

# **ESTIMACIÓN DE LAS RESERVAS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL CENTRO DE RECRÍA DEL MUNICIPIO EZEQUIEL ZAMORA DEL ESTADO COJEDES\***

Estimation of groundwater reserves in Cattle Breeding Center, Ezequiel Zamora Municipality, Cojedes State

Franklin Paredes<sup>1</sup> y Robert Martínez<sup>2</sup>

## **RESUMEN**

El crecimiento poblacional e industrial del municipio Ezequiel Zamora del estado Cojedes ocasionó un aumento de su demanda hídrica. Las fuentes subterráneas en el Centro de Recría San Carlos (CRSC), resultan una alternativa de aprovechamiento a corto plazo. Durante un año, se estimaron las reservas de aguas subterráneas renovables en el CRSC. La metodología comprendió: 1.- descripción del patrón de flujo dentro del acuífero; 2.- estimación de la transmisividad y el coeficiente de almacenamiento; 3.- descripción de la variación de la mesa freática; 4.- cálculo de la composición isotópica del agua en el acuífero e inferencia del origen de las recargas. Entre los resultados destacan: 1.- El acuífero cuenta con un volumen de reservas renovables de 38401 m<sup>3</sup>/año; 2.- La recarga ocurre al Norte del CRSC, y en menor grado, en el sector Aeropuerto (546332 E 1067141 N); 3.- El acuífero se interconecta hidráulicamente con el río Tirgua. Se recomienda reevaluar y ampliar este estudio a medida que se disponga de mayor información hidrogeológica, sobre todo, registros de niveles estáticos.

**Palabras clave:** acuífero, Centro de Recría San Carlos, reserva hidrogeológica.

## **ABSTRACT**

Population and industrial growth of Ezequiel Zamora municipality, Cojedes state, caused an increase in water demand. Groundwater sources in the San Carlos Breeding Centre (CRSC), are an alternative short-term use. For a year, renewable groundwater reserves in the CRSC were estimated. The methodology included: 1.- description of the flow pattern within the aquifer, 2.- estimate of the transmissivity and storage coefficient, 3.- description of the groundwater table variation, 4.- calculation of the isotopic composition of water in the aquifer and inference of the charges origin. Among the findings: 1- the aquifer has a volume of renewable reserves of 38,401 m<sup>3</sup>/year, 2 - the recharge occurs north of CRSC, and to a lesser degree, in the Airport area (546332 E 1067141 N); 3- the aquifer is hydraulically interconnected with the river Tirgua. It is recommended to reevaluate and expand the study as more hydrogeological information becomes available especially records static levels.

**Key words:** aquifer, Breeding Center San Carlos, hydrogeological reserve.

---

(\*) Recibido: 06-10-2011

Acceptado: 07-04-2012

<sup>1</sup> Unellez, Vicerrectorado de Infraestructura y Procesos Industriales. San Carlos, Cojedes, Venezuela. E-mail: franklinparedes75@gmail.com.

<sup>2</sup> Programa de Postgrado en Ingeniería Ambiental. Vicerrectorado de Infraestructura y Procesos Industriales. San Carlos, Cojedes, Venezuela

## INTRODUCCIÓN

El acueducto de mayor importancia de la ciudad de San Carlos en el municipio Ezequiel Zamora del estado Cojedes, se surte, parcialmente, del río Tirgua. La obra de derivación consta de un dique-toma marginal, localizado en el sector Paso Viboral; allí, el río Tirgua, aporta en promedio, 13 m<sup>3</sup>/s.

En el municipio Ezequiel Zamora, el río Tirgua abastece la Planta de Tratamiento Eleazar Nazar Arroyo y el Sistema de Riego San Carlos. Las series hidrológicas disponibles en el Balneario Boca-Toma (2 km aguas arriba del dique-toma), indican que es una fuente hídrica poco confiable, debido en parte, a la variabilidad de su caudal y la significativa carga de sedimento suspendido que transporta durante la ocurrencia de tormentas (Paredes 2009; Paredes *et al.* 2006).

El municipio Ezequiel Zamora cuenta con dos zonas con potencial hidrogeológico: el eje Camoruco-Penitente y la región limitada por la Troncal N° 5 y las locales L2 y L3 (Ruíz 1996). Esta última, incluye al Centro de Recría San Carlos.

Actualmente, la empresa hidrológica HIDROCENTRO, gestiona una batería de pozos profundos en el CRSC, cuya producción conjunta, abastece gran parte de los sectores situados al sur de la ciudad de San Carlos.

La colmatación recurrente de las unidades de sedimentación en la Planta de Tratamiento Eleazar Nazar Arroyo y las sucesivas fallas del dique-toma, obligó a HIDROCENTRO a densificar la red de pozos en el CRSC, para así satisfacer la ingente demanda hídrica del flanco sur de San Carlos. Por lo anterior, se requiere implementar un plan de explotación racional, para reducir el riesgo de sobre-explotación del acuífero.

En este artículo se describen características hidrogeológicas y estima el volumen de reservas renovables del acuífero subyacente al CRSC, por tanto constituye una referencia para delinear estrategias en pro de su preservación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Unidad de estudio: la Unidad de Estudio (UE) tiene 491,59 ha (Tabla 1). Contiene el CRSC y los sectores Conare, El Retazo, INCE, El Limón, Zona Industrial, Dirección Estadal Ambiental Cojedes, Escuela Básica Las Monjitas, entre otros de menor tamaño e importancia.

**Tabla 1. Vértices de la Unidad de Estudio.**

Vértice	Este	Norte
V <sub>1</sub>	546 759	1 066 550
V <sub>2</sub>	545 348	1 066 562
V <sub>3</sub>	543 716	1 064 923
V <sub>4</sub>	544 507	1 064 494
V <sub>5</sub>	545 581	1 063 695
V <sub>6</sub>	545 902	1 063 706
V <sub>1</sub>	546 759	1 066 550

Nota: Datum RegVEN. Zona 19; ver línea segmentada de la Figura 1.

### Fases de la investigación:

**Fase I.** Estimación de transmisividad (T) y coeficiente de almacenamiento (S) del acuífero: se inventariaron los pozos de la UE, luego, se seleccionaron aquellos que: 1) presentaron equipo de bombeo; 2) contaban con una vía de acceso; 3) es posible usar la sonda de medición de nivel; 4) disponían de un pozo de observación. Así, resultaron escogidos: Hidrocentro 1, UTM 545 235 E 1 064 602 N e Hidrocentro 6, UTM 544 305 E 1 064 140 N (Figura 1); a estos, se les realizó una prueba de bombeo a caudal constante.

Se graficó el abatimiento versus el tiempo de bombeo en papel con escala log en ambos ejes:

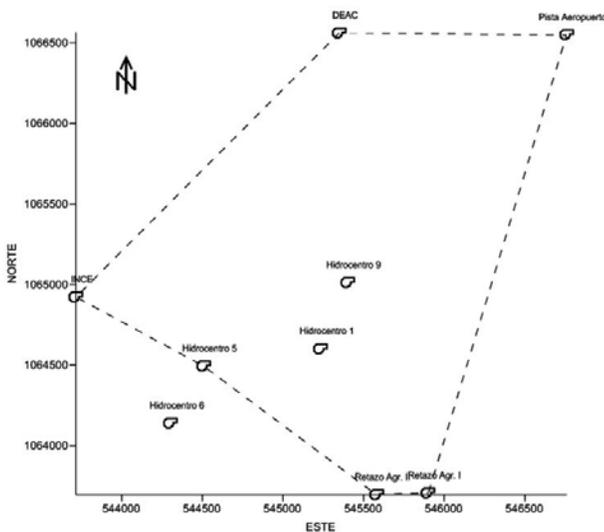
1. Una curva asintótica, sugiere la existencia de un acuífero confinado, por tanto, se aplica el método de Jacob (Schwartz y Zhang 2003).
2. Una curva no asintótica o con tramos escalonados, da cuenta de un acuífero libre o parcialmente confinado. En ambos casos, se aplica el método de Hantush-Jacob modificado (Walton 1962).

Los registros de las pruebas de bombeo se analizaron con el software Aquifer Test 3.01™; se estimó T y S.

**Fase II.** Estimación del patrón de flujo del agua subterránea en el CRSC: se usaron 7 pozos en la UE (Tabla 2). A cada uno, se le midió la cota del terreno usando un GPS geodésico de una frecuencia, marca Trimble 4600 LS. Luego, se restó a este valor, el nivel estático promedio referido al terreno (de junio 2009 a agosto 2010), obteniendo así, la Altura de la Mesa de Agua Respecto al nivel del Mar, promedia anual (AMARM-anual).

**Tabla 2. Pozos de la Unidad de Estudio.**

Nombre	Este	Norte
Pista Aeropuerto	546 759	1 066 550
El Retazo Agrícola I	545 902	1 063 706
El Retazo Agrícola II	545 581	1 063 695
DEAC	545 348	1 066 562
INCE	543 716	1 064 923
Hidrocentro 5	544 507	1 064 494
Hidrocentro 9	545 400	1 065 013



**Figura 1. Red de pozos evaluada en el CRSC**

A partir de la AMARM-anual, se elaboró un mapa conjunto de niveles estáticos y dirección de flujo, usando el software geoestadístico Golden Software Surfer 8.0; el método de mallado fue Kriging, para lo cual, se consiguió el mejor ajuste entre los variogramas, experimental y teórico (Mora y Jégat 2007)

**Fase III.** Estimación del volumen de reservas renovables en el CRSC: se graficó la AMARM mensual de los pozos listados en la Tabla 2, de

junio 2009 a agosto 2010. Luego, se identificaron los meses con el mayor y menor valor de AMARM-mensual. El volumen de reservas renovables, se calculó como sigue:

$$RR = S.\Delta h.A \quad (1)$$

Donde: S, es el coeficiente de almacenamiento promedio del acuífero (valor medio de los S en Hidrocentro 1 e Hidrocentro 6; calculado en la Fase I);  $\Delta h$ , es la variación promedio de la AMARM-mensual, en los pozos de la Tabla 2, expresada en m; A, es la superficie del polígono delimitado por los pozos indicados en el Tabla 2 (representan vértices), expresada en  $m^2$ .

El término,  $\Delta h.A$  es el volumen encerrado por la superficie freática, máxima y mínima, durante el período de medición; se calculó con el software Golden Software Surfer 8.0

**Fase IV.** Inferencia sobre el origen de las recargas en el CRSC: se tomaron muestras representativas del agua en los pozos de la Tabla II, un pozo en la Zona Industrial de San Carlos, río Tirgua y la quebrada La Yaguara. Luego, se determinó la composición isotópica de las muestras con un espectroscopio isotópico láser en el Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT) de la Universidad de Los Andes (ULA). Seguido, se graficó la concentración de deuterio ( $d^2H$ ) versus la concentración de oxígeno 18 ( $d^{18}O$ ) de las muestras. En base a la agregación observada, se identificó el origen del agua contenida en las muestras.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Transmisividad y coeficiente de almacenamiento del acuífero:

Los perfiles estratigráficos disponibles en el CRSC y las curvas de abatimiento obtenidas de las pruebas de bombeo indican la ocurrencia de un acuífero semi-confinado con un espesor saturado de cerca de 10 m, compuesto en gran parte, por grava gruesa y arcilla arenosa. En los estratos superficiales predominan arcilla y limo. En el pozo Hidrocentro 1,  $T = 2.580 \text{ m}^2/\text{día}$  y  $S = 6,5 \times$

$10^{-3}$ ; en Hidrocentro 6,  $T= 1.140 \text{ m}^2/\text{día}$  y  $S= 2,39 \times 10^{-3}$ . Estos resultados guardan correspondencia con la producción de los pozos; Hidrocentro 1 aporta 72,80 litros por segundo (lps), mientras que Hidrocentro 6: 24,10 lps. En general, la producción de los pozos tiende a aumentar en dirección noroeste-sudoeste.

2. Patrón de flujo del agua subterránea en el CRSC:

A juzgar por la distribución espacial de los vectores de gradiente (Fig. 2), se dan dos corrientes principales:

- 1) dirección NO-SE, probablemente proveniente del río Tigua o zonas de recargas en las áreas no urbanizadas de los sectores El Limón, Zona Industrial y otras locaciones cercanas;
- 2) dirección NE-SO. Probablemente, proviene de zonas de recargas situadas en los sectores Aeropuerto y Los Samanes.

Se observa un vector aislado, en contraflujo, a lo largo del eje Hidrocentro 5 – Hidrocentro 6 (Figura 2), el cual, probablemente, se deba a una interferencia ocasionada por los pozos cercanos, que eran bombeados los días en que se realizaron las mediciones.

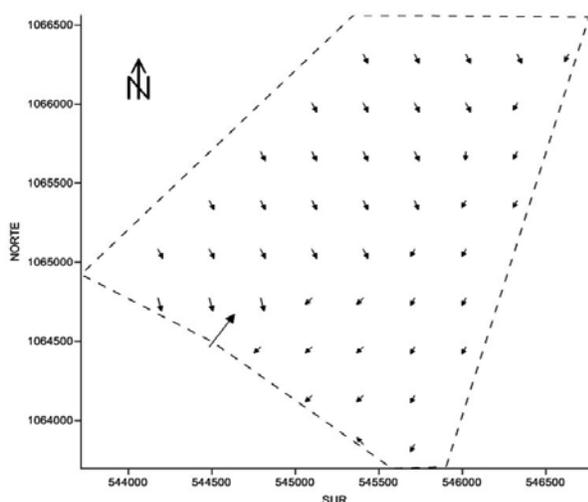


Figura. 2. Patrón de flujo del agua subterránea en el CRSC.

Nota: promedio entre junio 2009 a agosto 2010.

En general, el patrón de flujo sugiere que el acuífero bajo estudio, recibe aportes desde el NO y NE, luego el flujo sigue su avance hacia el SO. Por lo anterior, una contaminación puntual o difusa de los suelos localizados al NO y NE de la Unidad de Estudio, producto de un derrame de hidrocarburos, infiltración de aguas servidas, fertilizantes o agroquímicos generará una pluma que contaminará el acuífero del CRSC.

3. Volumen de reservas renovables en el CRSC:

La Reservas Renovables, estimada por medio de la ecuación (1), resultó igual a  $3.8401 \text{ m}^3$ . Si se asume una dotación de 300 l/hab/día, el acuífero puede abastecer alrededor de 350 hab/año. Una extracción, superior a  $3.8401 \text{ m}^3/\text{año}$ , pudiese ocasionar su sobre explotación.

4. Origen de las recargas en el CRSC

El análisis isotópico de las muestras colectadas, sugiere que las zonas con mayor potencial de recarga del acuífero subyacente al CRSC, están al Norte de la zona industrial de la ciudad de San Carlos y en el sector Aeropuerto. Las muestras tomadas en el sector San Antonio, la despulpadora en la zona industrial, el INCE y Las Monjitas tienen una composición isotópica muy parecida. Por otro lado, se evidencia una clara interconexión hidráulica del acuífero con el río Tigua. No se evidencia una relación isotópica entre el agua del acuífero del CRSC y la quebrada La Yaguara.

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

El acuífero subyacente a la unidad de estudio tiene potencial como fuente de abastecimiento hídrico.

En abril, la mesa freática muestra la máxima profundidad, en consecuencia, el acuífero presenta el mayor riesgo de ser sobre-explotado.

Las extracciones sostenidas en el tiempo, ocasionan variaciones moderadas de la mesa freática al sur del Pozo Hidrocentro 1, no obstante al norte de Hidrocentro 9, las variaciones pueden ser significativas.

La zona de recarga del acuífero está al norte del CRSC, y en menor grado, en el sector Aeropuerto; esta situación evidencia un alto riesgo de ser contaminado por sustancias químicas peligrosas que lleguen a la matriz del acuífero, vía infiltración – percolación profunda.

Existe una interconexión hidráulica del acuífero con el río Tirgua.

Se recomienda reevaluar y ampliar este estudio a medida que se disponga de mayor información hidrogeológica, en especial, de registros de niveles estáticos.

### **AGRADECIMIENTO**

Esta investigación fue financiada por la Alcaldía del municipio Ezequiel Zamora del estado Cojedes. Los autores agradecen la valiosa colaboración del Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial de la Universidad de Los Andes (CIDIAT-ULA) y la empresa HIDROCENTRO seccional Cojedes.

### **REFERENCIAS**

- Mora, A. y Jégat, H. 2007. Evaluación de las disponibilidades de agua subterránea entre los ríos Sarare y San Carlos en el límite entre los estados Portuguesa y Cojedes. Trabajo de Grado. ULA – Escuela de Ingeniería Geológica, Mérida 239 p.
- Paredes, F. 2009. Nociones elementales de la climatología e hidrología del estado Cojedes. Serie Investigación del Proyecto Editorial de Postgrado de Unellez-VIPI, Cojedes, Venezuela. 250 p.
- Paredes, F., Rumbo, L., Guevara, E. y Carballo, N. 2006. Caracterización histórica de las sequías extremas del río Tirgua en el estado Cojedes. Revista Agrollanía 3: 101-114.
- Ruíz J., D. 1996. Evaluación de las aguas subterráneas de la zona delimitada por la carretera nacional Troncal 5 y los ríos Cojedes y Tinaco, en el estado Cojedes. Trabajo de Grado. Unellez-VPA, Guanare. 281 p.
- Schwartz, F. y Zhang, H. 2003. Fundamentals of Groundwater. Wiley. 592 p.
- Walton, W. 1962. Selected analytical methods for well and aquifer elevation. Illinois State Water Survey, Bulletin N° 49. 81 p.