

Diagnóstico de la situación de la intrusión marina al sur de Ciego de Ávila

Luis Fidel Miranda Castañeda.

Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos Ciego de Ávila

e-mail: geologia@eipi.ca.hidro.cu

RESUMEN

Se hace un diagnóstico de la situación actual de la intrusión marina así como su comportamiento en el tiempo, con el objetivo de conocer su distribución espacial y realizar un correcto manejo del acuífero sin afectar al medio ambiente. Esto también sirve como línea base para enfrentar los futuros efectos del cambio climático en el área que corresponde al sur del poblado de Venezuela hasta la costa sur. Para ello se realizó un análisis de los datos de explotación, lluvia, profundidad del agua y concentración de las sales solubles totales para el fin del período seco de los años 1981, 1985, 1987, 1988 y 2010, estableciendo una relación entre la profundidad media de yacencia del agua y el máximo avance de la intrusión desde la costa, y determinando la profundidad media del agua que no debe sobrepasarse en el sector CA-II-1 para evitar la intrusión dentro de la zona sectorizada de la cuenca sur.

Palabras clave: explotación del acuífero, intrusión marina, manejo del acuífero, relación agua dulce-agua salada, sales solubles totales.

Diagnosis of sea water intrusion situation south of Ciego de Ávila

ABSTRACT

This work deals with present-day diagnosis of sea water intrusion situation and its behavior through time, with the objective of knowing its spatial distribution to accomplish a correct aquifer management without environmental drawbacks. At the same time it can be used as a base line to confront future effects of climatic change in the area south of Venezuela town down to the coast line. In this work several data were analyzed: aquifer exploitation, rain, depth to water table and total dissolved solids concentration during dry seasons of 1981, 1985, 1987, 1988 and 2010. A relationship was established between average depth to the water table and maximum advance of sea water intrusion from shore. It was found the average water table depth that cannot be exceed in hydrogeological sector CA-II-1 to prevent sea water intrusion inside hydrogeological sectors of southern basin (Ciego basin).

Keywords: aquifer exploitation, aquifer management, fresh-salt water relationship, sea intrusion, total dissolved solids.

Por su gran connotación se debe conocer cómo el desplazamiento de la cuña de intrusión marina en las aguas subterráneas en contacto directo con el mar, ha avanzado en sentido horizontal, hacia tierra adentro entre 0,3 y 3 km/año. La zona de mezcla entre el agua dulce y salada ha ascendido entre 0.5 y 5 m/año, durante el período 1970-2000 (IPCC 2007).

Al sur de la provincia de Ciego de Ávila (figura 1) se ve claramente representado el fenómeno de intrusión marina, fundamentalmente desde el poblado de Júcaro casi hasta el poblado de Venezuela en ocasiones. Por lo que teniendo en cuenta la importancia que representa la Cuenca Sur para el desarrollo agrícola de nuestra provincia y del país, se realizó un estudio espacio – temporal de la intrusión marina en aras de determinar el máximo avance que se ha producido en condiciones críticas de explotación, así como su posición actual para que sirva de línea base, a partir del 2010, de los impactos que se generarán en un futuro.

Además se determinó, para el sector CA-II-I (al centro oeste de la cuenca sur), la profundidad media de las aguas subterráneas a partir de la cual comienza la intrusión marina y a partir de los planos hidroquímicos se determinaron las zonas de recarga que más influyen para contrarrestar la intrusión marina y las zonas afectadas por la intrusión.

Para realizar un análisis de la evolución de la intrusión salina desde 1981 hasta la fecha se tuvo en cuenta la interrelación que existe entre los niveles, la lluvia y la explotación, siendo analizada la composición y la variación de los niveles en el espacio – tiempo. Para ello se confeccionaron una serie de planos hidroquímicos y de hidroisohipsas para los períodos secos de los años 1981, 1985, 1987, 1988 y 2010, donde se puede ver la evolución de la concentración de las Sales Solubles Totales en función de la explotación del acuífero y por ende de los niveles de las aguas subterráneas para cinco instantes de tiempo de los últimos 29 años, también fue analizada la relación niveles-lluvia-explotación para los sectores CA-II-1 y CA-II-2, a partir de los datos que se obtuvieron de la empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Ciego de Ávila, no siendo analizado de esta forma el sector CA-II-3 por no haberse presentado, al menos en el período estudiado, intrusión marina en este sector.

METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS

Se realizaron toda una serie de trabajos, tanto de campo como de gabinete, los que permitieron la realización del presente informe. Los principales trabajos ejecutados fueron los siguientes:

Búsqueda y evaluación de material de archivo

Se recopiló información de varios informes hidrogeológicos que abarcaban el área de estudio como son:

1. *Valoración de las condiciones hidrogeológicas al noroeste del poblado de Júcaro para el proyecto de riego de pastos y forrajes vinculado con el cebadero de toros.* Del trabajo de Peutriel et al. (1984) se obtuvo la representación del corte litológico al sur del caserío “Pueblo Nuevo”, lo que permitió un mayor entendimiento de las condiciones geológicas en la zona que normalmente ocurre intrusión marina.

2. *Esquema regional precisado Cuenca Sur de Ciego de Ávila.* Del informe de Valdivia et al. (1985) se obtuvo la información de la distribución de la concentración de Sales Solubles Totales para el período seco de 1985.
3. *Datos de niveles de la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico:* De aquí se obtuvo la profundidad de yacencia de las aguas subterráneas para los años 1981, 1985, 1987 y 1988, a partir de las que se realizaron los correspondientes planos de hidroisohipsas para los períodos secos de cada uno de los años mencionados con anterioridad.
4. *Estudio de factibilidad constructiva del dique sur de Ciego de Ávila.* Del informe de Varela et al. (1989) se extrajo la distribución de la concentración de las sales solubles totales en la cuenca sur para los años 1981, 1987 y 1988.
5. *Esquema para evaluar los recursos subterráneos disponibles en la margen izquierda del canal trasvase Zaza- Ciego para el cultivo de la soya.* Del trabajo de González-Abreu et al. (2010) se obtuvieron los datos de los Gráficos de Control de Balance, explotación y lluvia de los sectores hidrogeológicos CA-II-1 y CA-II-2.

Levantamiento Hidrogeológico

Entre los días 25/03/2010 y 31/03/2010 se realizó un levantamiento donde se censaron un total de 69 puntos para la confección del mapa de hidroisohipsas del período seco de 2010 (figura 7), para una densidad media de 0.12 puntos/km². También en esta etapa se tomaron un total de 113 muestras entre los días 07 y 27 de abril de 2010, para una densidad media de 0.19 puntos/km².

Información Geológica

Esta información se obtuvo a partir del mapa geológico de la República de Cuba a esc. 1:100 000, editado por el Instituto de Geología y Paleontología, y las calas de estudios existentes en la zona, así como estudios geofísicos e hidrogeológicos realizados anteriormente (figura 2).

A partir de la recopilación de los materiales de archivo y de la información obtenida durante los trabajos de campo se pudo establecer la evolución de la situación de la intrusión salina y la variación de los niveles en el tiempo para los años 1981, 1985, 1987, 1988 y 2010. Esta información pertenece a los períodos secos de cada uno de estos años, por lo que refleja las condiciones críticas en cada uno de estos momentos.

DESARROLLO

Según el Mapa Geológico de la República de Cuba a Escala 1:100 000 (figura 2) y las perforaciones ya realizadas en la zona las calizas del Mioceno (Fm Güines) juegan un papel principal en la estructura geológica del territorio ya que son las que conforman el acuífero, las cuales se encuentran recubiertas por sedimentos del Cuaternario pertenecientes a las Formaciones Guevara y los depósitos palustres del Holoceno Tardío, formando estos, últimos al este del área cierto apantallamiento a la intrusión marina, lo que hace que el acuífero en esta zona se comporte prácticamente como cerrado, mientras que en la mitad occidental del área se comporta como abierto.

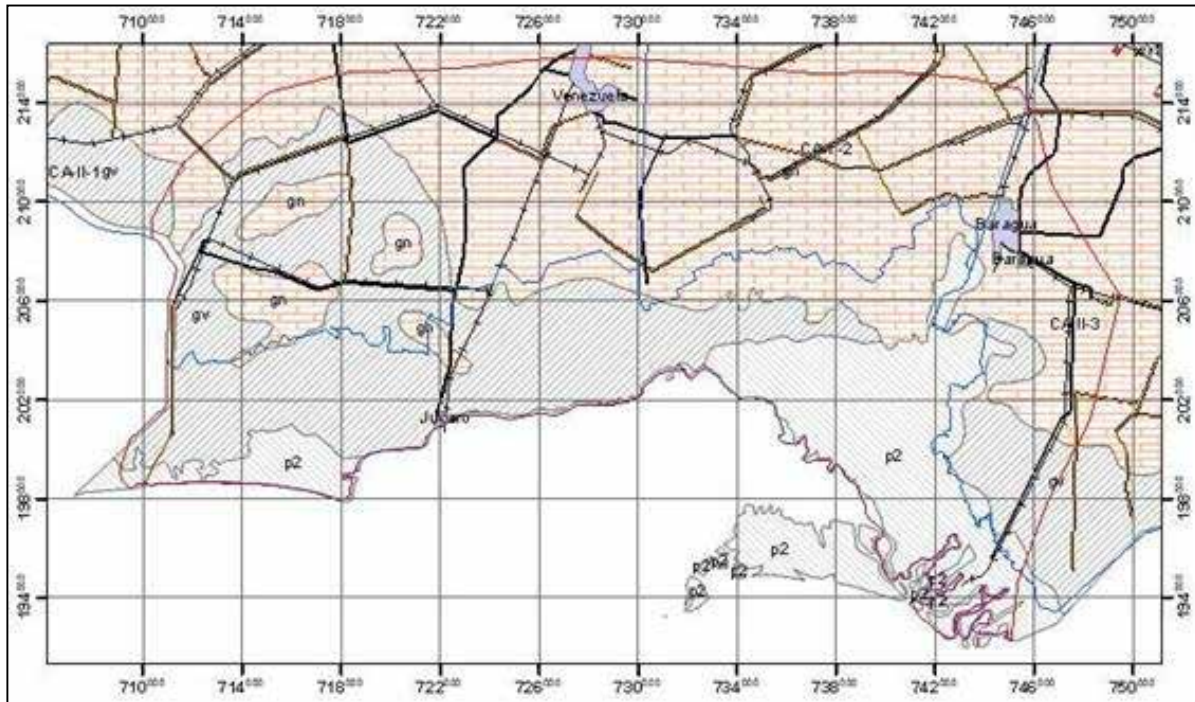


Figura 2. Mapa geológico del área de estudio gn Formación Guines gv Formación Guevara p2 Depósitos Palustres

El área de estudio abarca la parte sur de los sectores CA-II-1 y CA-II-2, así como la parte suroccidental del sector CA-II-3, en la parte correspondiente al primero de los sectores antes mencionados las rocas presentan altos valores de transmisibilidades, de hasta $30000 \text{ m}^2/\text{d}$, al suroeste de La Ofelia, disminuyendo estos valores, a medida que se avanza hacia el sur y el este, hasta alrededor de los $7000 \text{ m}^2/\text{d}$. En caso de la conductividad hidráulica sucede lo mismo que la variable anterior con valores que oscilan entre 600 m/d y 50 m/d respectivamente.

El área estudiada correspondiente al sector CA-II-2 presenta en la mitad oriental valores de transmisibilidad que oscilan 1500 y $5000 \text{ m}^2/\text{d}$, mientras que en la parte occidental estos valores varían de 5000 a $11000 \text{ m}^2/\text{d}$, pudiendo alcanzar valores superiores a este último al noroeste del área en este sector.

En el caso de la conductividad hidráulica sucede de forma similar a la variable anterior con valores entre 20 y 100 m/d en el caso de la porción oriental mientras que la occidental alcanza valores de 100 a 600 m/d , superando este último en la porción noroccidental. Por último en la parte del área correspondiente al sector CA-II-3 se puede apreciar que al norte del poblado de Baraguá los valores de transmisibilidad no superan los $7000 \text{ m}^2/\text{d}$, mientras que al sur de este se encuentran entre 7000 y $15000 \text{ m}^2/\text{d}$, variando los valores de conductividad hidráulica entre 20 y 100 m/d al norte, mientras que al sur se encuentran entre 100 y 600 m/d .

En este trabajo se tomó como línea base el año 1981 pues, aunque solo se posee el gráfico de control de balance (GCBAS) del sector CA-II-1 (para esa fecha), se puede decir que el acuífero se encontraba en la zona de entrega garantizada, con un nivel de las aguas inferior al valor medio

ya que en los años 1980 y 1981 se extrajeron volúmenes de 117 y 119 hm³ respectivamente, valores similares al recurso explotable que se había evaluado en aquel momento (119 hm³) y superiores al recurso evaluado en la actualidad (109 hm³), dejando a fines del período seco de 1981 un recurso explotable disponible de alrededor de 72 hm³.

En el plano de hidroisohipsas del período seco de 1981 (figura 3) se puede apreciar la situación espacial de los niveles en el área estudiada, observándose que alrededor de 16 km al suroeste del poblado de Venezuela, en los alrededores del poblado La Susana, una depresión de los niveles, cuestión esta que se repite a unos 8.0 km al sureste del poblado de Venezuela, en los alrededores del caserío El Alba, y a unos 5.4 km al norte de Júcaro, en los alrededores del cruce de Gato Prieto.

Estas depresiones de los niveles en estas zonas se reflejan las Sales Solubles Totales de 1981 con un pequeño frente de avance de la intrusión marina unos 4.0 km al norte del poblado de Júcaro, alrededor de 1.2 km al sur del cruce de Gato Prieto y a unos 11.0 km al sureste del poblado de Venezuela, al sur de la zona de Palenque.

A pesar de lo antes expuesto se puede afirmar que la línea del gramo no sobrepasaba el límite sur de los sectores hidrogeológicos, a excepción del pequeño frente de avance que se encuentra al norte de Júcaro que avanza aproximadamente 1.0 km en una pequeña porción del sector CA-II-1.

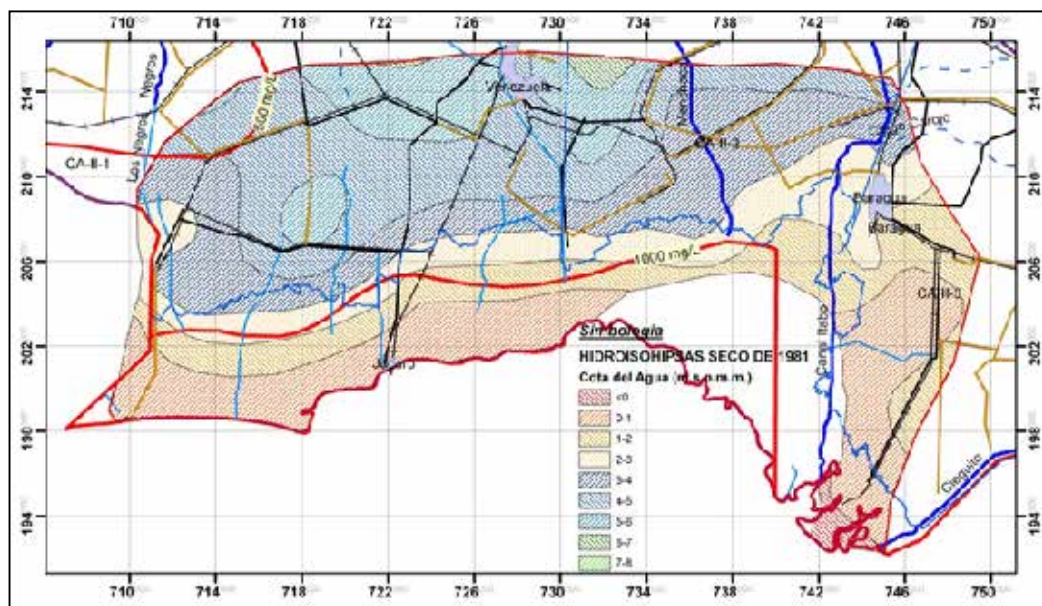


Figura 3. Hidroisohipsas y Sales Solubles Totales período seco de 1981

En 1982, con una lluvia inferior a la media en los dos sectores, se extrajo el recurso explotable que quedaba disponible, quedando así el acuífero en la zona de entrega restringida, al menos en el sector CA-II-1, por lo que se estima que este es el momento en el que comienza a avanzar más rápidamente la curva del gramo, ya que disminuye el nivel de las aguas subterráneas, el gradiente

de estas y por ende la descarga del acuífero que es capaz de contener el flujo de agua salada tierra adentro.

En 1985 ambos sectores (CA-II-1 y CA-II-2) se encontraban en la zona de entrega restringida, zona en que se encontraban desde 1982 debido a que las precipitaciones eran muy escasas y los valores de explotación elevados con respecto al recurso explotable disponible.

Como se puede apreciar en el plano de hidroisohipsas del período seco de 1985 (figura 4) al sur del poblado de Sanguily, al norte del poblado de Venezuela, y alrededores, y unos 9.0 km al este de Venezuela se producen extracciones que abaten los niveles hasta 1.0 m tierra adentro, con respecto a 1981, disminuyen el gradiente hidráulico y provocan inversión del flujo en la zona al este de Venezuela y en las inmediaciones del poblado La Ofelia, unos 9.0 km al oeste de Venezuela.

Todo lo antes expuesto disminuye la descarga del acuífero y provoca que la intrusión marina avance tierra adentro, llegando a encontrarse la curva del gramo en el caserío Tío Pedro, a unos 2.0 km al sureste de Venezuela, avanzando además hasta las cercanías del caserío de Pueblo Nuevo, unos 6.6 km al noroeste del poblado de Júcaro.

Según el plano de hidroisohipsas del período seco de 1987 (figura 5) se observa una recuperación en la zona que se encuentra a unos 9.0 km al este de Venezuela, ascendiendo, desde 1985, los niveles, los que se mantuvieron en la zona de entrega garantizada a pesar de que la lluvia media de este sector se mantuvo durante este tiempo por debajo de la media y los valores de explotación eran superiores entre 1.4 y 1.47 veces el valor del recurso explotable evaluado para aquel momento (90 hm^3) y entre 1.52 y 1.59 veces el recurso explotable evaluado en la actualidad (83 hm^3) y mucho más el recurso explotable disponible en ese momento.

Esto sugiere que el río Itabo, y quizás otros arroyos, representan un valor de recarga para el sector CA-II-2. Siguiendo el análisis del plano de hidroisohipsas se evidencia que continúan deprimiéndose los niveles al sur de Venezuela y a unos 9.2 km al oeste de este mismo poblado, al norte del caserío La Ofelia, presentándose en este último una inversión del flujo que provoca que la intrusión marina avance más hacia esta zona, desviándose de la zona de Tío Pedro, antes mencionada, hacia el caserío La Caoba, a unos 2.9 km al suroeste de Venezuela, también se observa un ligero avance de la curva del gramo, con respecto al año 1985, en la zona de Pueblo Nuevo, unos 6.8 km al noroeste de Júcaro.

La depresión de los niveles en estas zonas se debe fundamentalmente a que los niveles medios en el sector hidrogeológico CA-II-1 se encontraban en el gráfico de control de balance en la zona de entrega restringida, zona de la que no habían salido los niveles desde 1983 que ocurrió la caída de los niveles en esta zona, con lluvias acumuladas predominantemente por debajo de la media y valores de explotación real que superaban no menos de 1.28 a 1.36 veces el valor del recurso disponible calculado para ese momento.

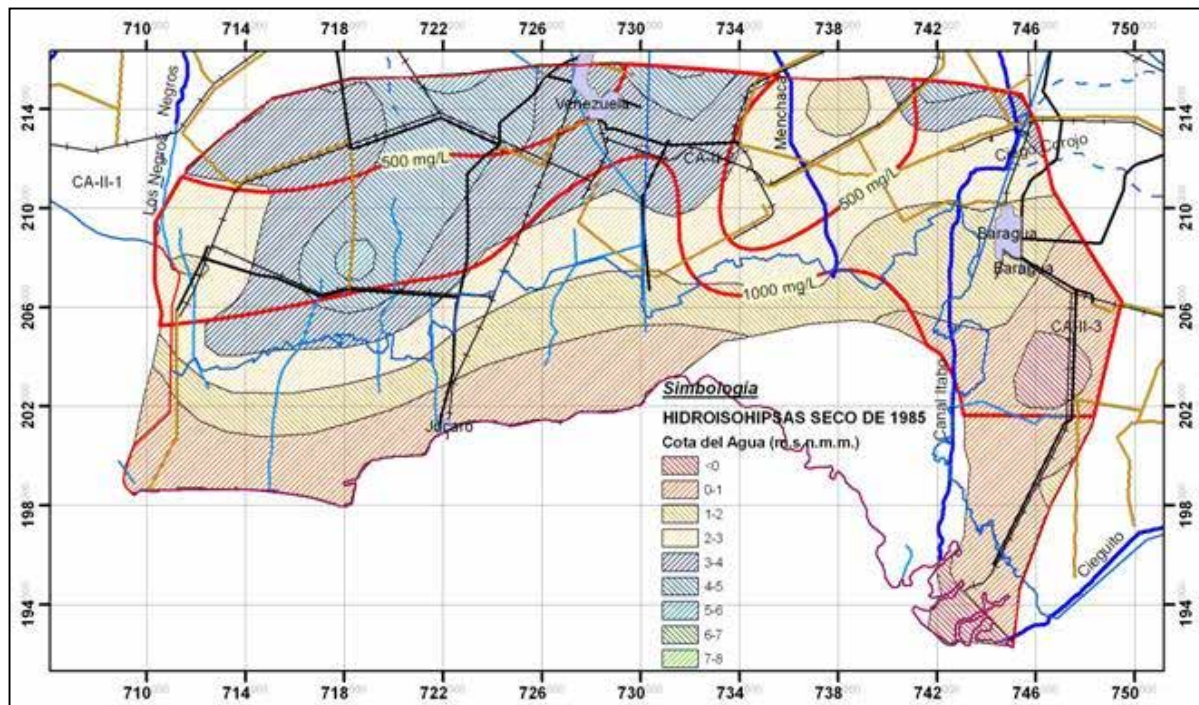


Figura 4. Hidroisohipsas y Sales Solubles Totales período seco de 1985

En el período seco de 1988 se puede observar un ligero ascenso de los niveles, comparado con igual período del año anterior, en la parte norte-central del sector hidrogeológico CA-II-1, mientras que al centro – sur del sector CA-II-2 se observa que los niveles descienden con respecto a igual período del año anterior.

En el primer caso el ascenso de los niveles, en la zona antes mencionada, puede deberse en cierta medida a la ligera disminución de la explotación en este sector y a cierta recarga a través del arroyo que cruza al este del poblado de Sanguily y termina en una depresión cársica en el caserío La Ofelia, unos 8.0 km al oeste de Venezuela, pero debe destacarse que para este sector el valor del nivel medio es inferior al año anterior, debido a que a pesar del ascenso de los niveles en la zona antes mencionada, al oeste de dicha área continuaron deprimiéndose los niveles.

Este ascenso de los niveles en la zona centro – norte del área, correspondiente al sector CA-II-1, provocó un ligero incremento de la descarga del acuífero que hizo retroceder la curva del gramo (figura 6) de unos 3.0 km al suroeste de Venezuela, en las cercanías del cruce La Caoba, a unos 5.6 km al sureste de Venezuela, aproximadamente a 1.7 km al norte de La Rosa Liberal, mientras que en los alrededores de Pueblo Nuevo, unos 6.0 km al noroeste de Júcaro, la curva del gramo se mantuvo prácticamente estable.

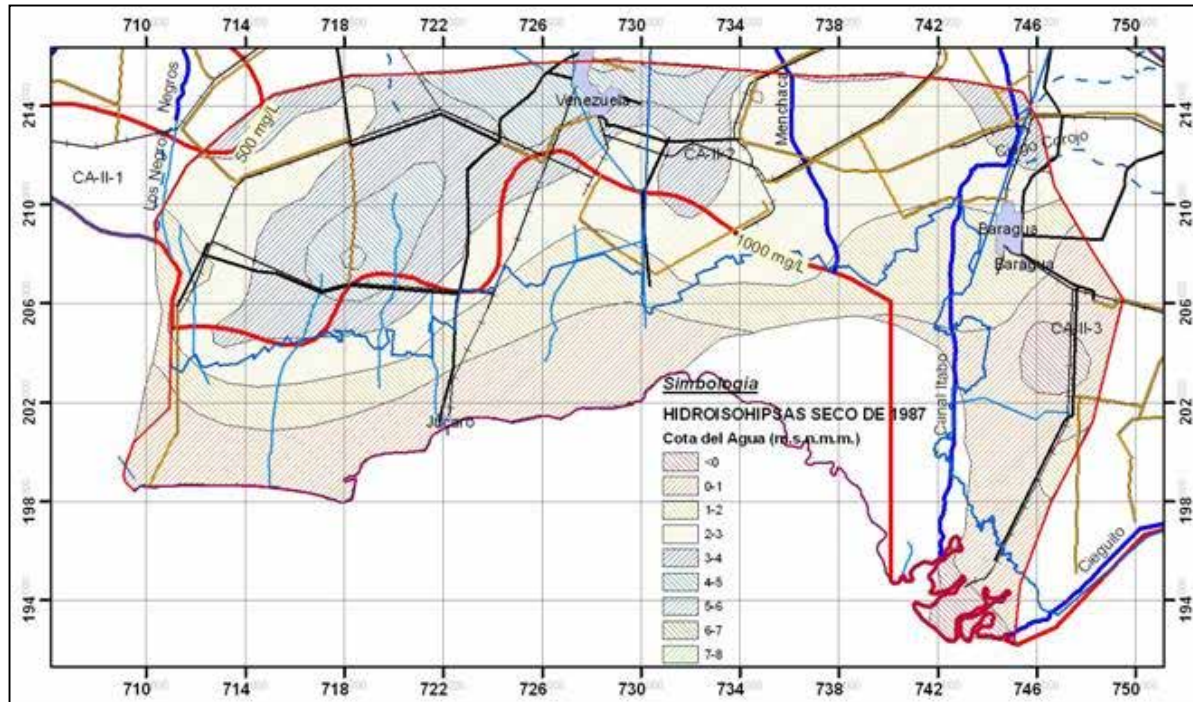


Figura 5. Hidroisohipsas y Sales Solubles Totales período seco de 1987

A partir de 1988, que fue un año muy húmedo, los niveles ascendieron quedando ambos sectores en la zona de entrega garantizada, disminuyendo la explotación a partir de 1990 e incrementándose las lluvias por encima de su valor medio histórico hiperanual, reflejándose esto en que los niveles se mantuvieron en la zona de entrega garantizada hasta el 2005, año en que hubo un déficit de las precipitaciones y los niveles descendieron, oscilando el sector CA-II-2 de la zona de entrega restringida a la zona de entrega garantizada en función de las precipitaciones, mientras que el sector CA-II-1 se ha mantenido desde 1988 hasta la fecha en la zona de entrega garantizada.

Debe señalarse que en ambos sectores se observa, a partir del año 2000, una tendencia a incrementarse la explotación.

A partir del sondeo y la batimetría que se realizaron a finales del período seco de 2010 se pudo determinar que para el sector CA-II-1 la distribución de las cotas de las aguas subterráneas (figura 7) es muy similar al hidroisohipsas del período seco de 1981 (figura 3).

El nivel medio se encuentra alrededor de los 18.22 m, en la zona de entrega garantizada; valor muy similar al nivel medio de este sector en el período seco de 1981; con una tendencia fuerte, los últimos tres años, al descenso de los niveles.

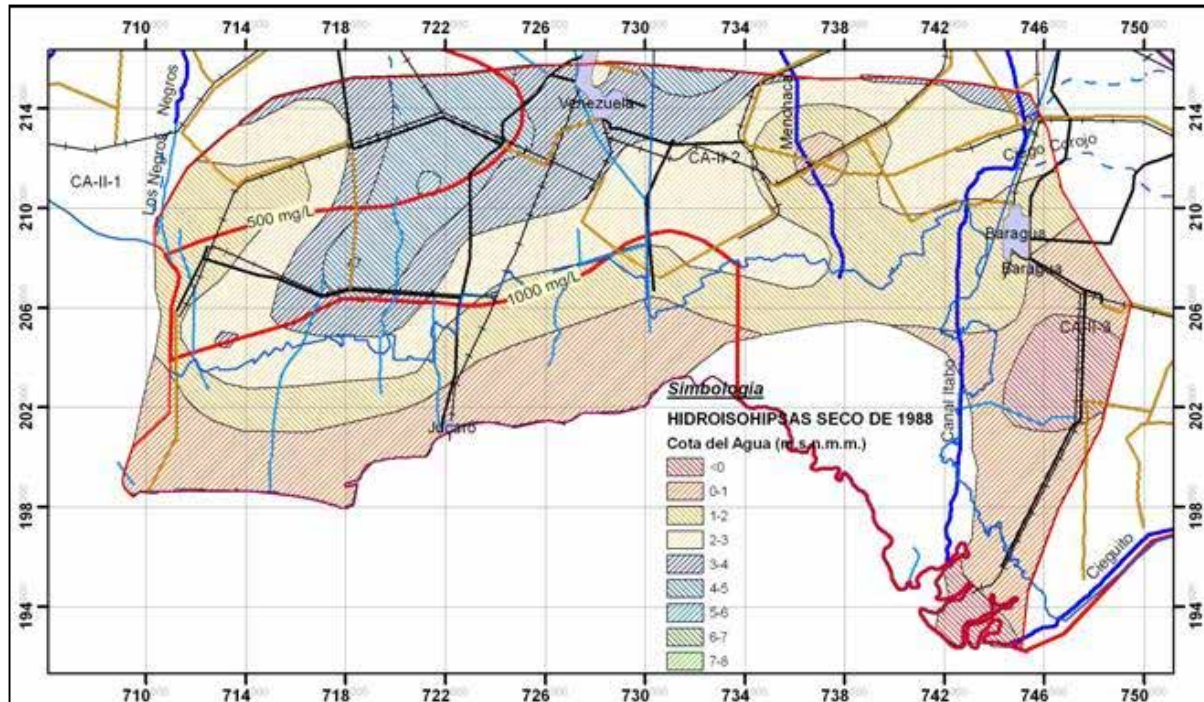


Figura 6. Hidroisohipsas y Sales Solubles Totales período seco de 1988

En el plano de hidroisohipsas del período seco de 2010 (figura 7) se aprecia que las cotas de las aguas subterráneas son inferiores a las que se observan en el hidroisohipsas de 1981 (figura 3), observándose, en el sector hidrogeológico CA-II-2, una profundidad media del agua en el período seco de 2010 alrededor de los 8.68 m, en la zona de entrega restringida, siendo el valor medio de la misma para el período seco de 1981 de 6.96 m, valor que lo situaba en la zona de entrega garantizada, por lo que se puede afirmar que este sector se encuentra deprimido con respecto al momento que se tomó como línea base (período seco de 1981), debiéndose tomar medidas para garantizar su recuperación ya que se estima no puede garantizar un recurso explotable, en la situación actual, superior a 27 hm³, valor que representa alrededor del 33 % del recurso explotable para el que fue evaluado este sector.

Una vez realizado el análisis de los niveles y la explotación de los dos sectores antes mencionados se procede a analizar la hidroquímica del área de estudio a partir del plano de Sales Solubles Totales del período seco de 2010 (figura 7), concluyendo que la curva del gramo se encuentra a unos 7.0 km al sur – sureste del poblado de Venezuela, en las cercanías de la zona donde se encontraba La Rosa Liberal y se extiende al oeste de este punto por unos 4.0 km con tendencia de moverse hacia el poblado de Venezuela, El Macizo Cañero (unos 5.6 km al suroeste del poblado de Venezuela) y hacia la localidad de Pueblo Nuevo (unos 6.9 km al noroeste de Júcaro).

Debe destacarse la posibilidad de la aparición de la intrusión salina en forma de domo, justo al sur de la ciudad de Venezuela y unos 3.4 km al este de esta, por aparecer en algunos puntos de muestreo una concentración de Sales Solubles Totales de 902 mg/L.

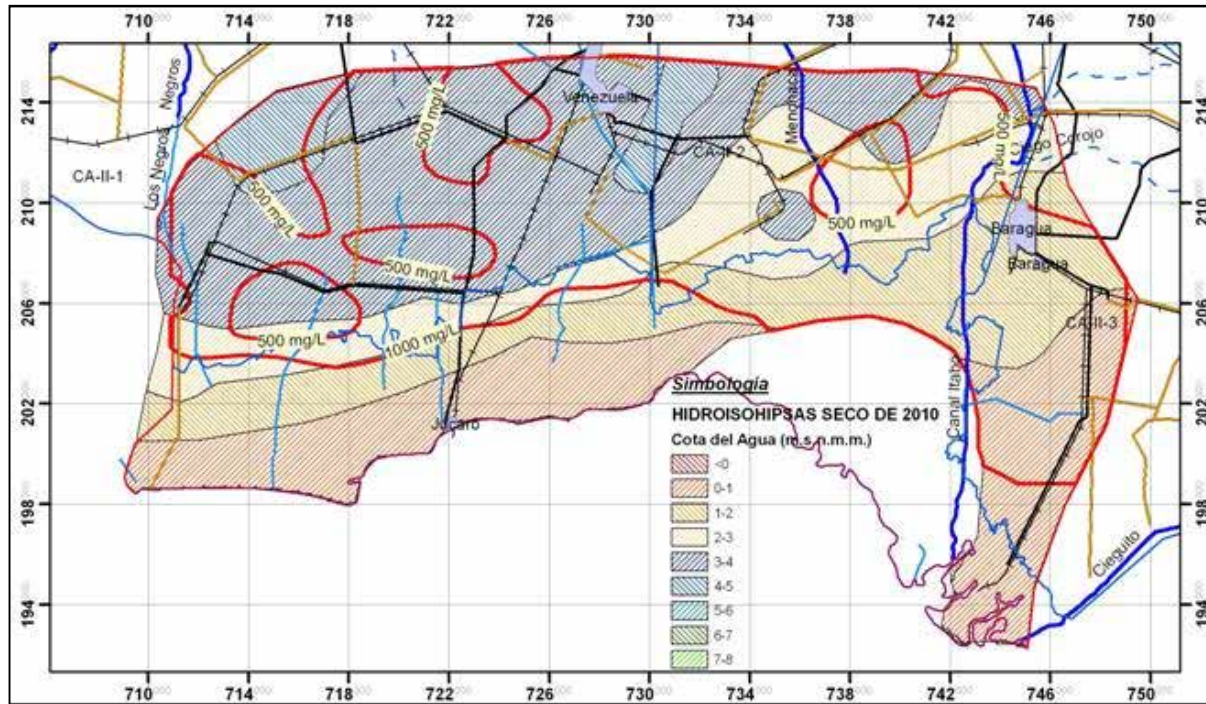


Figura 7. Hidroisohipsas y Sales Solubles Totales período seco de 2010

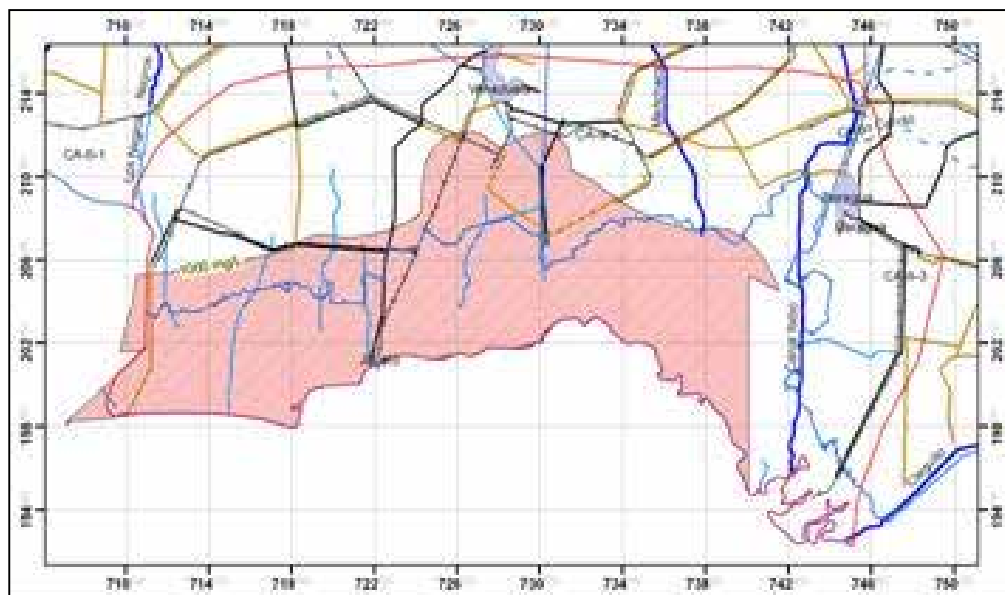


Figura 8. Máximo alcance de la curva del gramo (Período 1981-2010)

Hasta el momento se ha observado la situación de la intrusión marina en cinco instantes de tiempo (1981, 1985, 1987, 1988 y 2010) de forma conjunta con los niveles y la explotación. De la situación de la intrusión para cada uno de los instantes de tiempo se obtuvo un plano de Máximo Alcance de la Curva del Gramo (figura 8), donde se reflejan de forma sombreada todas las áreas que han sido afectadas al menos una vez en los últimos 29 años.

El hecho de que en dicho plano aparezcan áreas que no se han visto afectadas por la intrusión marina en este intervalo de tiempo no implica que en un futuro no se puedan afectar pues esto depende de las condiciones hidrodinámicas del acuífero, el régimen de lluvias y el régimen de explotación, así como de las condiciones objetivas y subjetivas que garanticen una vigilancia de este fenómeno que permita detenerlo a tiempo.

CONCLUSIONES

1. El área estudiada se encuentra en la zona centro sur de los sectores CA-II-1 y CA-II-2.
2. Es evidente que el período estudiado (la década de los 80) es el período más crítico para esta cuenca respecto a la intrusión marina ya que las precipitaciones se encontraban frecuentemente por debajo de la media y la explotación era intensa.
3. En la actualidad la curva del grammo se encuentra a unos 7.0 km al sur – sureste del poblado de Venezuela, en las cercanías de la zona donde se encontraba La Rosa Liberal y se extiende al oeste de este punto por unos 4.0 km con tendencia de moverse hacia el poblado de Venezuela, hacia el Macizo Cañero (unos 5.6 km al suroeste del poblado de Venezuela) y hacia la localidad de Pueblo Nuevo (unos 6.9 km al noroeste de Júcaro).
4. A pesar de que la intrusión marina ha avanzado tierra adentro hasta las cercanías del poblado de Venezuela ésta ha retrocedido (al menos en superficie) cuando se incrementan las cargas hidráulicas del acuífero producto de la recarga, lo que evidencia una capacidad de respuesta rápida del acuífero siempre y cuando se controle de forma racional la explotación.
5. La descarga del río Itabo al suroeste de Baraguá provoca cierto apantallamiento al acuífero y de cierto modo impide el avance de la intrusión marina por esta zona.
6. La recarga al acuífero que ocurre a través de la red hidrográfica y sistemas cársicos presentes en el área es esencial, pues no solo es la fuente de obtención del recurso explotable sino que con el incremento del gradiente hidráulico, que por ende incrementa la descarga del acuífero, impide o frena el avance de la intrusión marina.
7. En los últimos tres años se observa una tendencia marcada al descenso de los niveles producida principalmente por el decrecimiento de las lluvias en este período, cuestión que aún persiste en la actualidad.
8. La profundidad media del agua en el sector CA-II-1, para el período seco de 2010, presenta un valor de 18.22 m, valor muy similar al que presentaba en el período seco de 1981 (18.23 m).
9. En el período seco de 1988 se registró el valor más crítico de la profundidad de yacencia media de las aguas subterráneas dentro del sector CA-II-1 con un valor de aproximadamente 20.02 m.

10. Para una profundidad media de yacencia, sin haber ocurrido previa infiltración, superior a 18.22 m, la intrusión marina comienza a penetrar dentro del sector hidrogeológico CA-II-1, pudiendo avanzar en la parte suroccidental del CA-II-2 si éste se encuentra en la zona de entrega restringida.
11. Aproximadamente la mitad oriental del sector hidrogeológico CA-II-2 funciona como un acuífero cerrado debido a la presencia del pequeño humedal que se encuentra al sur y la recarga producida por el río Itabo. Debe destacarse que cuando el CA-II-1 se encuentra en la zona de entrega garantizada el sector CA-II-2 se comporta casi como un acuífero cerrado.
12. El sector CA-II-1, al menos en la zona estudiada, funciona completamente como un acuífero abierto al mar, ocurriendo la mayoría de las intrusiones marinas a través de éste y de la parte occidental del CA-II-2 cuando el primero se encuentra en la zona de entrega restringida.

REFERENCIAS

- Cabrera, G. J. y Catasús, S.** (2009). “El Caribe y el cambio climático”, Novedades en Población, Año 5, Número 9. <http://www.cedem.uh.cu/Revista/portada.html>
- Fetter, C. W.** (2001). “Applied Hydrogeology”, Prentice Hall, Fourth Edition.
- González-Abreu, R.** (2010). “Esquema para evaluar los recursos subterráneos disponibles en la margen izquierda del canal trasvase Zaza- Ciego para el cultivo de la soya”, Empresa de Aprovechamiento Hidráulico, Ciego de Ávila.
- IPCC** (2007). “Informe del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático”, ONU, http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf
- Peutriel, A.** (1984). “Valoración de las condiciones hidrogeológicas al noroeste del poblado de Júcaro para el proyecto de riego de pastos y forrajes vinculado con el cebadero de toros”, Centro de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos, Ciego de Ávila.
- Valdivia, L.** (1985). “Esquema regional precisado Cuenca Sur de Ciego de Ávila”, Centro de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos, Ciego de Ávila.
- Varela, J. y Freyre, N.** (1989). “Estudio de factibilidad constructiva del dique sur de Ciego de Ávila”. Empresa de Hidroeconomía, Camagüey.