

Mezcla de agua para la protección y manejo del acuífero Cuenca Birama



Ing. Enrique Nicolás Vázquez Fernández
Especialista en Hidrogeología – Las Tunas
E-mail: enrique@raudalt.hidro.cu



Ing. Mirtha Odalis García Rojas
Directora técnica del INRH en Las Tunas
E-mail: dtecnica@ltu.hidro.cu

► ANTECEDENTES

Históricamente el abasto al poblado de Jobabo se realizaba desde la cuenca subterránea Birama a través de los pozos 4778-I-52 (reserva) y 4778-I-249; es decir, solo se explotaba el pozo 249 con un caudal de unos 70.00 l/s, el que se encuentra electrificado. Entre 1976–1979, la cuenca subterránea Birama fue evaluada en $22.60 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ en categoría B y C1, de los cuales $5.00 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ se planificaron para el abasto a los habitantes del poblado de Jobabo y la industria, en tanto los restantes $17.60 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ se pronosticaron para el riego del cultivo de la caña de azúcar en la zona de Ramírez, en municipio Jobabo. Según datos aportados por el Esquema Regional precisado en 1995, se realizó un estudio hidrogeológico en el tramo comprendido entre los ríos Birama y Salado con la finalidad de utilizar alrededor de $6.50 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ (= 206 l/s) para el fortalecimiento del suministro de agua estable a la ciudad de Las Tunas, pero dicha variante no se aprobó por la calidad del agua subterránea.

Entre los años 2005–2006 se llevaron a cabo reconocimientos de campo en la zona de Ramírez perteneciente al tramo de

la cuenca Birama, con el objetivo de la búsqueda de una nueva propuesta de fuentes de abasto estable para el acueducto de Jobabo, a partir de los pozos tubulares existentes pertenecientes al MINAZ, que años atrás se emplearon en el riego de la caña de azúcar, a los cuales se le realizarían pruebas de aforos, muestreos hidroquímicos y la perforación de los pozos gemelos. En los recorridos participaron especialistas hidrogeólogos y proyectistas de la Unidad Estatal Básica de Perforación e Investigación (UEBPI) de Las Tunas, así como personal técnico del Centro de Perforación, el Laboratorio de Agua y la parte inversionista del INRH.

Entre los trabajos técnicos ejecutados sobresalen los siguientes:

- Recopilación y análisis de materiales en los archivos del sistema del INRH.
- Ejecución de recorridos de campo especiales y levantamientos hidrogeológicos.
- Descripción litológica en el corte vertical.
- Observación del régimen de las aguas subterráneas.
- Trabajos experimentales de campo, aforos de limpieza y muestreos de agua.

■ Gabinete y confección del informe técnico final.

El poblado de Jobabo presenta una difícil situación con relación al abasto de agua a la población, el cual se lleva a cabo a través de la planta potabilizadora que abastecía al central azucarero Perú, la que solo puede garantizar un caudal de 30.00 l/s. Esta planta se abastece a través de una toma de agua ubicada en el río Jobabo, hacia donde tributan las aguas del embalse Jobabito.

Desde el punto de vista químico se detectó contaminación en el río Jobabo, lo que obligó a buscar nuevas alternativas de abasto a través del suministro por pipas desde cargaderos que se activaron, así como la rehabilitación de la toma de agua en el regulador El 10, que capta las aguas del sistema hidráulico El Lavado.

En cuanto a las redes hidrológicas, predomina una marcada inestabilidad en el suministro de agua a la población debido al pésimo estado técnico de la conductora existente desde la cuenca Birama hasta el poblado Jobabo, la que presenta abundantes salideros en casi todo su trayecto de 14,5 km.

Agotamiento casi total de los microacueductos urbanos como La Punta, Cinco Planta y El Hospital, entre otros.

De un total de 1 915 pozos criollos ubicados en el poblado de Jobabo, en los primeros seis meses del 2005 se secaron 1 754, que representa el 92%, quedando solo con agua 161 pozos, todo lo cual confirma la crisis del manto subterráneo en la región.

Por todo lo antes expuesto se hizo necesaria la búsqueda de nuevas alternativas para la solución del abasto a Jobabo.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza en la porción sur de la provincia de Las Tunas, próxima al poblado Ramírez, municipio de Jobabo, en hoja cartográfica 4778-I y coordenadas: N: 242.000 – 245.000, E: 459.000 – 462.000

Entre sus límites destacan: al norte, el poblado Ra-



Mapa hidrogeológico del área.

mírez; al sur, el poblado Laguna Santa Clara; al este, el poblado Birama, y al oeste, el poblado Sao Corajo.

El relieve es completamente llano, conformado por las regiones naturales de la llanura del Cauto–Guacanayabo y la región de la Ciénaga Litoral, con cotas topográficas del terreno que varían entre 30 y 35 m.

El clima predominante en todo el territorio es tropical, cuyo comportamiento de las precipitaciones atmosféricas en la zona de estudio constituyen la principal fuente de alimentación de las aguas superficiales y subterráneas en la región. La lluvia promedio anual en la zona varía de 1 150 a 1 700 mm, manifestándose dos periodos en su comportamiento, es decir: un periodo seco que comprende los meses de noviembre a abril y otro húmedo comprendido desde mayo a octubre.

La evaporación promedio histórica anual para la región, medida desde la superficie del terreno, presenta un valor de 1 728, 5 mm.

La dirección predominante del viento es del noreste. Para la región la velocidad promedio histórica anual es superior a los 6 km/h.

Con relación a la presión atmosférica, podemos decir que se encuentra entre las Isobaras de 1015 hasta 1015,5 Milibar, según datos actualizados del Atlas Nacional de Cuba ¹.

La temperatura media anual para el área de la cuenca es de 26.03 °C, estando en correspondencia con los valores de la media nacional que oscila entre los 25.00 y 27.00 °C.

La red hidrográfica está representada por el río Lavado hacia el oeste y el río Birama hacia la porción este.



MAPA GEOLÓGICO DEL ÁREA

Las características geológicas del área de estudio están representadas fundamentalmente por rocas del Neógeno a través de la Formación Geológica Yayal y Sedimentos del Cuaternario, que constituyen las rocas más jóvenes por su edad geológica en la región.

El Neógeno está representado por la Formación Yayal (N1 2; Yay) que ocupa la parte norte y central investigada; posee una edad del Mioceno Medio Temprano, de origen carbonatada terrígena, compuesta



Uno de los autores de este trabajo observando el régimen de las aguas subterráneas.

por calizas de colores cremas con abundantes sistemas de grietas y cavernas, así como presencia de arcillas calcáreas, dolomitas y margas de colores grises y verdosos.

Por su parte, los sedimentos del Cuaternario están presentes por medio de la Formación Cauto (m + alQ 2 – 3 ; cau) hacia la porción sur del área, de origen terrígena carbonatada y terrígena, compuesta por depósitos marinos aluviales como arenas, arenas arcillosas, limos, gravas y guijarros grises.

MAPA HIDROGEOLÓGICO DEL ÁREA

La hidrogeología regional está formada por la gran Cuenca Sur de Las Tunas. Por su parte desde el punto de vista local se ubica dentro de la Cuenca Subterránea Birama.

La estructura regional Cuenca Sur de Las Tunas está dentro de la llamada Cuenca del Caribe Oriental, la que abarca una extensión de unos 30 000 km² que se extiende a lo largo de toda la porción sur de Cuba, desde Cabo Cruz hasta los límites de las provincias de Sancti Spiritus y Cienfuegos, cuya cubierta geológica está constituida por rocas del Cuaternario, Neógeno y Paleógeno. En el territorio tunero ocupa toda la región Sur, compuesta geológicamente por rocas del Mioceno y Sedimentos del Cuaternario, donde los principales acuíferos se desarrollan en las formaciones geológicas Arroyo Palma, Guines y Yayal, cuya litología en el corte vertical está conformada por calizas de colores cremas y calizas biógenas que en ocasiones se encuentran agrietadas, carsificadas y con cierto grado de cavernosidad. En sentido general estas rocas poseen una elevada permeabilidad.

La profundidad de yacencia de las aguas subterráneas es muy variable en toda la cuenca, ya que hacia la porción costera alcanza valores menores a 1.00 m,

en el resto del territorio las aguas yacen a profundidades que oscilan entre 10.00 y 15.00 m y en ocasiones mayores a los 16.00 m. Por su grado de acuosidad la transmisividad alcanza valores que oscilan entre 100.0 y 500.0 m² /día, existiendo pequeños sectores aislados con valores que pueden alcanzar los 10 000.0 m² /día. Con relación a la potencia del acuífero es muy variada, con valores menores de 1.00 m en las zonas de acuñamiento entre las rocas del Neógeno y el Cretácico, hasta alcanzar valores máximos en las rocas acuíferas del Mioceno que llegan a alcanzar hasta 70.00 m de potencia.

La dirección y movimiento del flujo subterráneo es de Norte a Sur, excepto en las zonas donde se localizan los pozos de explotación donde el flujo se ve afectado considerablemente, lo que provoca que se produzcan alteraciones, por lo general las líneas del flujo en estos sectores toman una dirección en forma de embudo. Por su procedencia las aguas subterráneas que predominan son las del tipo de grietas sin presión es decir aguas libres o freáticas, cuya fuente de alimentación depende directamente de las precipitaciones atmosféricas que caen en la región. En esta estructura hidrogeológica se destacan las cuencas subterráneas Sevilla, Colombia, Birama, así como las zonas hidrogeológicas de Ojo de Agua y Omaja.

El quimismo de las aguas subterráneas en general es muy complejo, ya que está influenciado principalmente por el alto grado de contenido de sales de origen marino presente en las rocas y sedimentos de baja permeabilidad en las zonas precosteras, ya que estas sales de origen marino se han mantenido en las rocas durante varios períodos geológicos, lo que influye negativamente en la composición hidroquímica de las aguas del acuífero

La hidrogeología local está representada por la cuenca subterránea Birama, la cual ocupa un área de unos 300 km² dentro de la extensión territorial del municipio de Jobabo, y que debe su nombre al poblado de Birama que se encuentra en esta localidad, cuyos pozos de explotación poseen una elevada fertilidad acuífera. Desde el punto de vista geológico está compuesta por rocas del Mioceno como calizas biógenas y calizas de colores cremas de la Formación Yayal. La cuenca está conformada por cinco tramos hidrogeológicos en los que se almacenan unos recursos explotables totales de alrededor de 22.00 x 10⁶ m³/año en categoría B, con un isomodulo de explotación promedio de 2.40 l/s/km². El uso fundamental de las aguas es en el riego de la caña de azúcar y el abasto a Jobabo, las que presentan una mineralización que oscila entre 1 y 2 g/l, por su dureza total clasifican como aguas duras y muy duras, además las concentraciones de cloruros oscilan entre 300 y 600 mg/l.

En este capítulo se describen los principales trabajos que permitieron la realización exitosa de dicha investigación, los que se relacionan a continuación:

- **Recopilación y análisis de materiales de archivo.** Se procedió a la búsqueda y procesamiento de la información técnica del área de estudio en los archivos del INRH de Las Tunas. Con el análisis de los datos aportados se pudo conocer de forma preliminar sobre el corte litológico en el corte vertical, las fluctuaciones de las aguas subterráneas y el posible potencial hídrico subterráneo, todo lo cual incide en la agilización de la investigación.
- **Recorridos de campo.** Representados por las marchas rutas y levantamientos hidrogeológicos en un área de 9 km² a escala 1: 25 000. El objetivo es determinar el tipo de roca en los afloramientos, la profundidad de yacencia de las aguas subterráneas y la situación técnica de los pozos. Se analizaron 27 puntos de observación.
- **Observación del régimen de las aguas subterráneas.** La observación del régimen de las aguas subterráneas en los pozos reviste una gran importancia para definir las condiciones hidrogeológicas naturales del manto acuífero y la amplitud de oscilación anual e hiperanual de las aguas subterráneas tanto en el período seco como húmedo.
- **Determinación de las características geológicas.** Para el conocimiento geológico se analizaron las columnas litológicas de las calas y pozos construidos en el área. Dicha información se comparó con la descripción geológica in situ de las rocas presentes, todo lo cual permitió el conocimiento geológico del territorio estudiado. Se procesó la información geológica de 101 pozos existentes.
- **Trabajos experimentales de campo.** En una primera etapa se ejecutaron pruebas de aforo en los pozos 4778-I-18, 23, 33 y 418, con una duración de 24 horas y gastos estabilizados entre 20 y 50 L/s, logrando además un abatimiento mayor del 30% de la columna de agua. Se tomaron muestras de aguas químicas y bacteriológicas al inicio y al fina-

lizar la prueba de aforo, para determinar el comportamiento hidroquímico de las aguas subterráneas. Las aguas extraídas durante el bombeo se evacuaron aguas abajo del pozo, a una distancia mayor a los 100 m.

En una segunda etapa se realizaron aforos de limpieza en los pozos 4778-I-18 y 23 con la finalidad de determinar el comportamiento de los nitratos en el tiempo y en profundidad, con una duración de 72 horas de bombeo continuas y gastos de bombeo superiores a los gastos recomendados de las fuentes, cuyas aguas extraídas se evacuaron a una distancia mayor a los 100 m. En relación a la toma de las muestras químicas y bacteriológicas de las aguas subterráneas se tomaron cada 12 horas para un total de siete muestras por pozo.

- **Trabajos de gabinete e informe final.** Como fase final de la investigación se procesó en gabinete toda la información adquirida, se realizaron los cálculos de los parámetros hidrogeológicos, hidroquímicos y se elaboró el informe final.

De acuerdo al análisis de las pruebas de aforo y el muestreo hidroquímico se determinó que desde el punto de vista cuantitativo en la zona de estudio existen gastos de explotación recomendados superiores a los 137 L/s, por su parte cualitativamente se comprobó que existe contaminación de nitratos y nitritos en los pozos 18 y 23, por lo que estas aguas no son aptas para el consumo humano. En relación al comportamiento de los cloruros en los pozos 33 y 418 poseen concentraciones muy por encima del valor máximo permisible por normativa.

En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos en los pozos investigados, manifestándose el siguiente comportamiento:

Nitratos, NO₃: En el pozo 18 durante el aforo de limpieza se produjo una disminución de 70 a 63,3 mg/L, pero todavía este elemento está muy por encima de

Tabla 1: Comportamiento cuantitativo y cualitativo de los pozos propuestos.

Pozo	Q Rec. L/s	NO ₃ mg/L		NO ₂ mg/L		Cloruros mg/L		SST mg/L		Observaciones
		Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final	
18	50-60	70	63	0	0,02	153	224	1015	1265	Aforo limpieza
23	25	61,5	73,6	0	0.03	256	254	1182	1190	Aforo limpieza
33	12	43,6	37,4	0	0	410	424	1227	1426	Aforo normal
418	40	37	39,1	0	0	469	406	1513	1406	Aforo normal

los 45 mg/L valor máximo permisible para el consumo. En el caso del pozo 23 ocurre todo lo contrario, ya que aumenta progresivamente de 61,5 hasta 73,6 mg/L, por lo que empeora su grado de potabilidad. Por su parte, en los pozos 33 y 418 los valores de nitratos se mantienen dentro de lo permisible.

Nitritos, NO₂: Tanto en los pozos 18 y 23 durante el aforo de limpieza se produjo un aumento de concentraciones de 0,0 a 0,03 mg/L, por lo que dicho elemento está por encima del valor máximo permisible para el consumo por norma, que es de 0,0 hasta 0,001 mg/L. En el caso de los pozos 33 y 418 no existe contaminación.

Cloruros, Cl: En los pozos 18 y 23 las concentraciones de cloruros se mantienen dentro de los valores permisibles para el consumo. Por su parte en los pozos 33 y 418 los cloruros alcanzan valores entre 410 y 469 mg/l, debido al origen marino de las aguas subterráneas en la región, por lo que dicho elemento está por encima del valor máximo permisible por norma de potabilidad (300 mg/L).

Sales solubles totales, SST: En los pozos 18, 23, 33 y 418 las sales solubles totales varían en concentraciones entre 1 015 y 1 513 mg/L, lo que influye en el grado de mineralización de las aguas, clasificándolas como algo salinizadas.

Según el análisis, se llegó a la conclusión de que en la zona donde se ubican los pozos 18 y 23 existe contaminación por la presencia de nitratos y nitritos, pues dichos elementos se encuentran por encima del valor máximo permisible, lo que influye negativamente en el grado de potabilidad para ser empleadas en sistemas de suministro de agua a la población.

Por lo antes expuesto podemos decir que existen problemas medioambientales relacionados con la degradación de la calidad de las aguas subterráneas en la región investigada, como consecuencia de la actividad agrícola intensiva que se desarrolló en ella, que ha producido un aumento muy significativo de la concentración de los nitratos.

Esta contaminación en forma de nitratos suele ser bastante estable y difícilmente reversible en aguas donde se realizan prácticas agrícolas y es debida fundamentalmente a la utilización de fertilizantes y biocidas en exceso, así como a la presencia de alpechín y otros residuos agrícolas. Los fertilizantes son ricos en compuestos nitrogenados y fosforados, siendo lavados y arrastrados de la superficie por lluvias y escorrentías.

Por otra parte, muchos de los biocidas utilizados en la agricultura presentan una alta toxicidad y persistencia, con alta capacidad de acumulación en los organismos vivos. Es bueno destacar que cuando un acuífero se contamina por nitratos y nitritos, el volumen de terreno afectado puede ser muy grande, correspondiendo a hectáreas de superficie y a decenas de metros en profundidad.

Asimismo, el paso de las sustancias contaminantes a lo largo de los intersticios del acuífero hace que parte de estas sustancias queden retenidas por mucho tiempo. Como consecuencia, resulta técnicamente complejo rehabilitar un acuífero ya contaminado (el costo suele ser prohibitivo en la inmensa mayoría de los casos) y la solución más frecuente es el abandono del acuífero y, por tanto, de sus posibilidades hídricas para el abastecimiento.

Por ello se puede concluir que la manera más eficaz de mantener la calidad de las aguas subterráneas para que puedan seguir siendo utilizadas, consiste en garantizar su protección frente a la contaminación. Está reconocido que un agua contaminada con nitratos empleada para la preparación de biberones, es susceptible de hacer aparecer en los lactantes una cianosis debida a la formación de metahemoglobina cuyos síntomas clínicos son la coloración azulada de la piel y sangre de color pardo.

En sentido general el conocimiento de la geoquímica de las aguas subterráneas constituye un arma eficaz y de una importancia considerable para la Hidrogeología, pues no basta solo con descubrir agua, sino que esta tiene que tener la calidad deseada para los

Tabla 2: Resultados de la aplicación de la ecuación de mezcla en los pozos 4778-I-18, 23 y 418.

Pozos analizados	NO mg/l	NO mg/l	CL mg/l	SST mg/l	Mineralización g/l	Gasto recomendado l/s
4778-I-18	63.376	0.02	224	1 265	0.95	50 - 60
4778-I-23	73.63	0.03	254	1 190	0.96	25
4778-I-418	39.19	0.0	406	1 406	1.28	40

diferentes usos a que se destinen. Por tanto el conocimiento de las leyes de la Geoquímica del agua subterránea es importante para el esclarecimiento de la composición química de las fuentes, causas de su salinidad y grado de contaminación, lo que nos permiten acceder a una información inestimable sobre las condiciones y el movimiento de las aguas subterráneas.

En el análisis integral para la determinación de la correlación más idónea entre el gasto recomendado de los pozos propuestos y las concentraciones de nitratos, nitritos, cloruros, sales solubles totales y la mineralización se empleó la fórmula ponderada para la mezcla de agua $MT = Q_n \times C_n$. (Ecuación general.)

Donde:

MT = Mezcla total que se determina por la sumatoria del gasto recomendado (l/s) multiplicado por la concentración del elemento deseado (mg/l).

Q_n = Gasto total que se determina por la sumatoria del gasto recomendado (l/s) de los pozos a emplear.

C_n = Concentración de mezcla del elemento deseado (mg/l).

En el presente trabajo se aplicó dicha ecuación de mezcla en los pozos 4778 – I – 18, 23 y 418, cuyos resultados se ofrecen en la tabla 2 y a continuación:

Nitratos (NO₃)

$$MT_{\text{pozo 18}} = 50 \text{ L/s} \times 63.376 \text{ mg/L} = 3\,168.8 \text{ mg/s.}$$

$$MT_{\text{pozo 23}} = 25 \text{ L/s} \times 73.63 \text{ mg/L} = 1\,840.75 \text{ mg/s.}$$

$$MT_{\text{pozo 418}} = 40 \text{ L/s} \times 39.19 \text{ mg/L} = 1\,567.60 \text{ mg/s.}$$

$$MT = \sum MT (\text{pozo 18}) + MT (\text{pozo 23}) + MT (\text{pozo 418})$$

$$MT = 3\,168.8 \text{ mg/s} + 1\,840.75 \text{ mg/s} + 1\,567.60 \text{ mg/s} = 6\,577.15 \text{ mg/s.}$$

$$Q_n = \sum Q_{\text{rec. Pozo 18}} + Q_{\text{rec. Pozo 23}} + Q_{\text{rec. Pozo 418.}}$$

$$Q_n = 50 \text{ L/s} + 25 \text{ L/s} + 40 \text{ L/s} = 115.0 \text{ L/s.}$$

$$MT = Q_n \times C_n$$

$$C_n = \frac{MT}{Q_n} = \frac{6577.15 \text{ mg/s}}{115 \text{ L/s}} = 57.20 \text{ mg/l} \text{ (resultado de la mezcla, no apta para el consumo.)}$$

Nitritos (NO₂)

$$MT_{\text{pozo 18}} = 50 \text{ L/s} \times 0.02 \text{ mg/L} = 1.00 \text{ mg/s.}$$

$$MT_{\text{pozo 23}} = 25 \text{ L/s} \times 0.03 \text{ mg/L} = 0.75 \text{ mg/s.}$$

$$MT_{\text{pozo 418}} = 40 \text{ L/s} \times 0.0 \text{ mg/L} = 0.0 \text{ mg/s.}$$

$$MT = \sum MT (\text{pozo 18}) + MT (\text{pozo 23}) + MT (\text{pozo 418})$$

$$MT = 1.00 \text{ mg/s} + 0.75 \text{ mg/s} + 0.0 \text{ mg/s} = 1.75 \text{ mg/s.}$$

$$Q_n = \sum Q_{\text{rec. Pozo 18}} + Q_{\text{rec. Pozo 23}} + Q_{\text{rec. Pozo 418.}}$$

$$Q_n = 50 \text{ L/s} + 25 \text{ L/s} + 40 \text{ L/s} = 115.0 \text{ L/s.}$$

$$MT = Q_n \times C_n$$

$$C_n = \frac{MT}{Q_n} = \frac{6577.15 \text{ mg/s}}{115 \text{ L/s}} = 0,015 \text{ mg/L} \text{ (resultado de la mezcla, no apta para el consumo.)}$$

Cloruros (Cl)

$$MT_{\text{pozo 18}} = 50 \text{ L/s} \times 224 \text{ mg/L} = 11\,200 \text{ mg/s.}$$

$$MT_{\text{pozo 23}} = 25 \text{ L/s} \times 254 \text{ mg/L} = 6\,350 \text{ mg/s.}$$

$$MT_{\text{pozo 418}} = 40 \text{ L/s} \times 406 \text{ mg/L} = 16\,240 \text{ mg/s.}$$

$$MT = \sum MT (\text{pozo 18}) + MT (\text{pozo 23}) + MT (\text{pozo 418})$$

$$MT = 11\,200 \text{ mg/s} + 6\,350 \text{ mg/s} + 16\,240 \text{ mg/s} = 33\,790 \text{ mg/s.}$$

$$Q_n = \sum Q_{\text{rec. Pozo 18}} + Q_{\text{rec. Pozo 23}} + Q_{\text{rec. Pozo 418.}}$$

$$Q_n = 50 \text{ L/s} + 25 \text{ L/s} + 40 \text{ L/s} = 115.0 \text{ L/s.}$$

$$MT = Q_n \times C_n$$

$$C_n = \frac{MT}{Q_n} = \frac{33790 \text{ mg/s}}{115 \text{ L/s}} = 0,015 \text{ mg/L} \text{ (resultado de la mezcla, no apta para el consumo.)}$$

Sales solubles totales (SST.)

$$MT_{\text{pozo 18}} = 50 \text{ L/s} \times 1\,265 \text{ mg/L} = 63\,250 \text{ mg/s.}$$

$$MT_{\text{pozo 23}} = 25 \text{ L/s} \times 1\,190 \text{ mg/L} = 29\,750 \text{ mg/s.}$$

$$MT_{\text{pozo 418}} = 40 \text{ L/s} \times 1\,406 \text{ mg/L} = 56\,240 \text{ mg/s.}$$

$$MT = \sum MT (\text{pozo 18}) + MT (\text{pozo 23}) + MT (\text{pozo 418})$$

$$MT = 63\,250 \text{ mg/s} + 29\,750 \text{ mg/s} + 56\,240 \text{ mg/s} = 149\,240 \text{ mg/s.}$$

$$Q_n = \sum Q_{\text{rec. Pozo 18}} + Q_{\text{rec. Pozo 23}} + Q_{\text{rec. Pozo 418.}}$$

$$Q_n = 50 \text{ L/s} + 25 \text{ L/s} + 40 \text{ L/s} = 115.0 \text{ L/s.}$$

$$MT = Q_n \times C_n$$

$$C_n = \frac{MT}{Q_n} = \frac{149240 \text{ mg/s}}{115 \text{ L/s}} = 1\,298 \text{ mg/L} \text{ (resultado de la mezcla, no apta para el consumo.)}$$

Mineralización (Min.)

$$MT_{\text{pozo 18}} = 50 \text{ L/s} \times 0.95 \text{ g/L} = 47.50 \text{ g/s.}$$

$$MT_{\text{pozo 23}} = 25 \text{ L/s} \times 0.96 \text{ g/L} = 24.00 \text{ g/s.}$$

$$MT_{\text{pozo 418}} = 40 \text{ L/s} \times 1.28 \text{ g/L} = 51.20 \text{ g/s.}$$

$$MT = \sum MT (\text{pozo 18}) + MT (\text{pozo 23}) + MT (\text{pozo 418})$$

$$MT = 47.50 \text{ g/s} + 24.00 \text{ g/s} + 51.20 \text{ g/s} = 122.70 \text{ g/s.}$$

$$Q_n = \sum Q_{\text{rec. Pozo 18}} + Q_{\text{rec. Pozo 23}} + Q_{\text{rec. Pozo 418.}}$$

$$Q_n = 50 \text{ L/s} + 25 \text{ L/s} + 40 \text{ L/s} = 115.0 \text{ L/s.}$$

$$MT = Q_n \times C_n$$

$$C_n = \frac{MT}{Q_n} = 1,0 \text{ g/l} \text{ (resultado de la mezcla, no apta para el consumo.)}$$

En sentido general el trabajo aporta en la activi-

TRABAJOS DE PERFORACIÓN				COMBUSTIBLE	
Perforación C-IV \$ 59.24 x m C-IV \$ 59.24 x m	Encamisado Ciega \$ 49.33 x m Filtro \$ 49.83 x m	Traslado Equipo. \$19.60 x km	Pruebas de aforo	Litros	Valor en CUC
\$ 44 786.00 250 m (5 pozos)	\$ 12 420 .00	\$ 2 940.00	\$ 10 772.05	3 350	\$ 1 340.00

Tabla 3: Ahorro en las principales actividades.

dad de perforación de pozos tubulares un ahorro de \$ 70 918.05 (5 pozos = 250 m de perforación), desglosado en \$ 44 786.00 en perforación en categorías IV y VI, \$ 12 420.00 en encamisado, \$ 2 940.00 en traslado de equipos y \$ 10 772.05 en pruebas de aforo, así como el ahorro de 3 350 litros de combustible que representan un valor de \$ 1 340.00 CUC (ver tabla 3).

Con la culminación del presente trabajo se pudo demostrar que las aguas subterráneas no son aptas para el consumo a la población, a pesar de que los pozos propuestos poseen gastos recomendados que satisfacen la demanda solicitada, por lo que dicha variante de solución propuesta para el abasto al poblado de Jobabo se descarta totalmente por las razones antes mencionadas. Pero es bueno destacar que la investigación hidrogeológica ejecutada demostró que a pesar de que la zona de estudio no dispone con aguas aptas para el consumo humano, las mismas desde el punto de vista cuantitativo y cualitativo si presentan condiciones idóneas para ser empleadas en el riego de diferentes cultivos, ya que existen caudales de explotación superiores a los 100 L/s y concentraciones

de nitratos superiores a los 60.0 mg/L, lo que nos permite emplear las mismas sin el uso de fertilizantes en grandes cantidades, ya que las aguas in situ contienen nitratos y nitritos, por lo que se recomienda el montaje inmediato de sistemas de campo electrificados en los pozos analizados, que permitirá un desarrollo agrícola en la región.

RECOMENDACIONES

1. Incorporación de los pozos investigados sin uso actualmente en el riego de cultivos varios en la zona de Ramírez, mediante la instalación de Sistemas de Campo Electrificados.
2. Aplicación y generalización de la formula ponderada de mezcla de agua en otras investigaciones hidrogeológicas en la provincia Las Tunas.
3. Se recomienda como fuente de abasto al pozo 4778–I–418 para el poblado Ramírez, que en la actualidad carece de sistema de acueducto.
4. Búsqueda de una nueva variante de solución de abasto al poblado de Jobabo desde la presa Jobabito. ◀

BIBLIOGRAFÍA

- BLANCAS CABELLO, CARMEN, Y MARÍA EMILIA HERVÁS RAMÍREZ: *Contaminación de las aguas por Nitratos y efectos sobre la salud*. Consejería de Salud. Sevilla, España, 2001
- : "Manuales de Salud Ambiental." Consejería de Salud. Sevilla, España, 2001.
- : "Manual divulgativo. ISBN: 84-8486-005-1". 2 001
- CUSTODIO, DR. EMILIO: *Hidrogeología General*. Barcelona, España, 2 000.
- HERVÁS RAMÍREZ, MARÍA EMILIA: *Nitratos: efectos adversos*. Consejería de Salud III. Título IV. Serie WA 754. 2001. Andalucía, España, 2001.
- INSTITUTO DE CUBA: Atlas Nacional de Cuba
- PÉREZ, DR. DIOSDADO: "Hidráulica Subterránea". Editorial Científico-Técnica. La Habana, 1982.
- VÁZQUEZ, ENRIQUE, Y MIRTHA GARCÍA: *Manual de características geológicas, hidrogeológicas y químicas de Las Tunas*. Las Tunas, 1994.
- : *Valoración geológica e hidrogeológica de las redes de acueducto del poblado de Jobabo*. Las Tunas, 2003.
- ABC del Saneamiento Ambiental. Editorial Oriente. Santiago de Cuba, 1989.
- Esquema Hidráulico de la Provincia Las Tunas. 1997 – 1999.
- Procedimientos de calidad y normas ISO – 9 000 del 2 001.
- Curso Internacional de Aguas Subterráneas y Medio Ambiente. Ciudad de La Habana, 1999.