
- El valor energía equivalente (0,29 peso kW h<sup>-1</sup>). Dpto de Energía Minag (2014).
- Para la provincia Artemisa, municipio Güira de Melena, la norma total neta para el cultivo tomate variedad Campbell (100 días) es de 4 100 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> según la resolución 287/2015 (INRH, 2015).
- Se aplicaron como promedio 15 riegos y el tiempo de riego 10 horas.
- Se consideraron para el análisis que los rendimientos obtenidos promedios del cultivo al aire libre fueron de 40 t ha<sup>-1</sup> y la calidad del agua es la misma.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Información de partida obtenida para el estudio de los equipos de bombeo en las entidades seleccionadas

Del levantamiento de la zona analizada se pudo obtener la información que se muestra en la Tabla 2, donde aparecen los caudales de las bombas instaladas, el nivel dinámico, el área bajo riego y la potencia de los motores instalados, además se conoce que las producciones principales en todas las áreas son las viandas, granos y hortalizas.

Según los productores en el período lluvioso en nivel estático de encuentra entre 1 - 3 m, y que el tiempo de bombeo para satisfacer las demandas de sus cultivos esta entre 8 y 10 h.

TABLA 2. Información de partida de las entidades estudiadas

Nombre del pozo	Área (ha)	Qins (L s <sup>-1</sup> )	NE (m)	Potencia del Motor (Kw)
<i>CCSF "Frank País".</i>				
Pozo 86.	8,99	45	2,5	10
Pozo 87.	7,84	40	4,0	15
Pozo 91.	5,8	40	5,0	17
<i>CCSF "Niceto Pérez".</i>				
Pozo 10.	2,2	45	3,5	7
Pozo 1.	5,33	60	3,6	15
Pozo 2.	13,42	45	3,5	10

*Legenda: Qins: Caudal instalado; NE: nivel estático.*

En las Imágenes 1 y 2, aparecen la ubicación de todos los pozos en la zona sur del municipio y que potencialmente están afectados por el fenómeno de intrusión salina, los que en su mayoría pertenecen a productores privados y donde se localizan las CCSF "Frank País" y "Niceto Pérez".

La distancia a que se encuentran los pozos de la costa donde según informe proyecto BASAL (2014), están entre las cotas 3 y 5m y aproximadamente a 15 km de la línea costera.



Imagen satelital 1. CCSF “Niceto Pérez”.



Imagen satelital 2. CCSF “Frank País”.

### Estudio del abatimiento y la separación mínima entre los pozos en las entidades productivas seleccionadas del municipio Güira de Melena

Como resultado de la metodología aplicada para la determinación del abatimiento permisible en función de los caudales instalados, los tiempos de bombeo y las características del acuífero se pudo conocer que para los pozos analizados el abatimiento que se produce con las bombas instaladas oscila entre 0,41 y 0,55 m. Cuando se redimensiona la estación de bombeo de acuerdo al gasto necesario estos abatimientos se reducen a valores entre 0,09 y 0,37 m, en la Figura 2 se muestra como variaron los mismos en función de los caudales extraídos.

Aunque en todos los casos el abatimiento es menor que el que produciría para un gasto máximo permisible, los necesarios son menores, lo que indudablemente contribuye a la preservación y protección del acuífero.

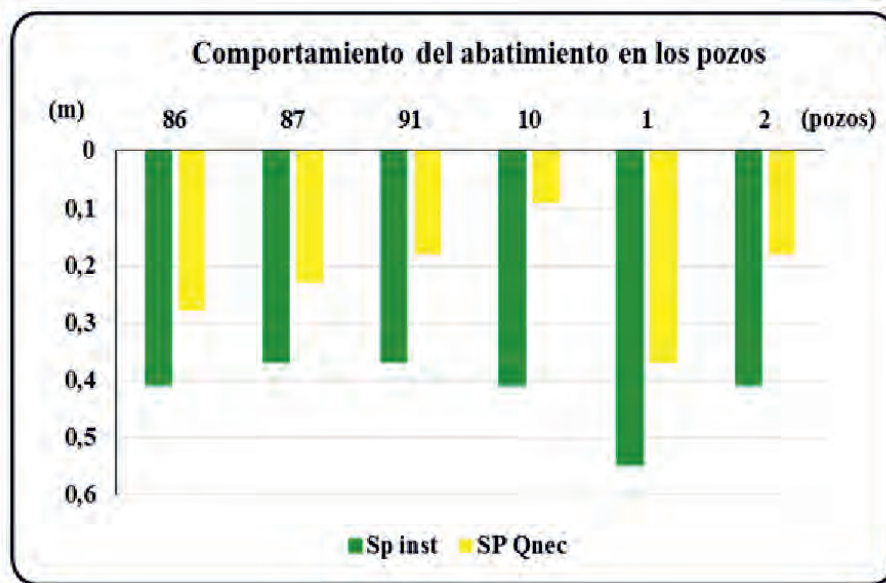


FIGURA 2. Comportamiento del abatimiento en los diferentes pozos.

Resultados similares han sido informados por el grupo empresarial de aprovechamiento hidráulico<sup>6</sup>, donde efectuando pruebas de bombeo entre 2 y 24 h se tienen abatimientos que oscilan de 0,2 a 1,4 m en el mismo acuífero, para gastos extraídos entre 25 y 80 L s<sup>-1</sup>.

Al analizar la separación mínima entre los pozos (W) a partir de los abatimientos producidos se pudo conocer que para los pozos 86 y 87 a la distancia a que se encuentran los mismos actualmente se interfieren Tabla 3, o sea los radios se solapan (Imagen 3) y aunque presentan caudales de 45 y 40 L s<sup>-1</sup>, no se deben instalar estaciones de bombeo de mayor caudal.

<sup>6</sup> GEAH. Informe Técnico sobre la hidrología de los recursos de las aguas subterráneas. Situación actual. Archivo INRH, 30 pp., 2014.



Imagen satelital 3. CCSF “Frank País”.

**TABLA 3. Resumen del estudio en los pozos para el riego de las entidades productivas referido a los gastos máximos y la separación mínima entre los pozos**

Pozo	Qmax (m <sup>3</sup> /d)	Qmax (L s <sup>-1</sup> )	Qnec (L s <sup>-1</sup> )	Xo (m)	Ydp (m)	Yd∞(m)	W (m)
86	4343,35	50,27	45,00	150,01	235,64	471,28	942,57
87	8686,70	100,54	40,00	300,03	471,28	942,57	1885,14
91	11582,27	134,05	40,00	400,04	628,38	1256,76	2513,51
10	7238,92	83,78	45,00	250,02	392,74	785,47	1570,95
1	7528,48	87,13	60,00	260,02	408,45	816,89	1633,78
2	7238,92	83,78	45,00	250,02	392,74	785,47	1570,95

Situación similar se presentó para el caso de los pozos 1 y 2 de la CCSF “Niceto Pérez” en la Imagen 4, se puede observar que los radios de influencia están muy próximos donde se presentan caudales de 60 y 45 L s<sup>-1</sup>, ante esta situación también se hay tener en cuenta que los caudales no deben superar los actuales para evitar que el radio de influencia sea mayor, también es necesario que ambos pozos no sea explotados simultáneamente para evitar abatimientos que favorezcan el fenómeno de intrusión salina teniendo en cuenta la cercanía de los mismos a la línea de costa.



Imagen satelital 4. CCSF “Niceto Pérez”.

### Selección del equipo de bombeo adecuado para la reducción del efecto negativo de la intrusión salina en el municipio Güira de Melena

El hecho de no existir un asesoramiento técnico oportuno y dado la premura por cumplir los compromisos productivos ha obligado a muchos productores a instalar equipos de bombeo sobredimensionado en sus áreas, elevando de esta forma los costos iniciales de la inversión y de operación (González y Cisneros, 2003).

En la Tabla 4, se muestra el gasto necesario para cada entidad productiva a partir del hidromódulo de 2,85 L seg<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>, como se observa en todos los casos el caudal necesario (Qnec) y la potencia de los motores es menor que el instalado, lo que contribuye a la reducción del fenómeno de intrusión salina y en la reducción de los gastos asociados al riego.

En la Figura 3, al comparar los caudales instalados con los necesarios para el hidromódulo especificado se puede constatar que en todos los casos el caudal necesario es inferior al instalado, oscilado en valores que van desde 10 hasta 40 L s<sup>-1</sup>, lo que representa un caudal a extraer de la fuente entre un 25 y 67 % menor, esto permite un explotación sostenible del acuífero, además de protegerlo contra la intensificación del fenómeno de intrusión salina.

**TABLA 4. Resultados de la selección del equipo de bombeo por entidades productivas**

Nombre del pozo	Área (ha)	Qnec (L s <sup>-1</sup> )	Potencia de la bomba (Kw)	Potencia del Motor (Kw)
<i>CCSF "Frank País".</i>				
Pozo 86.	8,99	30	3	4
Pozo 87.	7,84	25	3	4
Pozo 91.	5,8	20	3	4
<i>CCSF "Niceto Pérez".</i>				
Pozo 10.	2,2	10	3	4
Pozo 1.	5,33	20	3	4
Pozo 2.	13,42	40	4	5

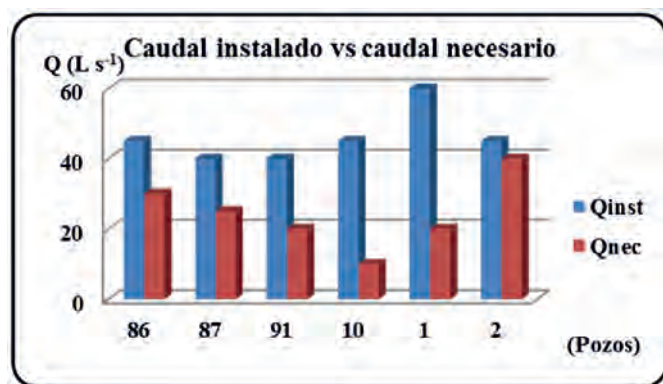


FIGURA 3. Relación caudal instalada y el necesario para un hidromódulo de 2,85 L s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>.

Al realizar un análisis similar con la potencia de los motores instalados y la potencia necesaria se puede observar en la Figura 4, que en todos los pozos ocurrió algo similar a los caudales, donde la potencia instalada supera a la necesaria en valores que oscilaron entre 1,75 y 3,40 veces más. Esto confirma lo informado por Figueroa (2001), que cuando el hidromódulo aumenta se incrementa además del caudal, la presión en el sistema de riego, la presión en el equipo de bombeo, la potencia

demanda por el motor, el consumo eléctrico, la inversión del equipo de bombeo y las obras inducidas.

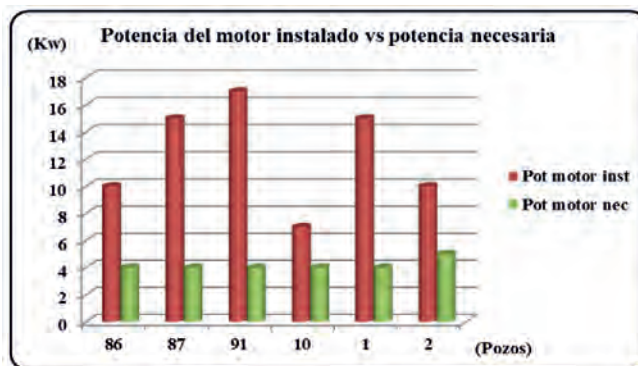


FIGURA 4. Relación potencia instalada y la necesaria para un hidromódulo de 2,85 L s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>.

Uno de los indicadores que describe el buen desempeño del riego son los costos de bombeo, ya que permiten conocer con que efectividad económica se está gestionando la actividad, en la Figura 5, se puede observar que con los caudales instalados los costos varían entre 0,53 y 1,03 \$ h<sup>-1</sup>, mientras que con la variante propuesta a partir del hidromódulo de 2,85 L s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>, los costos disminuyen teniéndose valores entre 0,17 y 0,67 \$ h<sup>-1</sup> disminuyendo los costos vinculados al riego, mejorando el margen de ganancias de los productores.

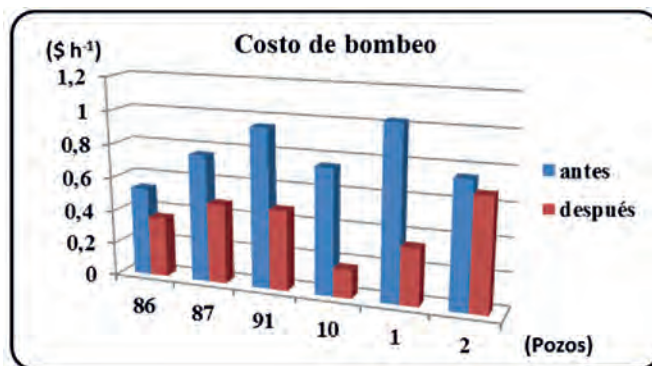


FIGURA 5. Relación de los costos de bombeo en los diferentes pozos.

### Análisis económico en las entidades productivas de Güira de Melena antes y después del estudio sobre los equipos de bombeo

En la Tabla 5 se presentan los resultados obtenidos del análisis en cada estación de bombeo con relación a los gastos asociados al riego y el consumo de energía en las condiciones actuales. Como se puede observar los ingresos en las fincas estudiadas es el mismo si tenemos en cuenta que para el análisis se consideró que los rendimientos obtenidos son idénticos en todos los casos y está expresado en valores unitarios.

Cuando analizamos los gastos totales que incluyen solamente agua y energía, se tiene que los mismos varían en función de los caudales instalados, donde los mismos son mayores a medida que aumenta el caudal instalado con valores que oscilan entre los 438,24 – 2100,51 peso ha<sup>-1</sup>.

**TABLA 5. Resultados económicos obtenidos antes del estudio**

Pozo	86	87	91	10	1	2
<b>Gastos</b> (peso ha <sup>-1</sup> )	566,72	610,01	812,96	2100,51	1248,23	438,24
<b>Ingresos</b> (peso ha <sup>-1</sup> )	10870,00	10870,00	10870,00	10870,00	10870,00	10870,00

Como resultado de estos gastos e ingresos, se observa en la Figura 6 que los valores de beneficio/costo oscilaron entre 5,17 – 19,18 antes de la adecuación del equipo de bombeo; estos valores son elevados al no incluir en los gastos otros elementos como son (preparación de tierra, fertilizantes, productos fitosanitarios y salario) solo son utilizados como criterio de comparación del comportamiento de esta relación. En la Tabla 6 se presentan los resultados obtenidos del análisis en cada estación de bombeo con los gastos asociados al riego y el consumo de energía a partir del hidromódulo propuesto de  $2,85 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ . Como se observa los gastos como promedio son inferiores en un 37,5 % con respecto a los gastos promedio de la situación actual, donde los valores oscilaron entre los 146,06 – 466,78 peso  $\text{ha}^{-1}$ .

**TABLA 6. Resultados económicos obtenidos con la variante propuesta**

Pozo	86	87	91	10	1	2
Gastos (peso $\text{ha}^{-1}$ )	377,84	381,25	406,48	466,78	416,06	389,54
Ingresos (peso $\text{ha}^{-1}$ )	10870,00	10870,00	10870,00	10870,00	10870,00	10870,00

En la Figura. 6 se observa que los valores de la relación beneficio/costo oscilan entre 23,29–28,77; siendo superiores a los que se obtienen en las condiciones actuales, demostrando la efectividad económica de reducir los caudales asociados al área siempre que se garantice satisfacer la demanda punta del cultivo de mayor consumo a plantar en la finca.

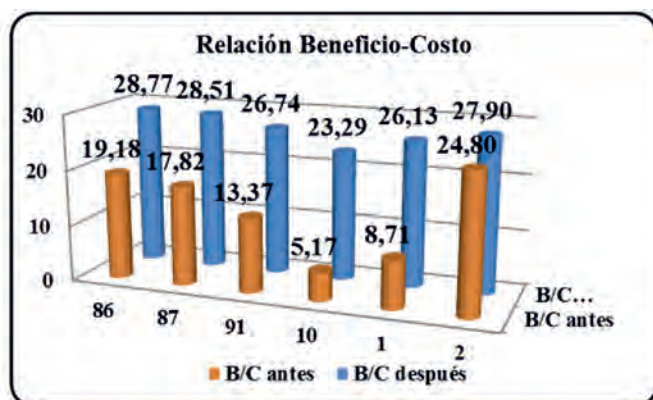


FIGURA 6. Comportamiento de la relación beneficio/costo en los pozos para riego estudiados.

En sentido general se pudo comprobar que cuando se realiza una adecuada selección bomba-motor-área la relación beneficio-costo es superior si se compara con áreas donde los hidromódulos son elevados, mejorando además el desempeño

del riego y contribuyendo a que la actividad sea sostenible y compatible con el medio ambiente.

## CONCLUSIONES

- El diagnóstico realizado en entidades productivas al sur del municipio Güira de Melena mostró que existen estaciones de bombeo sobredimensionadas y que pueden estar influyendo en la intensificación del fenómeno de intrusión salina, además de tener un marcado efecto en la elevación de los costos de operación de los sistemas de riego.
- La selección adecuada del equipo de bombeo en las áreas estudiadas permitió reducir entre un 25 y 67 % los caudales a extraer del acuífero en comparación con los caudales actuales bombeados, lo que contribuye significativamente a atenuar el fenómeno de intrusión salina.
- La potencia de los motores instalados actualmente superan la potencia necesaria en valores que oscilan entre 1,75 y 3,40 veces más, lo que provoca una mayor demanda en capacidad de transformadores y obras inducidas elevando los costos de bombeo de 0,67 a 1,03 peso  $\text{h}^{-1}$ .
- Cuando los equipos de bombeo están adecuadamente seleccionados se logran relaciones Beneficio-Costo superiores a la de los equipos sobredimensionados, mejorando el desempeño del riego y permitiendo que la actividad sea viable y sostenible.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CITMA. *Reglamento para la operación y mantenimiento de los sistemas de riego y drenaje. Resolución 90/2004*, Publicado en: legislación Ambiental Cubana relacionada con el Manejo Sostenible de Tierra, Tomo IV. Resoluciones, Parte I, 68-148 pp., ISBN: 978-959-287-014-7, 2009.
- DUARTE, C. W.; DUARTE, C.; FILHO, W. E.; BRITO, M. A.: *A sobre-exploração dos aquíferos costeiros em Recife-pe*. Groundwater and human development. Bocanegra, E - Martínez, D - Massone, H (Eds.), ISBN 987-544-063-9, 2002.
- FAO. *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura*, Cómo gestionar los sistemas en peligro. ISBN: 92-5-300016-3, 75p. 2011.
- FIGUEROA, L. R. “Riego por Pivote Central. Estructura y evolución de los costos en el período 1996-2001”, *Avances Agroindustrial*, ISSN-0326-1131, 22(2): 14-36, 2001.
- GONZÁLEZ, B. P; CISNEROS, Z. E.: “Estudio sobre la selección de equipos de bombeo para riego en la empresa Batabanó”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN-1010-2760, RNPS-0111, 12(3): 55-57, 2003.
- HERRERA, P. J.; LÓPEZ, T.; GONZÁLEZ, F. “El uso del agua en la agricultura en Cuba”, *Revista Ingeniería Agrícola*, ISSN-2306-1545, RNPS-0622, 1(2): 1-7. 2011.
- HERRERA, P. J; GARCÍA, L. A; CUN, G. R; RODRÍGUEZ, G. M; PUJOL, O. R; CID, L. G; CISNEROS, Z. E; ALEMÁN, G. C; ROQUE, R. R.: *Uso eficiente de sistemas de riego. Manual práctico sobre el riego de los cultivos*. MDGIF. Fondo para el logro ODM. ISBN: 978-959-285-021-7, La Habana. 123pp., 2013.



- INRH. Resolución 287/2015. Índices de consumo de agua para las producciones, los servicios y el riego agrícola, incluido el sector no estatal. Publicado en Gaceta Oficial de la República de Cuba, Ministerio de Justicia, ISSN: 1682-7511, 2015.
- INRH. Resolución 421/2012. Nuevas tarifas de agua en el Sector Estatal. Publicado en Gaceta Oficial de la República de Cuba, Ministerio de Justicia, ISSN: 1682-7511, 2012.
- LÓPEZ, I. E. D.: *Evaluación de las aguas subterráneas en los cayos del archipiélago cubano*, Ground Water and Human development. Boca-negra, E - Martínez, D - Massone, H (Eds.), ISBN 987-544-063-9, 2002.
- MADRAMOOTOO, CH. A.; FYLES, H.: "Irrigation in the context of today's global food crisis", *Irrigation and Drainage*, ISSN 1531-0353, 59: 40-52, 2010.
- MATOV, M.: *Aplicaciones prácticas del riego*, Dirección Nacional de Riego y Drenaje. Frente Nacional de capacitación. ETA-INRA. Ed. Pueblo y Educación. 130pp., 1976.
- MINISTERIO DE FINANZAS Y PRECIOS (MFP): Resolución No. 157/2016. Precios máximos de acopio para productos agrícolas en el campo o almacén del productor. Publicado en Gaceta Oficial de la República de Cuba, Ministerio de Justicia, ISSN: 1682-7511, 2016.
- MUÑOZ, C.: "Comparación económica de dos sistemas de producción de plátano en la zona norte de Costa Rica", *Tecnología en Marcha*, 20 (3): 35-45, 2007.

**Recibido:** 17/07/2015.

**Aprobado:** 04/03/2016.

*Enrique Cisneros Zayas*, Investigador Auxiliar, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, La Habana, Cuba. Correo electrónico: [dptoriego1@iagric.cu](mailto:dptoriego1@iagric.cu)

*Esmayler Guerra Gutierrez*, Correo electrónico: [dptoriego1@iagric.cu](mailto:dptoriego1@iagric.cu)

*Teresa López Seijas*, Correo electrónico: [directoradjunta@iagric.cu](mailto:directoradjunta@iagric.cu)

*Felicita González Robaina*, Correo electrónico: [dptoambiente4@iagric.cu](mailto:dptoambiente4@iagric.cu)



**Instituto de Investigaciones  
de Ingeniería Agrícola**



**DATOS DE LOCALIZACIÓN DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE  
INGENIERÍA AGRÍCOLA (IAgric)**

***Sede Boyeros:***

**Dirección General y Económica. Dirección: Carretera de Fontanar, km 2½, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba. E-mail: [IAgricdireccion@minag.cu](mailto:IAgricdireccion@minag.cu); [direccion.general@iagric.cu](mailto:direccion.general@iagric.cu) Teléfonos: (53) (7) 645-1731; 645-1353.**

***Sede Arroyo Naranjo:***

**Direcciones Científica y de Desarrollo Institucional, Unidad de Producciones Tecnológicas y Comercial. Dirección: Avenida Camilo Cienfuegos y Calle 27, Municipio Arroyo Naranjo, Apartado Postal 6090, Habana 6, Cuba. E-mail: [directoradjunta@iagric.cu](mailto:directoradjunta@iagric.cu) Teléfonos: (53) (7) 691 2533/ 691 2665 Telefax: (53) (7) 691 7595/ 691 1038.**