

Selección de obras de captación y políticas de explotación en acuíferos costeros

INTRODUCCIÓN

Algunos de los más diversos y productivos habitats que engloban extensas áreas de complejos y únicos ecosistemas se encuentran en las áreas costeras; incluyen las planicies costeras, zonas litorales, mangles, arrecifes coralinos, deltas de ríos, fondos marinos, etc., los cuales son fuentes de producción de alimentos y soporte de una variada actividad económica que incluye la pesca, el turismo, la recreación y la transportación, siendo uno de los principales peligros o amenazas ambientales la fragilidad del equilibrio dinámico que se presentan en los acuíferos costeros por las relaciones entre las aguas dulces, salobres y saladas.

Los principios de la dinámica de los acuíferos costeros en cuanto a la relación entre las aguas saladas y las dulces son bien conocidos aunque cada lugar tiene sus propias características en dependencia de la hidrogeología local. La descarga de los acuíferos costeros se produce directamente a estuarios, lagunas costeras, manglares o directamente al mar. La descarga subterránea es generalmente de aguas dulces interiores y su uso extensivo para consumo humano y para el riego la puede convertir en agua salobre en la zona costera o inclusive como lentes de agua salobre en el mar. En la interfaz costera, el agua subterránea descargada puede crear condiciones apropiadas para específicas comunidades acuáticas, las cuales son frágiles y susceptibles a los cambios en cantidades y calidades del agua. La extracción de aguas subterráneas interiores o su contaminación pueden forzar la hidrodinámica y la calidad de estas de manera tal que la integridad del sistema acuífero puede estar en riesgo y su influencia en los ecosistemas costeros.

Los países con regiones costeras han reconocido varios elementos que contribuyen a su mayor vulnerabilidad

Resumen / Abstract

Se expone la problemática de explotación de acuíferos costeros amenazados por la intrusión salina y los efectos que el cambio climático puede ejercer sobre ellos. Para explotar sustentablemente estos recursos se requieren políticas variadas pero necesarias, entre ellas: selección del tipo de obras de captación y su diseño adecuado, conocimiento del sistema acuífero, medidas de control de las variables para tomar decisiones, uso de tecnologías avanzadas para la definición de estrategias óptimas de explotación, operación eficiente y mantenimiento de los sistemas de captación. Se propone que cuando sea factible, se utilicen preferiblemente obras horizontales de captación, evitando las trincheras abiertas por los inconvenientes como los señalados en los casos de Cayo Largo del Sur y Andros en Bahamas. La utilización de pozos verticales requiere de un adecuado diseño, tanto de la obra como de su distribución espacial, por lo que se proponen algunas recomendaciones al respecto.

Palabras Clave: agua subterránea, acuíferos costeros, intrusión salina, captaciones horizontales, pozos verticales

The paper deals with coastal aquifers exploitation under saline intrusion threats and climate change effects over them. For sustainable development of these resources variable but necessary policies are required, among them: selection of abstraction works and their appropriate design, knowledge of the aquifer system, control measures over variables for decision making, use of advanced technologies to define optimal exploitation strategies, efficient operation and maintenance of existing works. It is suggested, when feasible, to give preferential use to horizontal works but avoiding open trenches because of the inconveniences that have been observed in the Cayo Largo del Sur and Andros-Bahamas case studies. The use of vertical wells demands a careful design, not only of each well but also of their spatial distribution, therefore the paper includes some recommendations to this end.

Keywords: groundwater, coastal aquifers, saline intrusion, horizontal abstraction works, vertical wells.

ambiental que incluyen: fragilidad ecológica, rápido crecimiento poblacional humano, limitados recursos de suelos, alta dependencia de los recursos marinos, exposición a peligros de desastres por eventos extremos y a los cambios climáticos globales, estando muchos de estos factores de vulnerabilidad y sustentabilidad ambiental asociados a las aguas dulces y su principal fuente, los acuíferos costeros.

Los recursos hidráulicos en las regiones costeras no han sido por lo general suficientemente estudiados y eficientemente operados por las instituciones nacionales encargadas de los mismos, habiendo sido sobre-explotados y contaminados, en las áreas urbanas por las presiones del incremento poblacional y en las rurales por las demandas de la agricultura y su contaminación por el manejo de sustancias nocivas a la salud con el uso de fertilizantes y otras sustancias utilizadas en el control de plagas y hierbas. Lo anterior es particularmente cierto en los ecosistemas dependientes de las aguas subterráneas como sucede en las planicies costeras. Hasta el momento no se han realizado suficientes investigaciones que hayan permitido cuantificar los peligros y riesgos que amenazan la integridad de los acuíferos costeros y por tanto no existen políticas de prevención y remediación, como es la utilización de la recarga artificial en algunos lugares para evitar el avance de la intrusión salina o el drenaje en zonas donde los niveles freáticos altos son amenazas ambientales por la salinización de suelos, afectaciones a obras civiles y monumentos que son patrimonio de la humanidad, así como facilitar el movimiento de sustancias contaminantes en las aguas subterráneas al reducirse los espesores de la zona no saturada.

Los principales problemas que originan la intrusión salina están asociados a la sobre-explotación del acuífero cuando las demandas exceden las posibilidades de entrega del sistema, en lo cual incide un inadecuado conocimiento de su dinámica, insuficiente control de la explotación, niveles y calidad del agua, dando lugar a una mala gestión a corto y largo plazo. Otro problema es el poco uso de las fuentes renovables de energía para el riego y otros usos en la agricultura. La introducción de estas tecnologías es un elemento que puede atenuar estos efectos negativos por su sostenibilidad y ventajas económico-financieras de las comunidades aisladas.

En los problemas de la gestión también intervienen otros factores como son las inapropiadas leyes y reglamentaciones que incentiven la conservación ambiental y faciliten la comunicación entre los usuarios del agua y los administradores del recurso hídrico. Es también importante tener en cuenta que las restricciones financieras juegan un rol importante en las posibilidades del uso de nuevas y eficientes tecnologías para el control y gestión del sistema acuífero. Es necesario destacar la necesidad de fortalecer las relaciones entre los centros de investigación y los de producción para la introducción de los avances cien-

tífico-técnicos, ya que el divorcio entre ambos no permite un uso eficiente de las bases de datos necesarias para el conocimiento y manejo del sistema.

En las llanuras carstificadas colindantes con el mar se encuentran los principales recursos de aguas subterráneas de Cuba. Casi todas estas cuencas están comunicadas con el mar tanto superficial como subterráneamente. Las aguas dulces de estas cuencas se vierten en los pantanos costeros y en manantiales situados en la plataforma insular. Pero el hecho mismo de estar comunicadas directamente con el mar implica también que las aguas dulces están en contacto con las aguas marinas. Obviamente, la explotación de las aguas dulces subterráneas tiende a incrementar el avance de la cuña salina y puede provocar la salinización de las aguas subterráneas del acuífero al precipitarse cantidades crecientes de sal en los poros y grietas de las rocas. La salinización se convierte entonces en un problema de calidad del agua y por ello, en una restricción de la capacidad de los acuíferos de satisfacer la demanda de agua potable. Sobre todo, si se tiene en cuenta que la descontaminación de los acuíferos salinizados puede tardar decenas de años.

El agua dulce de menor densidad y la salada de mayor densidad en un acuífero costero están separadas por una zona conocida como interfaz, siendo una zona de transición entre ambos tipos de agua donde ocurre una mezcla entre ambas, por lo que también se le denomina zona de dispersión. Esta zona de transición se caracteriza fundamentalmente por las concentraciones de las sales totales disueltas que varían en un rango de 1000 mg/l a 35000 mg/l o por las concentraciones de los cloruros como ión predominante del agua salada ya anteriormente expuesto y que varían de 250 mg/l a 19000 mg/l. Dentro de la zona de transición el agua dulce que fluye hacia el mar se mezcla con el agua salada por procesos de dispersión y difusión molecular, fenómenos que dependen de las condiciones hidrodinámicas del flujo subterráneo en gran medida definidas por las acciones sobre el sistema, por las propiedades geométricas e hidrogeológicas del acuífero, su heterogeneidad y anisotropía, así como de las estructuras geológicas confinantes. Las acciones son fuerzas dinámicas que operan en escalas de tiempo de diferente magnitud, como son las fluctuaciones diarias producto de las mareas, estacionales con los mecanismos de la recarga en dependencia del comportamiento de las lluvias anuales o hiperanuales, ascensos y descensos catastróficos debidos a la presencia de eventos extremos como huracanes y por acciones antrópicas causadas por los mecanismos de explotación o recarga artificial del acuífero.

La intrusión salina dicho, en otras palabras, no es más que un equilibrio que se genera de forma natural entre el agua dulce y el agua salada en los acuíferos costeros

abiertos y que está en función del caudal vertido hacia el mar. Al ser disminuido este flujo por la explotación, se producirá un desplazamiento de la interfaz agua dulce – agua salada que tratará de alcanzar un nuevo estado de equilibrio, incrementándose de igual modo la intrusión del agua de mar.

LOS ACUÍFEROS COSTEROS Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

Los acuíferos costeros constituyen uno de los sistemas más vulnerables a los efectos de la variabilidad climática y al cambio climático, lo cual ha sido objeto de preocupación y análisis por parte de instituciones internacionales y programas de las Naciones Unidas como el Programa Hidrológico Internacional, donde en el VII periodo del 2008-2013 señala la necesidad de atender el impacto del cambio climático en el ciclo hidrológico y su consecuente impacto en los recursos hídricos, por lo que se plantea que el manejo de los sistemas acuíferos deben responder a los cambios globales y a la variabilidad climática.

Otro proyecto Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO que ha centrado la atención de los acuíferos costeros es **GRAPHIC** (Groundwater Resources Assessment under the Pressures of Humanity and Climate Change). Desde la pasada década se viene planteando, la necesidad de enfatizar en el adecuado manejo de los recursos hidráulicos subterráneos costeros en su interacción con las aguas superficiales y los suelos, para garantizar la sostenibilidad de los ecosistemas costeros, sobre todo para enfrentar los problemas de la sequía y otros aspectos de la variabilidad y el cambio climático, Alley et al. (1999).

OBRAS DE CAPTACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN ACUÍFEROS COSTEROS

Por lo general la selección del tipo de obras de captación de las aguas subterráneas ha respondido a criterios técnicos, por lo que las más frecuentes utilizadas han sido los pozos verticales. Es importante destacar, que las grandes diferencias entre los niveles estáticos y dinámicos, producidos por los pozos de bombeo verticales (necesariamente de penetraciones parciales por lo que se originan mayores descensos), causa un anormal y rápido crecimiento de la superficie de contacto entre las aguas dulces y las saladas, provocando que altas concentraciones de cloruros permanezcan durante mucho tiempo en las aguas anteriormente dulces (conos de intrusión), antes de regresar a las condiciones naturales originales. La ruptura periódica, producto del bombeo, de las características del balance de la salinidad de las aguas subterrá-

neas sin un control, lleva a un deterioro acelerado de su calidad hasta convertirse en un problema irreparable a corto plazo.

Aunque los pozos verticales constituyen la principal obra de captación de las aguas subterráneas, en las llanuras costeras y en los cayos donde las cotas del terreno están relativamente cercanas al nivel del mar, no resultan ser las más aconsejables para la extracción de agua dulce, por lo que es recomendable utilizar las obras de captación horizontal (las mayormente empleadas son las trincheras), de notable interés no sólo para Cuba, sino también para el Caribe. Estas también se ven amenazadas por las consecuencias de fenómeno de la intrusión salina e intensificadas además por los ciclones y tormentas tropicales, López Infante (2002, 2004) y Bowleg (2004).

Es importante seguir algunas recomendaciones en la selección de las obras de captación, ya que por ejemplo, en las zonas costeras y cayos, donde el nivel freático se encuentra a poca profundidad, las obras de captación horizontal, como trincheras y drenes horizontales, garanticen no sobrepasar durante el bombeo niveles ya prefijados por el fondo de la propia trinchera, no obstante hay que considerar los problemas ambientales y posibles afectaciones que dicha obra puede tener ante eventos extremos ocasionados por tormentas tropicales, como los casos ya referidos de Andros, Bowleg (2004) y Cayo Largo del Sur, López Infante (2004).

Con el objetivo de evaluar las mejores obras de captación en situaciones como las anteriormente descritas, Tarbox and Hutchings (2008) realizaron experimentos numéricos que demuestran que en lugar de utilizar pozos de mayor profundidad y caudal de bombeo, sugieren utilizar múltiples pozos someros con pequeños caudales de bombeo, como los realizados en Cayo Coco, Rodríguez (1989), las trincheras como las ya antes mencionadas o drenes próximos al nivel freático y de gran longitud que regulen los abatimientos y permita la rápida recuperación del sistema al cesar el bombeo, como la propuesta realizada por el autor en la reunión de Nassau.

CAPTACIONES HORIZONTALES. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Se emplean obras de captación horizontales en acuíferos costeros donde el nivel freático se encuentra a poca profundidad desde la superficie del terreno. Es además la opción óptima cuando la cuña de intrusión salina se encuentra a poca profundidad desde el nivel freático ya que garantizan que no se sobrepase durante el bombeo niveles ya prefijados por el fondo de la obra. Las trincheras antes mencionadas se consideran de penetración superficial y para el régimen de explotación de las mismas se pueden seguir dos criterios: uno que con-

sidere la influencia del gradiente natural de acuerdo con Pérez Franco (1986) y otro que suponga que la zona de captación está suficientemente alejada de la costa que permita considerar que tanto la superficie freática como la interfaz son líneas horizontales de acuerdo con Tarbox and Hutchings (2008), en ambos casos se supone que existe un equilibrio hidrostático entre el agua dulce de menor densidad y el agua salada subyacente de acuerdo con la ley de Ghyben-Herzberg, lo que se considera como un modelo de interfaz abrupta.

En relación con el uso de trincheras abiertas, el autor, Hernández (2009), realizó las siguientes observaciones en dos casos prácticos donde han sido utilizadas:

a) Problemas con las trincheras de Andros, Bahamas

- Considerando una lámina de evaporación desde superficies libres de 5mm/d, desde las trincheras se evaporan diariamente aproximadamente 2 lps ($0.9 \times 33000 \times 0.005$)
- Durante los huracanes las olas de tormenta pueden llegar directamente a la trinchera contaminándola, dada la cercanía a la costa y las cotas del terreno inferiores a los 5 metros por lo que la inutiliza por gran cantidad de tiempo.
- Desde la superficie se produce arrastre de sedimentos hacia las trincheras, producto de la lluvia, materia orgánica de hojas de árboles y yerbas que crecen en sus bordes.
- Es posible el desarrollo de plagas como las producidas por el mosquito *Aedes Aegypti*.
- No hay un sistema de control, con medidores de nivel y calidad del agua, que indique en cada momento de que trinchera se puede bombear y durante que tiempo.
- Las trincheras están en forma cruciforme, por lo que no se aprovecha el sentido del flujo de descarga hacia el mar, debiendo estar perpendicular a este.
- Crecimiento de algas en las paredes de las trincheras reducen los aportes laterales e incrementan los flujos verticales favoreciendo los conos de intrusión.
- Los aerosoles pueden incrementar la salinidad del agua en las trincheras de forma directa.
- No existe una evaluación de rigor científico que permita operar adecuadamente el sistema.
- Al bombearse desde los colectores, sin impermeabilización en su fondo, se pueden inducir conos de intrusión que facilitan la salinización del agua en las trincheras.

b) Problemas con las trincheras de Cayo Largo del Sur, Cuba

Se repiten la mayoría de los problemas señalados en el caso anterior, con la diferencia que la forma del cayo no aconseja el uso de trincheras en forma cruciforme y que el uso de trincheras de gran ancho no facilita su protección y no significa un aumento apreciable en las posibilidades de captación

de las aguas dulces.

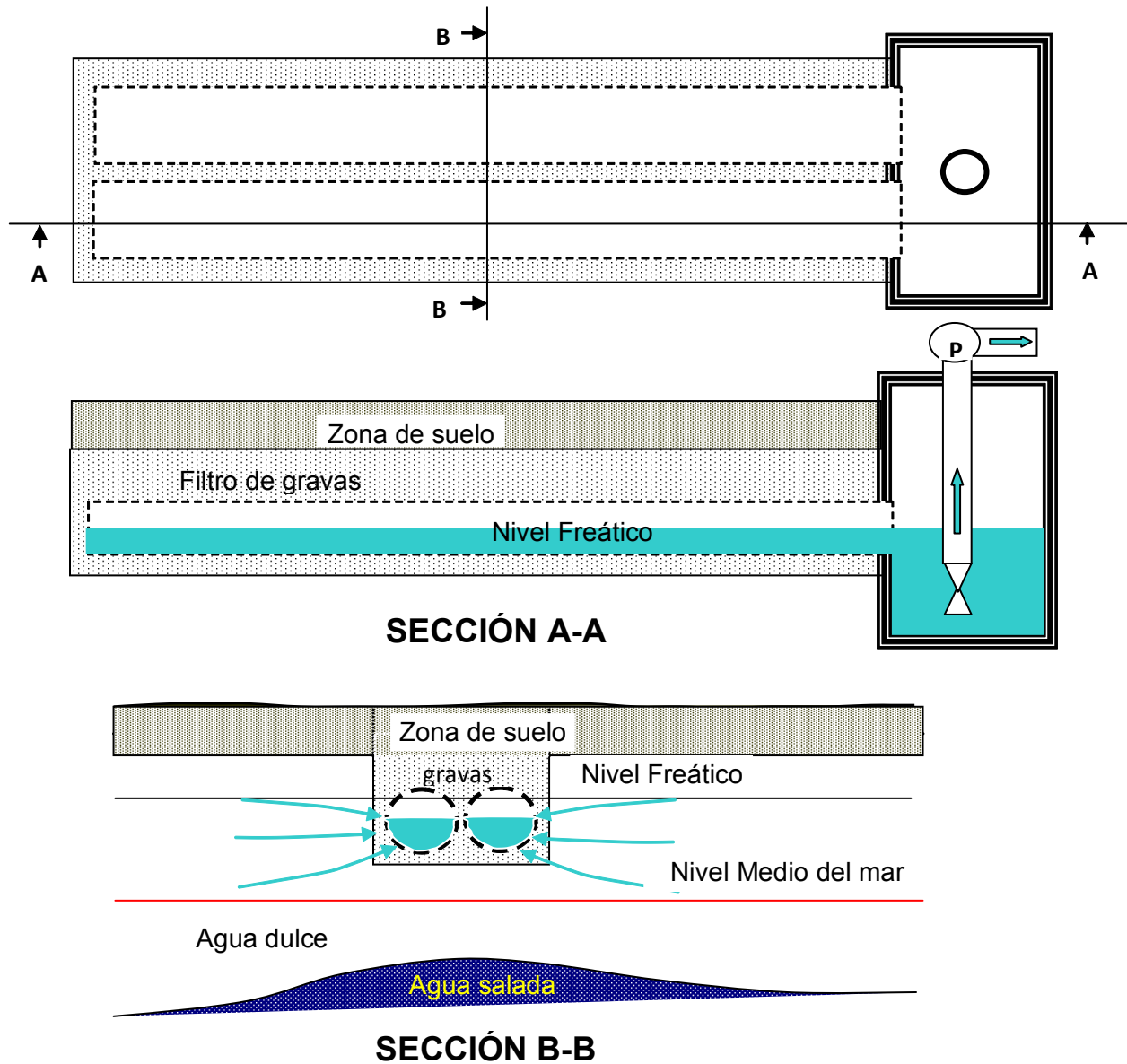
- Durante los huracanes las olas de tormenta pueden llegar directamente a la trinchera contaminándola, dada la cercanía a la costa y las cotas del terreno por lo que las inutiliza por gran cantidad de tiempo.
- Las trincheras por sus dimensiones son unas modificaciones al medio ambiente natural de una zona turística.
- Es posible el desarrollo de plagas como las producidas por el mosquito *Aedes Aegypti*.
- No hay un sistema de control, con medidores de nivel y calidad del agua, que indique en cada momento de que trinchera se puede bombear y durante que tiempo.
- Las trincheras que están en forma cruciforme, no aprovechan el sentido del flujo de descarga hacia el mar, debiendo estar perpendicular a este.
- Crecimiento de algas en las paredes de las trincheras reducen los aportes

Con el objetivo de reducir o eliminar los señalamientos antes realizados se propuso por el autor (Hernández 2008, 2009) la utilización de drenes horizontales que pueden ser colocados en las mismas trincheras ya construidas pero con un diseño como el que se muestra en la figura de la siguiente página y que requiere de las siguientes observaciones:

1. En cada trinchera actual o futura, se colocarían tantas tuberías perforadas de PVC, (similares a las camisas ranuradas de pozos verticales), de acuerdo con el ancho, profundidad de la trinchera y diámetros de las tuberías disponibles.
2. La tubería inferior se colocaría en cotas iguales o superiores a los niveles medios del mar, (NMM), en dependencia de la distancia a la costa y de las oscilaciones de los niveles producto de las mareas.
3. Cada colector puede conectar dos ramales de drenes a sus lados, debiendo ser estructuras totalmente impermeables con compuertas deslizantes que regulen el nivel del agua en los drenes en cotas variables en función de las oscilaciones de la marea y que incluso puedan aislar su aporte al colector.
4. Cada colector debe tener una caseta que permita colocar el sistema de mando automático para operar bombas y compuertas, en función de la calidad y niveles del agua en el colector.

CAPTACIONES VERTICALES. RECOMENDACIONES SOBRE PROFUNDIDADES Y DISTRIBUCIÓN ESPACIAL

Cuando la profundidad a la que se encuentra el agua subterránea no permita la utilización de captaciones horizontales, será necesario utilizar pozos verticales para la captación de las mismas, en estos casos ya existen algunas recomendaciones realizadas desde el punto de vista del diseño del pozo por Pérez Franco (2001, 2004) y que se recogen por Hernández y Llanusa (2006), que con



nuevas propuestas serían las siguientes:

a) Definir para cada pozo como penetración máxima el 30% del espesor de agua dulce por debajo del nivel estático.

b) Se define el valor del abatimiento máximo S_{wm} para la penetración parcial anterior por la expresión:

$$S_{wm} = \left(\frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d} \right) 0,3L$$
, donde L es la distancia vertical desde el fondo del pozo hasta la posición de la interfaz estimada por la ley de Ghyben-Herzberg.

c) Se calcula el caudal máximo permisible para pozo de penetración parcial y considerando régimen no lineal, Hernández (1984), utilizando como radio del pozo de bom-

beo recomendable 0,25 m.

d) Una vez construido el pozo, se realiza un ensayo de bombeo para determinar su ecuación característica y se recalcula con ella el valor de S_w para el caudal máximo que se obtuvo en el segundo paso, ajustándolo convenientemente si el abatimiento calculado con la ecuación característica excede el permisible.

Si bien es cierto que la anterior propuesta es lógica y requiere ser incorporada a las metodologías de diseño de campos de pozos en los acuíferos costeros, desgraciadamente los pozos de bombeo no actúan de manera aislada y existe interferencia entre ellos, por lo que desde el punto de vista regional es necesario vincular estos criterios con modelos regionales del acuífero y técnicas de administración, Uranga y Calle (2006).

Atendiendo a la anterior propuesta se realizó el trabajo de

diploma de Narendra (2010) con los resultados siguientes:

a) La metodología de diseño de campos de pozos en acuíferos costeros se debe apoyar en la modelación numérica y cumpla con las restricciones de la metodología anterior, pero que permita la necesaria interferencia entre pozos de bombeo (por razones prácticas y económicas se puede realizar el diseño admitiendo interferencia entre los pozos, aunque se demuestra por la modelación numérica que hasta 1,4 veces el caudal de diseño no ocurre la interferencia, por lo que estos caudales de bombeo deben ser determinados con el apoyo de la modelación matemática, para evitar ocurran conos regionales de intrusión salina).

b) Durante la explotación de los campos de pozos, se cambia la hidrodinámica del flujo regional, modificando las líneas de corriente hacia dichos pozos provocando un cambio de dirección del flujo. Por tanto si los pozos se ubicaran paralelos a la costa, durante la explotación no quedarían perpendiculares a las líneas de corriente como se diseñaron preliminarmente. Este comportamiento se puede observar en los pozos del acueducto de Cuenca Sur de la Habana.

c) Es necesario el refinamiento de las mallas alrededor de los pozos de bombeo para reproducir los niveles reales ya que en un modelo regional no es posible representar los fenómenos locales que provocan descensos significativos de los niveles del agua en las obras de captación.

d) Para la explotación sustentable de los acuíferos costeros mediante campos de pozos, se requiere además del uso de las herramientas de la modelación numérica, el empleo de modelos de administración donde se establezcan diferentes escenarios y se garanticen las demandas y restricciones correspondientes (Cabrera 2010), (Cabrera y Hernández 2011).

CRITERIOS SOBRE LA EXPLOTACIÓN DE LOS ACUÍFEROS COSTEROS PARA UNA GESTIÓN SUSTENTABLE

De acuerdo con lo planteado en este trabajo para una explotación sustentable de los acuíferos costeros se requiere garantizar los siguientes aspectos:

- Conocimiento del sistema acuífero en cuanto a propiedades, geometría, funcionamiento hidrodinámico, control de la explotación, relación con las aguas superficiales, formas de alimentación o recarga, etc.
- Que las obras de captación se correspondan con las factibles y recomendables, con un diseño eficiente.
- Que los sistemas de adquisición de datos permitan la evaluación continua del estado del sistema acuífero tanto regional como local para la toma de decisiones confiables, Gómez (2009).
- Que se implemente en todos los principales acuíferos los modelos numéricos y su acople a los modelos de ad-

ministración para la gestión sustentable acorde al estado del sistema y diferentes horizontes de planeamiento, Hernández et al. (2001).

CONCLUSIONES

Las conclusiones de este trabajo se han expuesto a lo largo del mismo, por lo que no es necesario repetirlas y están referidas a la selección de las obras de captación, metodologías de diseño y la utilización de las nuevas tecnologías para el manejo sustentable de los acuíferos costeros.

REFERENCIAS

- Alley, W.M.; Reilly T.E. and Lehn F. O.** (1999). «Sustainability of Ground-Water Resources». U.S. Geological Survey. Circular 1186. Denver, Colorado.
- Bowleg II, J.A.** (2004). North Andros Wellfield Report. Hurricane Frances Seawater Inundation (May-2004 Field Survey, & Storm Surveys). Primer Taller de Expertos en Vulnerabilidad de acuíferos costeros en el Caribe Insular. Octubre 12-15. Ciudad de la Habana, Cuba.
- Cabrera E. y Hernández, A. O.** (2011). «Modelación del agua subterránea a escala regional con refinamiento local de la malla. Planteamiento y validación del algoritmo». Tecnología y Ciencias del Agua, antes Ingeniería Hidráulica en México, vol. II, núm. 1, enero-marzo de 2011, pp. 65-82.
- Cabrera, E.** (2010). «Sistema para la administración de la explotación del agua subterránea». Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. CIH. CUJAE.
- Gómez, M.** (2009). «Plataforma modular integrada para la gestión del agua subterránea como recurso». Tesis doctoral. Centro de Investigaciones Hidráulicas, Facultad de Ingeniería Civil, Instituto Superior Politécnico «José Antonio Echeverría», La Habana, Cuba.
- Hernández, A. O.** (1984). «Efectos de la penetración parcial e pozos con régimen no lineal». Ingeniería Hidráulica. Vol 5. No. 2. ISPJAE. Cuba.
- Hernández, A.O.** (2008). «The sustainable management of the coastal aquifers to face the climatic change». UNESCO GRAPHIC Project. «Groundwater Resources Assessment under the Pressures of Humanity and Climate Change» Launching of Andros Case Study. Nassau, March 17-19.
- Hernández, A.O.** (2009). «Captación de agua subterránea por drenes horizontales en pequeñas islas. Una contribución a

GRAPHIC». Aqua-LAC-Vol.1, no. 2-Sep. 2009 pp.153-163

Hernández, A.O. y Llanusa, H. (2006). «La intrusión salina y el manejo de los recursos hidráulicos en los acuíferos costeros». Monografía. Red UTEEDA (CYTED). CUJAE.

Hernández, A.O. y Llanusa, H. (2009). «La modelación matemática y la explotación de los acuíferos costeros». Congreso Internacional de Ingeniería Hidráulica. Cuba.

Hernández, A. O.; Martínez, J. B.; Dilla, F. y Llanusa, H. (2001). "Modelación de Acuíferos". Texto de la Maestría de Ingeniería Hidráulica. CIH, CUJAE.

López Infante, E.D. (2002). «La influencia de las mareas oceánicas en los acuíferos de Cayo Largo del Sur, Cuba». Groundwater and Human Development. Boca-negra, E - Martínez, D - Massone, H (Eds.) - ISBN 987-544-063-9.

López Infante, E.D. (2004). «Efectos de los huracanes en las aguas subterráneas de Cayo Largo del Sur». Primer taller de expertos en vulnerabilidad de acuíferos costeros en el caribe insular. Octubre 12-15. Ciudad de la Habana, Cuba.

Narendra, D.S. (2010). «Propuesta de Procedimiento para la Explotación Sustentable de Acuíferos Costeros Abiertos». Trabajo de Diploma. 79 pág. CIH. CUJAE. Julio 2010.

Pérez Franco, D. (1986). «Flujo hacia una trinchera de captación superficial teniendo en cuenta el gradiente natural». Anais XII Congreso Latino Americano de Hidráulica. Sao Paulo, Brasil, Vol. 2, pp. 279-289.

Pérez Franco, D. (2001). «La explotación del agua subterránea. Un nuevo enfoque». Editorial Félix Varela. La Habana.

Pérez Franco, D. (2004). «Nuevo enfoque en el tratamiento de la intrusión salina en los acuíferos costeros». Memorias del Primer Taller de expertos en vulnerabilidad de acuíferos costeros en el Caribe insular. CUJAE. Ciudad de la Habana. Cuba. Octubre 12-15.

Rodríguez V. (1989). «Investigaciones hidrogeológicas a Cayo Coco». Trabajo de Diploma. Centro de Investigaciones Hidráulicas. Facultad de Ingeniería Civil. ISPJAE. Cuba.

Tarbox, D.L. and Hutchings, W. C. (2008). «Alternative Approaches for Water Extraction in Areas Subject to Saltwater Upconing». 20th Salt Water Intrusion Meeting 266. HSA Engineers & Scientists, Tampa, FL, USA.

Uranga B. Y. y Calle G. Y. (2006). «Uso de la Simulación numérica en el diseño y explotación sustentable de acuíferos costeros». III Seminario Internacional del Uso Integral del Agua. C. de la Habana. Cuba.

Recibido: Agosto del 2011
Aprobado: Septiembre del 2011