

Recursos hidráulicos subterráneos: observaciones sobre su evaluación y gestión en Cuba

INTRODUCCIÓN

Por mucho tiempo se ha considerado a los especialistas que trabajan en la rama de la hidrogeología como brujos, por dedicarse al estudio de un sistema no visible pero que está ahí, con unos recursos hidráulicos altamente valorados por su calidad y garantía, cuando no hay disponibilidad de fuentes de aguas superficiales o cuando estas se han agotado en determinadas momentos.

El desarrollo de las nuevas tecnologías y en particular la modelación matemática, ha permitido al hombre profundizar en el conocimiento en todos los campos de las actividades humanas y la hidrogeología no ha estado exenta, pero en Cuba no siempre se ha valorado adecuadamente sus potencialidades y posibilidades para dar respuesta no solo a problemas relacionados con obras ingenieras, sino también al conocimiento de los sistemas acuíferos, su funcionamiento hidrodinámico, sus recursos y su gestión sustentable a largo plazo.

Los conceptos y definiciones relativos a las reservas y recursos hidráulicos subterráneos ampliamente tratados en el libro de [Pérez Franco 2001], así como los métodos utilizados para sus evaluaciones. En la mayoría de los casos las principales limitaciones se encuentran en: imposibilidad de integrar la insuficiente, deficiente e incompleta base de datos y que al mismo tiempo obliga a la utilización de hipótesis simplificadoras que homogenizan grandes extensiones en cuanto a propiedades, condiciones de estado, alimentación, etc.

El objetivo de este trabajo es reflexionar sobre una herramienta desarrollada y aplicada en nuestro país por más de dos décadas y que su importancia no ha logrado ser interiorizada adecuadamente para ser utilizada de forma sistemática en la gestión de los recursos hidráulicos subterráneos. Es frecuente oír hablar a muchos especialistas del sistema del INRH del estado de las fuentes de abasto subterráneas en términos de volúmenes de agua disponi-

Resumen / Abstract

La evaluación de recursos hidráulicos subterráneos es una tarea compleja e importante para el manejo sustentable de acuíferos. En este trabajo se alerta sobre la imprecisión de los métodos convencionales para evaluar recursos en acuíferos y por ende su inadecuado manejo. También se muestra el empleo de herramientas novedosas como la modelación matemática para realizar dicha evaluación y al mismo tiempo, apoyada en ella, mejorar los planes de asignación de dichos recursos con diferentes horizontes de planeamiento y aplicando políticas de explotación óptima. Se ilustra un procedimiento para evaluar recursos utilizando la tecnología AQÛIMPE, desarrollada en Cuba y aplicada en algunos acuíferos cubanos, no solo para el manejo de recursos, sino también evaluando la respuesta del acuífero ante determinadas obras de ingeniería.

Palabras clave: acuíferos, hidrogeología, agua subterránea, recursos hidráulicos subterráneos, modelación matemática de acuíferos.

The assessment of groundwater resources is a highly complex and very important task for sustainable management of aquifers. This paper is intended to warn about inaccuracy of conventional methods for assessing resources of major aquifers and its consequent inadequate management. Also shown is the possibility of using new tools that include groundwater modeling for such assessment. Mathematical modeling can improve allocation plans of these resources under different planning horizons and even applying optimal operational policies. The paper illustrates a procedure for assessing groundwater resources using AQÛIMPE technology. This technology was developed in Cuba and applied in some Cuban aquifers, with the aim of managing not only these resources but also to assess the response of the aquifer to certain engineering works.

Keywords: aquifers, hydrogeology, groundwater, groundwater resources, groundwater modeling.

ble o de recursos evaluados para determinados tramos hidrogeológicos con un grado de precisión a partir de estudios realizados hace varias décadas y por métodos con las limitaciones antes señaladas, que para aquellos que conocen algo del tema resultaría cuestionable.

El conocimiento del sistema acuífero como se dijo anteriormente, siempre será incompleto, pero la información disponible permitirá conformar un modelo conceptual que con las herramientas actuales de la modelación matemática permitirá mejorar la evaluación de su comportamiento hidrodinámico y por tanto sus capacidades de almacenamiento y entrega de acuerdo con las condiciones de estado y a los pronósticos de alimentación y explotación o corto, mediano o largo plazo.

DEFINICIONES DE TÉRMINOS

En primer lugar se presentan algunos conceptos y términos según [Pérez Franco 2001], y que se resumen de la siguiente manera:

♦ *Reserva*, la cantidad de agua almacenada en el acuífero que puede drenar por la acción de la gravedad, o sea, la parte del volumen de saturación que no queda adherida de una u otra formas a las partículas en el proceso de extracción del agua. Las reservas se expresan en unidades de volumen y equivalen al producto del volumen de la estructura del acuífero y su porosidad efectiva.

♦ *Los recursos*, representan el volumen de agua disponible para la explotación. Se expresan en unidades de caudal (volumen por unidad de tiempo), es decir, m^3/s , millones de metros cúbicos por año, etc. Los recursos dependen directamente de la alimentación del acuífero por medios naturales o artificiales.

♦ *Los recursos naturales* corresponden a la alimentación del acuífero en condiciones naturales (a causa de la precipitación atmosférica, a los aportes desde otros acuíferos y a la afluencia natural desde ríos y lagos).

♦ *Los recursos artificiales* como la alimentación causada por la filtración desde canales, estanques, áreas de irrigación, o bien a consecuencias de medidas dirigidas a reforzar la alimentación.

♦ *Los recursos atraídos*, según Bindeman, son aquellos que se añaden a consecuencia de la explotación del acuífero, como el aumento del aporte de los ríos por efecto de la extensión del cono de abatimiento de las obras de captación y el aumento del aporte de las precipitaciones atmosféricas, a consecuencia de la disminución de la evaporación por el descenso del nivel freático de las aguas subterráneas con la explotación.

♦ *Los recursos de explotación*, cantidad de agua subterránea que se puede obtener racionalmente desde el punto de vista técnico-económico, en las obras de captación mediante equipos con régimen estable de explotación, con la calidad que satisfaga los requisitos establecidos durante todo el tiempo calculado de utilización del agua.

OBSERVACIONES SOBRE LA EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS HIDRÁULICOS SUBTERRÁNEOS EN CUBA

Después del triunfo de la Revolución y fundamentalmente durante las décadas del 70 y 80 del siglo pasado, empresas que pertenecían al actual Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos y con el apoyo de especialistas de países del desaparecido Campo Socialista, realizaron estudios hidrogeológicos de los principales acuíferos cubanos.

Estos estudios permitieron elaborar los denominados Esquemas Regionales Precisados y mediante estos se hicieron evaluaciones de los recursos hidráulicos subterráneos de estos acuíferos y que en la actualidad se siguen utilizando como si fueran verdades absolutas.

Entre las principales limitaciones que han tenido los métodos que se han aplicados para evaluar los recursos hidráulicos subterráneos se pueden enumerar las siguientes:

- a) Insuficiente conocimiento del sistema acuífero.
- b) Bases de datos escasa, incompleta y dispersa.
- c) Hipótesis simplificadoras del sistema real para poder aplicar métodos analíticos, como la de considerar al acuífero homogéneo en cuanto a sus propiedades hidrogeológicas, geométricas y capacidades de recarga.
- d) Carencia de tecnologías para la adquisición, procesamiento e integración espacial y temporal de las bases de datos.

Para ilustrar lo anterior, se puede mencionar al método de Bindeman, como el más utilizado y que parte de estimar la recarga o infiltración neta, a partir de las oscilaciones del nivel de las aguas subterráneas en puntos aislados del acuífero y suponer un coeficiente de almacenamiento, representativo de todo el acuífero, parámetro pobremente evaluado en estos acuíferos y que en los casos donde se dispone, cabe la posibilidad que no se haya interpretado adecuadamente la prueba de bombeo, al no considerar el efecto que tiene el régimen no lineal de flujo en los alrededores de los pozos de bombeo, memorias del congreso de la IAHR, [Hernández, 2008].

LOS MODELOS MATEMÁTICOS REGIONALES DE ACUÍFEROS Y LA DETERMINACIÓN DE SUS RECURSOS HIDRÁULICOS

Durante el desarrollo de su tesis doctoral, [Hernández 1991], propuso un procedimiento para evaluar los recursos hidráulicos subterráneos utilizando el modelo del acuífero. Este método fue aplicado por primera vez en el acuífero del norte de la provincia de Ciego de Ávila, en el modelo denominado CIRO y que se ilustra en las figuras 1 y 2 de los casos de aplicación y que consiste en lo siguiente:

Cálculo de los Recursos de Equilibrio con el modelo de simulación

Para lograr esto se emplea el modelo de simulación utilizando el criterio de que al final de una serie de años, de igual comportamiento, se obtenga el mismo volumen que a su inicio, equivalente al concepto de rendimiento seguro de la escuela norteamericana. Para obtener estos recursos se sigue el siguiente procedimiento:

- Calcular la recarga debido a la lluvia para el año de la probabilidad deseada.
- Determinar en espacio y tiempo el comportamiento anual de la explotación de un año arbitrario.
- Definir el comportamiento de las condiciones de contorno.
- Efectuar corridas del programa de simulación suponiendo que durante 5 años consecutivos se produce la misma explotación y recarga anual antes determinada.

A manera de ilustración del procedimiento propuesto se detalla el procesamiento a realizar en un acuífero.

Estimados de la recarga producto de la lluvia

Para seleccionar las posibles lluvias para calcular su recarga en el pronóstico de explotación de un año, o series de años, se procede como sigue: los valores de la lluvia anual o por intervalos establecidos se ordenan en forma descendente; a partir de este ordenamiento se calculan las probabilidades empíricas de sobrepaso que le corresponden a cada una de ellas, por ejemplo, según la fórmula 1, de Chegodayev sería:

$$P = \frac{(m-0.3)}{(n+0.4)} * 100 \dots\dots(1)$$

donde: **m**, número de orden de cada término
n, total de años de la serie.

Entonces, al año seleccionado de la probabilidad deseada se le determina la recarga al acuífero a partir de la lluvia diaria y por zonas de acuífero aplicando métodos de balances hídricos de suelo, modelos hidrológicos determinísticos o métodos basados en las fluctuaciones de los niveles de las aguas subterráneas.

Corridas del programa de computación

Los resultados de las corridas del modelo de simulación permitirán representar gráficamente el comportamiento de los volúmenes en el acuífero, los cuales generan una función periódica.

A esta función se le puede determinar un eje o recta sobre el que se desarrolla, la cual tendría una pendiente positiva o negativa en dependencia de si la explotación es inferior o superior a la recarga del año seleccionado.

Recursos hidráulicos subterráneos

Los recursos hidráulicos subterráneos de la probabilidad seleccionada se determinan por la fórmula 2:

$$Rec_p = Exp_a + \Delta a \dots\dots(2)$$

donde: Exp_a representa la explotación utilizada

Δa es la pendiente con su signo del eje de la función periódica generada.

Los recursos así obtenidos garantizan el equilibrio entre la recarga anual y la explotación de cualquier año, o conjunto de años, a los que se denominará recursos de equilibrio, Rec_p .

Condiciones de contorno

En el caso de regiones con fronteras permeables las entradas y salidas por dichos contornos serán función del volumen almacenado en el acuífero, por lo que los recursos disponibles no sólo dependerán de la recarga del año seleccionado, sino también de la explotación a que sea sometido el acuífero.

Tres aspectos influyentes en los recursos disponibles de cada año son:

- a) La probabilidad de sobrepaso del año utilizado para el cálculo de la recarga al acuífero. Aumentan los recursos según disminuye la probabilidad.
- b) Se obtiene también un ligero aumento de los recursos con el incremento de la explotación ya que si se reduce el volumen del acuífero debe disminuir la descarga del mismo, o aumentar las entradas por los contornos permeables.
- c) Un estado favorable del acuífero al inicio del período permite mayor garantía en la entrega del recurso hídrico y al mismo tiempo ese estado de cargas superior determinará una mayor descarga del mismo.

EJEMPLOS DE APLICACIÓN DE CÁLCULO DE RECURSOS

Los resultados que a continuación se muestran, forman parte de los resultados de un informe técnico de un proyecto recientemente concluido, [Cabrera et. al. 2009] y también se incluyen en la tesis doctoral, [Cabrera 2009].

En este caso como el contorno de descarga con cota fija, representa al dique sur, no se consideran como recursos las entradas por este contorno, que pudieran ser de la ciénaga o de agua salada del mar, por tal motivo no se consideran.

Aplicación al modelo del acuífero CIRO

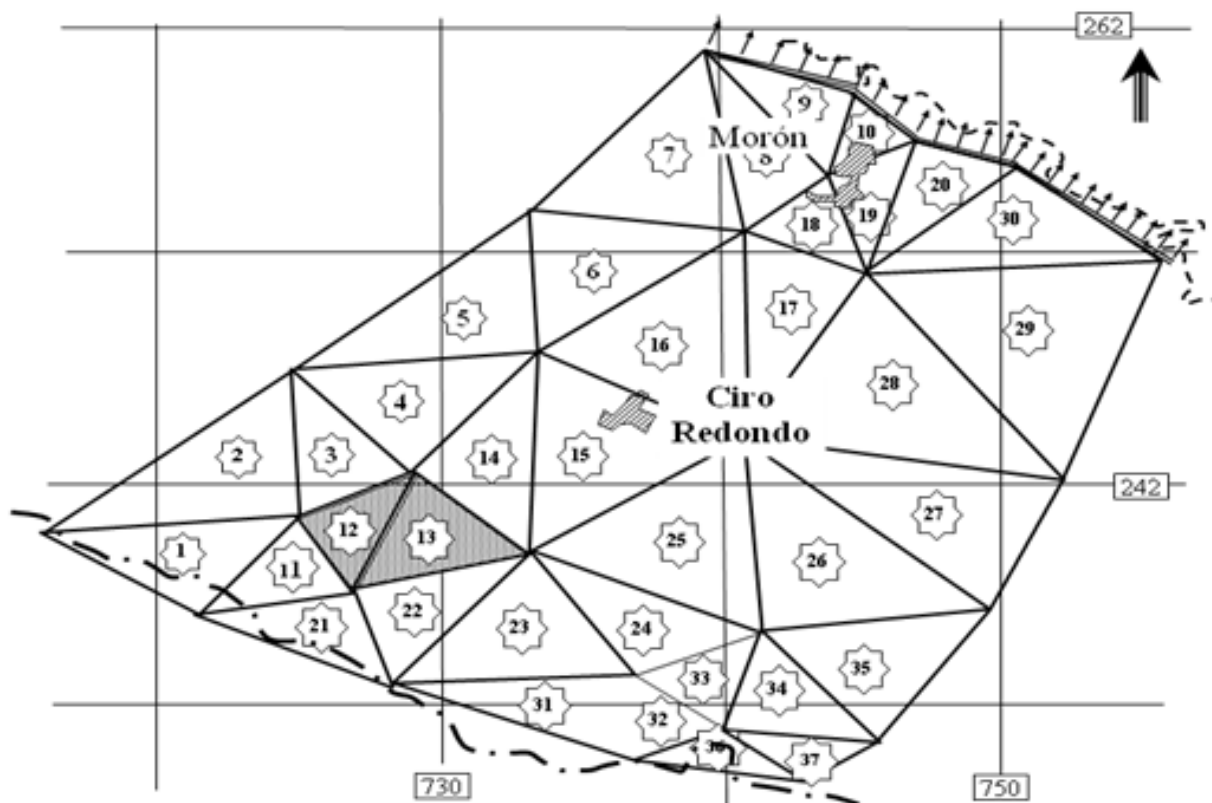
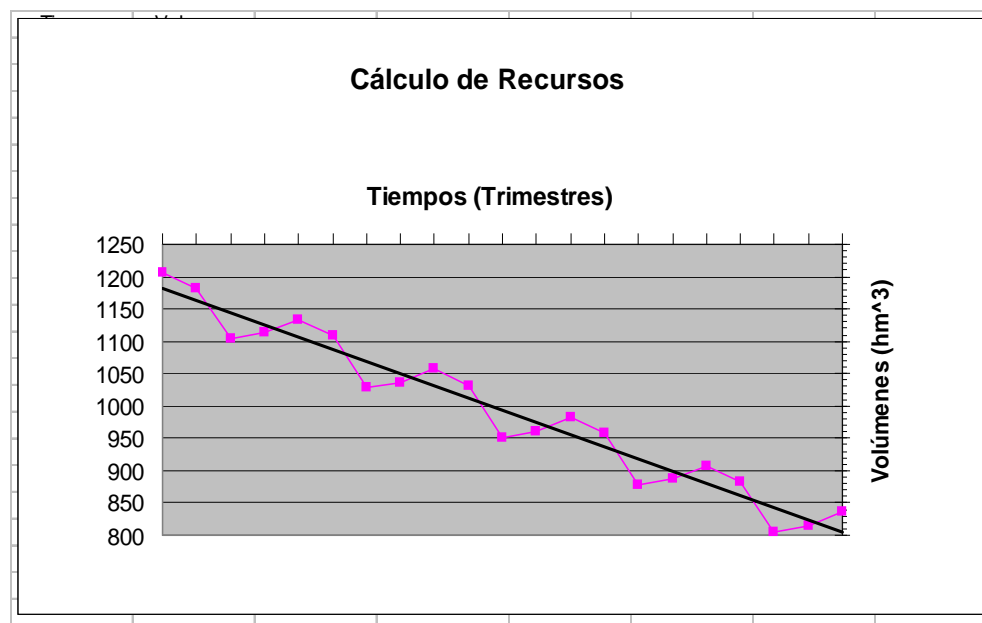


Figura 1. Discretización del modelo Ciro con un área de 717 km²



$$\text{Rec}_{75} = \text{Exp}_a + \Delta_a = 102 \text{ hm}^3.$$

Figura 2. Determinación de la pendiente Δ_a en Ciro

Aplicación al modelo del tramo HS-3 de la Cuenca Sur de la Habana

UBICACIÓN DEL MODELO DEL ACUÍFERO COSTERO SUR DE LA HABANA

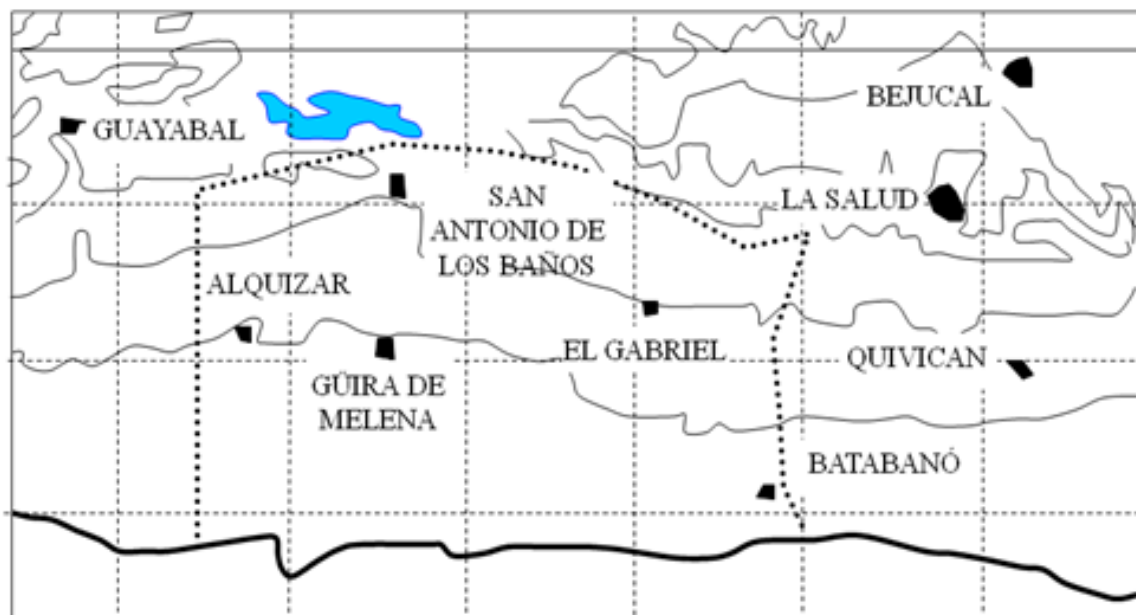


Figura 3. Ubicación del modelo del tramo HS-3 de la Cuenca Sur de la Habana, con un área de 830 km²

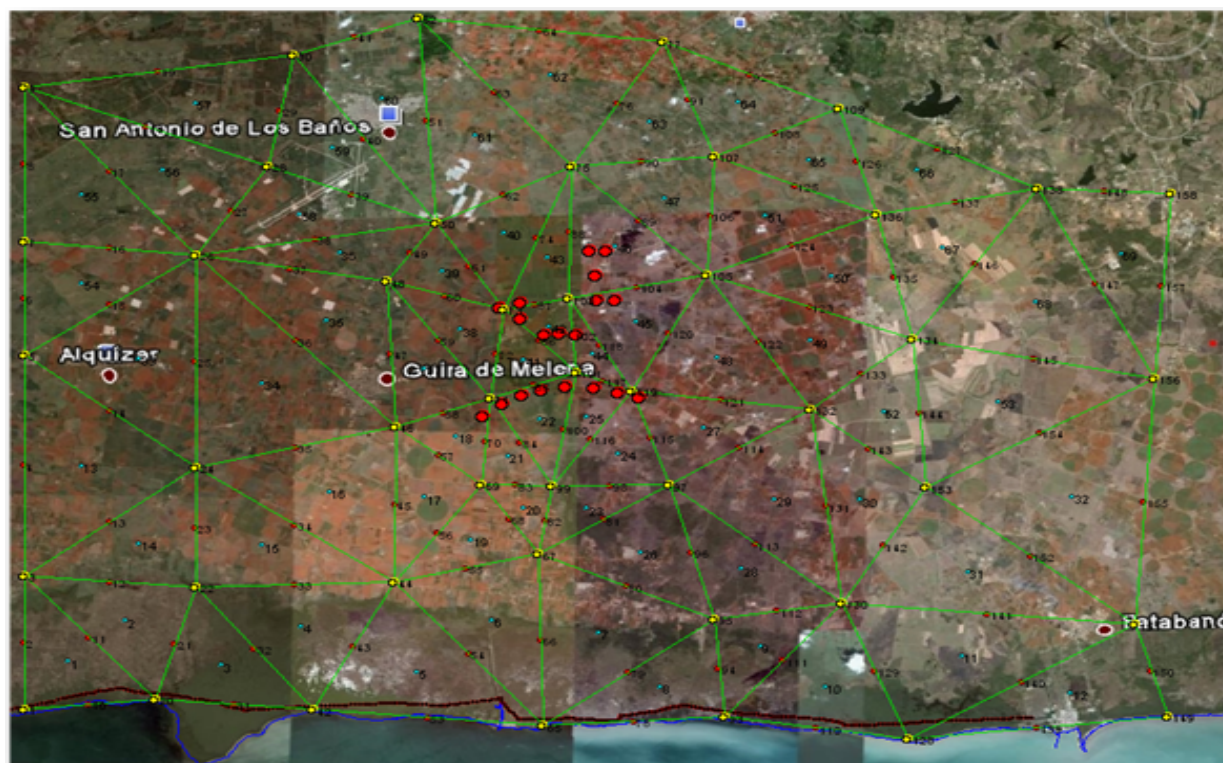


Figura 4. Discretización del modelo y ubicación de los pozos del acueducto de Cuenca Sur (tomado de Cabrera 2010)

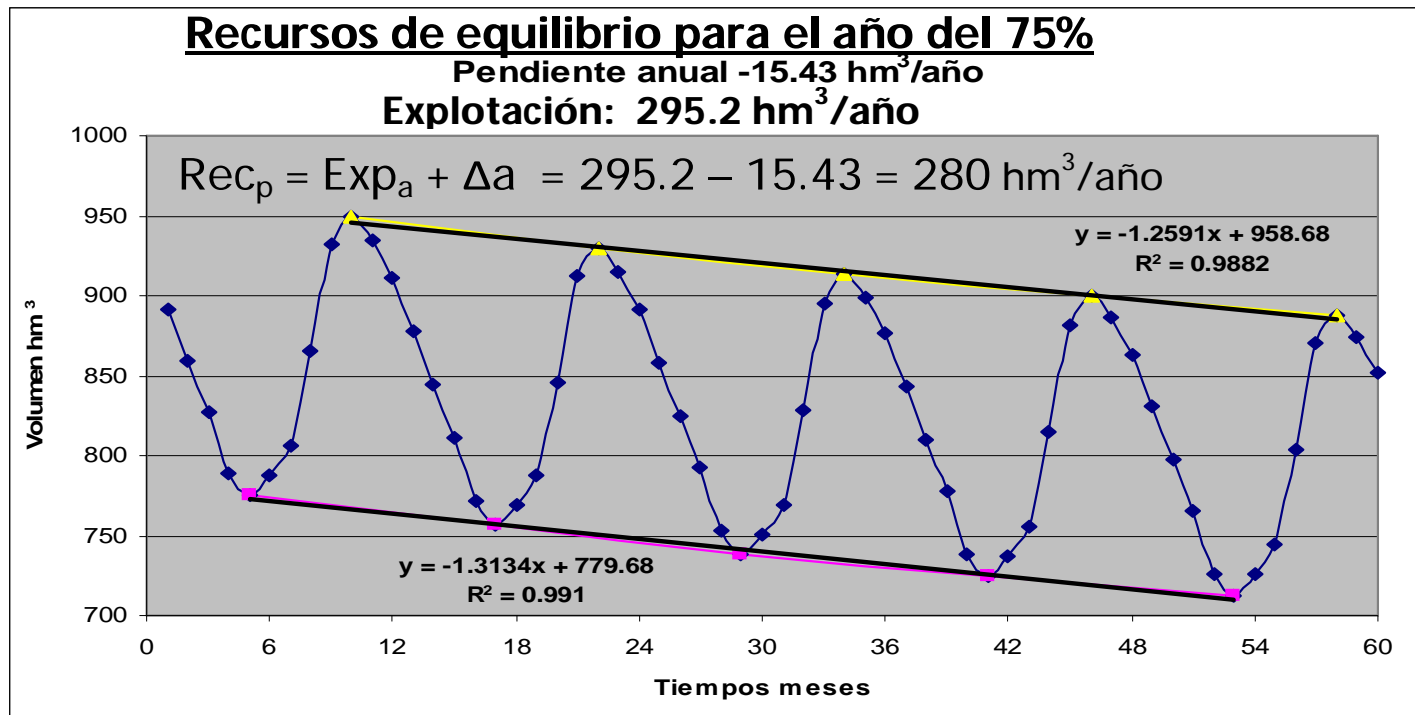


Figura 5 Determinación de la pendiente Δa en el modelo del tramo HS-3 de Cuenca Sur Habana

Modelo del acuífero La Cana, en Las Tunas

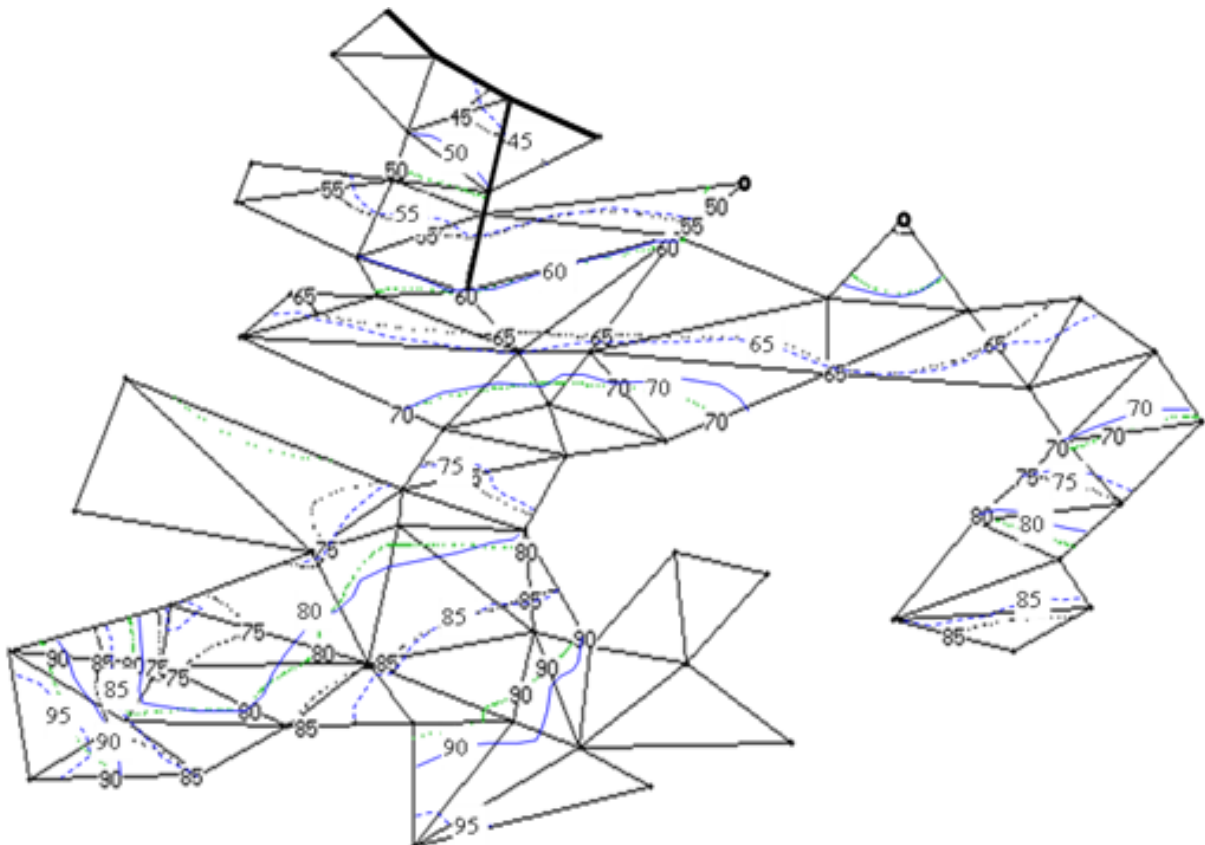


Figura 6. Discretización del modelo La Cana en Las Tunas con un área de la cuenca 69.0 km^2

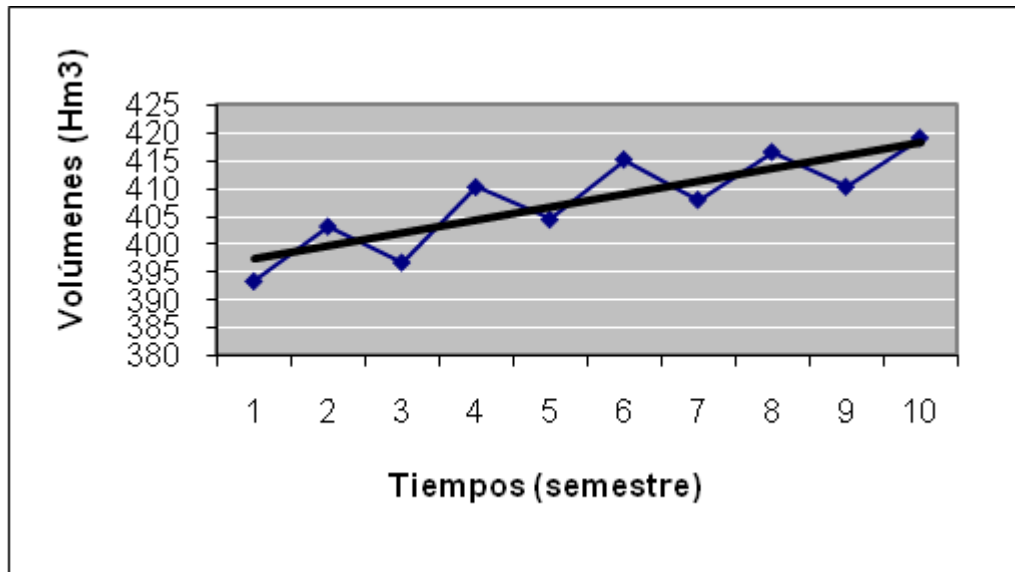


Figura 7. Determinación de la pendiente Δa en el modelo del acuífero La Cana en Las Tunas

De acuerdo con el ordenamiento de una serie de 40 años se obtuvo que el año 1994 se correspondía con un año medio seco del 75% de probabilidad, con una lluvia anual de 924 mm.

Explotación de **14.3 hm³** y se obtuvo una pendiente anual positiva ($\Delta a = +2.5 \text{ hm}^3$), por lo que los Recursos Hidráulicos de Equilibrio serían **16.8 hm³**.

Los resultados anteriores formaron parte de un proyecto con la Delegación de Recursos Hidráulicos de la provincia y objetivos de la tesis de maestría, [Ricardo 2004].

Aplicación al modelo de la Cuenca M1 de Matanzas

Los resultados que a continuación se muestran formaron parte del contenido de un proyecto con el Grupo Em-

presarial Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos de Matanzas y aparecen en el informe técnico correspondiente, [González 1992; Hernández et al. 2010].

Para el pronóstico de recursos se utilizó el periodo húmedo del año 1986 y el seco del año 87, los que se corresponden con los dos primeros intervalos del periodo de calibración. El año 1986 fue un año seco del 88% de probabilidad de sobrepaso.

Recursos de Equilibrio = $58.92 - 2 \times 2 = 55 \text{ hm}^3$ anuales.

En este caso los pasos de tiempo fueron semestrales y la recarga al acuífero se estimó de los resultados de la aplicación del modelo hidrológico determinístico, MHIDE,

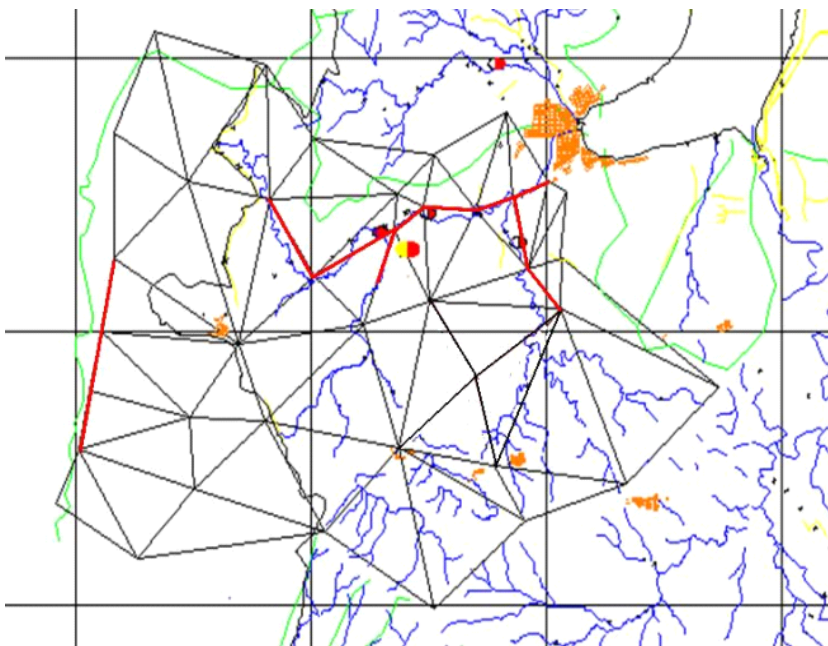


Figura 8. Discretización del modelo la cuenca M-1 Matanzas con un área de la cuenca 353 km^2

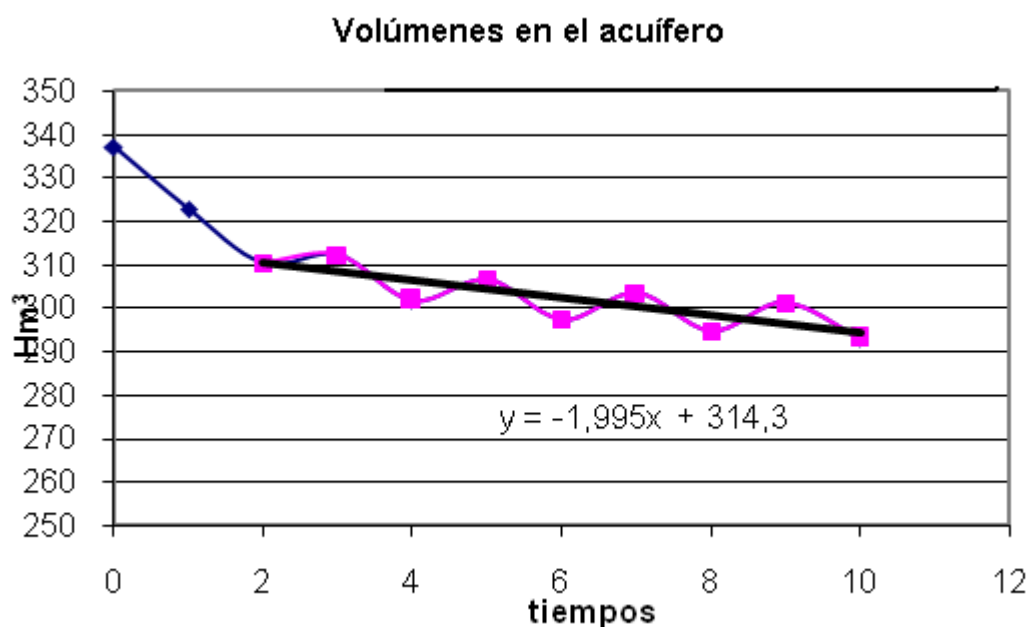


Figura 9. Determinación de la pendiente Δ_a en el modelo de la cuenca M-1 de Matanzas

utilizado en el Informe Técnico [Moreno 1992].

Análisis del comportamiento de la explotación y del balance de entradas y salidas:

	Húmedo 86	Seco 87
Volumen de Explotación (hm ³)	20.17	20.53
Volumen de Descarga a ríos (hm ³)	7.15	11.06
Total Salidas	27.32	31.59
Total anual	58.92 hm ³	

Puede observarse la similitud de los resultados obtenidos entre el balance y los Recursos de Equilibrio obtenidos del modelo de simulación.

Recientemente se presentó el Trabajo de Diploma, [Rivero 2010], con el objetivo de validar la calibración de este modelo, donde se revisaron las bases de datos, detectándose errores significativos en algunas cotas que representaban como nodos conocidos fijos a los ríos y por primera vez se combinó el método de Bindeman para el cálculo de la recarga al acuífero, pero realizando las asignaciones con una distribución espacial y acorde con las propiedades obtenidas de la simulación como medio heterogéneo según la discretización del modelo.

LAS POLÍTICAS DE EXPLOTACIÓN DE LOS ACUÍFEROS A PARTIR DE LOS BALANCES REGIONALES ASOCIADOS AL PLAN DEL USO DE AGUA

La operación de los embalses de aguas superficiales obedece a determinadas reglas, en función del llenado de estos y a los objetivos a que son destinados, priorizando determinadas actividades y con un mayor control, ya que

la entrega se realiza de manera centralizada y el estado de la fuente puede conocerse muy fácilmente.

En el caso de las aguas subterráneas, no solo se desconocen las reservas de agua existentes y los recursos disponibles para la explotación, sino que también estos tienen una distribución espacial y temporal que no permiten controlar la entrega del recurso y los usuarios reciben asignaciones globales por empresas y no existe la forma de controlar lo que realmente utilizan.

En general, los acuíferos funcionan como un embalse de regulación hiperanual, existiendo un retardo entre los periodos de recarga y las respuestas del sistema acuífero. Sin embargo, cuando se realizan los planes de asignación del agua, si el estado del acuífero es favorable, se entrega todo lo solicitado sin evaluar diferentes horizontes de planeamiento y por ende diferentes políticas de explotación.

Entre las funciones que le corresponden al Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), se encuentra la de realizar la asignación de las demandas de agua que le solicitan los diferentes organismos usuarios. Las asignaciones se realizan en función del estado del acuífero, pero sin poder evaluar con herramientas científicas el pronóstico del resultado de tales asignaciones. Por otra parte, esta tarea resulta de gran complejidad y desgraciadamente no está asociada a medidas de control que garanticen su cumplimiento.

No solo el Plan del Uso del Agua está afectado por el desconocimiento del recurso disponible, sino que no se emplean herramientas para establecer estrategias de explotación de acuerdo con posibles comportamientos de años hidrológicos, evaluar y controlar la asignación espa-

cio temporal, por lo que se pone en riesgo la garantía la satisfacción de las demandas futuras.

LAS POSIBILIDADES DE LA SIMULACIÓN DE DIFERENTES ESCENARIOS COMBINADOS CON LAS TÉCNICAS DE OPTIMIZACIÓN PARA LA ASIGNACIÓN DE LA EXPLOTACIÓN CONSIDERANDO LOS PROBLEMAS LOCALES DE LAS OBRAS DE CAPTACIÓN

Atendiendo a los señalamientos realizados anteriormente, para realizar un mejor aprovechamiento de los recursos hidráulicos subterráneos, es necesario mejorar las tecnologías actuales para evaluar el comportamiento de los sistemas acuíferos y establecer políticas de explotación óptimas y sustentables.

Como se señaló en las memorias del congreso de la IAHR por [Hernández y Llanusa 2009]. "...las políticas de asignación de la explotación con el Plan del Uso del Agua no pueden quedarse a nivel de empresas y conjuntos de pozos, aunque se haya realizado el cálculo de los recursos disponibles para un año determinado, sino que se requiere en algunos lugares restringir la extracción a nivel de pozo de bombeo".

La anterior afirmación fue demostrada en la tesis doctoral [Cabrera 2009], cuando evaluó el comportamiento del tramo HS-3 del acuífero de la Cuenca Sur de la Habana, realizando asignaciones acorde a los recursos globales de la cuenca antes mencionados y asignando las demandas solicitadas por la empresa Aguas de la Habana a los 19 pozos del acueducto de Cuenca Sur. En el caso en que no se tuviera en consideración la evaluación del pronóstico del comportamiento local como restricciones al bombeo, pudiera obtenerse descensos por debajo del nivel del mar, con posibles conos de intrusión salina y salinización de pozos que obligaran a su parada y de no realizarse por la falta de control de la salinidad, atendiendo a que todos los pozos se interconectan y puede obtenerse globalmente agua de buena calidad, si puede suceder que el fenómeno se siga extendiendo a otros pozos, llegando a inutilizar la fuente de abasto y con consecuencias económicas, ambientales e impactos sociales de gran magnitud.

Como resultado de la aplicación de tecnologías de avanzada en la simulación y optimización de acuíferos, realizadas en la tesis de [Cabrera 2010], este llega a las siguientes consideraciones:

- Con los resultados de las optimizaciones se puede decir que los volúmenes de extracciones de Cuenca Sur tanto en plan como reales son acertados, el problema está en la forma en que se realiza la distribución de la explotación en estos pozos ya que se demostró que con la extracción real ocurrida en el año 2007 hubo pozos en los que se bombeó bien por debajo de sus niveles mínimos en varios meses.

- Con los resultados obtenidos en este caso de estudio

se demuestra que el sistema propuesto así como toda la información manejada y las estrategias de modelación empleadas son eficaces y corroboran la pertinencia de este tipo de trabajos para los profesionales que deciden, en la producción, las políticas de explotación del agua subterránea en el país.

Todo lo anteriormente expuesto, permite llegar a las siguientes conclusiones y recomendaciones.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- No se debe continuar hablando de magnitudes de recursos hidráulicos subterráneos de los acuíferos cubanos como magnitudes confiables y estáticas, cuando este recurso natural depende de muchos factores.

- Es lamentable que una tecnología desarrollada y validada en Cuba desde hace más de 30 años, no haya tenido la aceptación y voluntad de generalización del organismo introductor, lo que hubiese permitido mejorar la confiabilidad de la estimación de los recursos hidráulicos subterráneos y por ende ser utilizada para la mejor gestión y operación de las fuentes.

- Los Planes de Uso del Agua Subterránea, requieren ser revisados en su concepción, ya que no basta con hacer asignaciones anuales sin evaluar horizontes de planeamiento, realizar entregas por empresas sin evaluar los efectos locales en los pozos de explotación, tanto temporal como espacialmente y no emplear mecanismos efectivos para el control de la explotación.

- Sería recomendable que los anteriores planteamientos fueran objeto de análisis por los organismos que le correspondan y se le diera el peso que realmente tienen las nuevas tecnologías en la adquisición y manejo de datos, simulación matemática y optimización, para garantizar un uso racional de los recursos hidráulicos subterráneos.

REFERENCIAS

- Cabrera, E.** (2009). "Sistema para la administración de la explotación del agua subterránea". Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. La Habana, Cuba: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Centro de Investigaciones Hidráulicas CIH.
- Cabrera, E.; Hernández, A. O.; Dilla, F. y Llanusa, H.** (2009). "Preparación de la base de datos espacial y de atributos necesaria para realizar la optimización de la explotación de los 19 pozos del acueducto de Cuenca Sur aplicando el modelo MADA". Tercer informe parcial a la delegación provincial del INRH de la Habana. Trabajo para el desarrollo de la actividad de la rama 1003 Modelo tramo HS-3 de la Cuenca Sur de la Habana. Ciudad de la Habana.
- González, J.** (1992). "Modelo Matemático de la cuenca M1 Matanzas". Informe Técnico. Centro de In-

- vestigaciones Hidráulicas (CIH). CUJAE.
- Hernández, A. O.** (1991). "La explotación de acuíferos a escala regional y la modelación matemática como su base tecnológica". Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. La Habana, Cuba: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Centro de Investigaciones Hidráulicas CIH.
- Hernández, A. O.** (2008). "Nuevas formulaciones para determinar las propiedades hidrogeológicas con régimen no lineal". Memorias del XXIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica Cartagena De Indias Colombia, Septiembre.
- Hernández, A. O.; Gómez, M.; Dilla, F. y Rodríguez, Y.** (2010). "Evaluación y Manejo de los Recursos Hídricos de la Cuenca M1-Matanzas".
- Hernández, A.O. y Llanusa, H.** (2010). "La modelación matemática y la explotación de los acuíferos costeros". Memorias del XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Cuba.
- Pérez Franco, D.** (2001). La explotación del agua subterránea. Un nuevo enfoque. Editorial Félix Varela. Habana.
- Ricardo, R.** (2004). "Modelación del acuífero La Cana y evaluación de sus recursos hídricos subterráneos". Tesis de Maestría en Ingeniería Hidráulica. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Centro de Investigaciones Hidráulicas CIH.
- Rivero, L.** (2009). "Validación del modelo matemático de la Cuenca M1-Matanzas". Trabajo de Diploma. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Centro de Investigaciones Hidráulicas CIH.

Recibido: septiembre del 2010
Aprobado: diciembre del 2010