

Captación de agua subterránea por drenes horizontales en pequeñas islas

INTRODUCCIÓN

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

Resumen / Abstract

El trabajo valora diferentes tipos de obra de captación de aguas subterráneas en zonas costeras y en pequeñas islas, donde aparece la intrusión salina. Se describe la situación de algunos cayos que utilizan trincheras como captación y los inconvenientes ocasionados por penetraciones del mar asociadas a huracanes. Se insiste en no utilizar pozos de bombeo, ni someros, por los conos de intrusión y se recomienda sustituir las trincheras abiertas por drenes horizontales con sistemas de control de niveles y de calidad del agua en los colectores desde donde se bombearía el agua como si fueran depósitos. Esto reduce las pérdidas por evaporación, las afectaciones ambientales, la contaminación directa por arrastre de sólidos y disminuye la posibilidad de penetración del mar en esas captaciones.

Palabras clave: drenes horizontales, intrusión salina, pequeñas islas, cambio climático, modelación.

This paper evaluates different types of groundwater exploitation systems used in coastal areas and in small islands where seawater intrusion can occur. In many cases using open trenches for groundwater supply inconveniences appear because of seawater penetration associated with hurricanes. Pumping wells should not be used even shallow ones because of intrusion cones. It is also recommended to substitute open trenches by horizontal drains with control systems for levels and water quality in the collectors from where water would be pumped as if they were storage deposits. This also decreases evaporation losses, environmental drawbacks and contamination from drag of solids as well as reduces the possibilities of seawater penetration.

Keywords: horizontal drains, seawater intrusion, small islands, climatic change, modeling.

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.

Es importante destacar, que las grandes diferencias entre los niveles estáticos y dinámicos, producidos por los pozos de bombeo (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 subterráneas, sin un adecuado control, lleva a un deterioro acelerado de su calidad hasta convertirse en un problema irreparable a corto plazo. La variante de utilizar la combinación de pozos que de forma simultánea estén bombeando por debajo de la interfaz y en el lente de agua dulce (scavenger wells), como propone Zack and Ronneberg (2003), no debe ser tan económico como utilizar drenes horizontales y tiene el inconveniente de que una inadecuada operación del sistema pueda causar graves consecuencias atendiendo a que el medio no es homogéneo y que las tecnologías para el control de caudales, niveles y calidad del agua no están siempre disponibles para los pequeños países insulares en desarrollo, SIDS.

Aunque los pozos constituyen la principal obra de captación vertical 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 el país sino también para el Caribe. Estas también se ven amenazadas por las consecuencias de fenómeno de la intrusión salina e inten-

sificadas además por los ciclones y tormentas tropicales, López Infante (2002 y 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, garantizan 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, por Bowleg (2004) y Cayo Largo del Sur por López Infante (2004).

Con el objetivo de evaluar las mejores obras de captación en situaciones como las anteriormente descritas Tarbox y 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 V. 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.

Las trincheras de penetración superficial se utilizan en acuíferos libres, cuyo nivel freático está muy cercano a la superficie del terreno natural y donde el espesor de agua dulce por encima del nivel del mar en condiciones naturales es relativamente pequeño, por lo que para el régimen de explotación de las mismas se pueden seguir dos criterios: uno que considere la influencia del gradiente natural de acuerdo a Pérez D., (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 a Tarbox D. L. and Hutchings W. C. (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 a la ley de Ghyben-Herzberg, lo que se considera como un modelo de interfaz abrupta.

OBSERVACIONES SOBRE LAS TRINCHERAS REALIZADAS EN ALGUNOS CAYOS

- Caso North Andros Wellfield , Bahamas

De acuerdo con reporte de Bowleg II J.A., (2004), las características de este sistema son las siguientes:

- Consta de aproximadamente 33000 metros de trincheras abiertas y un total de 27 colectores de concreto prefabricados que conectan las trincheras mediante conductos circulares.

- Cada trinchera tiene 305m de longitud y 90cm de ancho y un máximo de 3 metros de profundidad, la profundidad del agua en la trinchera oscila de 1,5m a 2,4m

(desde el nivel del agua en la trinchera hasta su fondo).

- Cada colector tiene 1,2 metros de diámetro y entre 2,4m y 4,2 de profundidad.

Problemas con las trincheras de Andros.

- Considerando una lámina de evaporación desde superficies libres de 5mm/d, desde las trincheras se evaporan diariamente aproximadamente 2 lps (0.9*33000*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.

- **Caso Cayo Largo del Sur.**

De acuerdo con López E. (2004), Cayo Largo del Sur, ubicada según la Figura 1, tiene una longitud de 25 Km., y un ancho que varía desde 0,5 Km. en las partes estrechas hasta 3,5 Km. en las partes anchas, lo que representa un área total es de 37,5 km².

Las aguas subterráneas aprovechables se encuentran en las rocas de composición oolítica con un espesor que varía entre 10 y 13 m, las que ocupan más del 80 % del territorio del cayo, al igual que en Andros, las aguas dulces forman un lente, el que yace en equilibrio con las aguas saladas del mar y por de bajo de ellas se encuentran las calizas cársticas altamente salinizadas.

Según reconoce López E. (2004), las captaciones de las aguas subterráneas en Cayo Largo del Sur con un caudal total de explotación de 1400 m³/d, .. «no han sido construidas para huracanes de gran intensidad, son zanjas o trincheras techadas con tejas de fibrocemento sensibles a vientos huracanados y a la contaminación ambiental.

biental.

Una solución para el problema anterior, sería la sustitución de las trincheras abiertas por captaciones en forma de drenes soterrados, los que no son afectados por los huracanes, no modifican al medio ambiente y es mas difícil su contaminación».

En el trabajo de López E. (2002), cuando se habla de las altas difusividades hidráulicas, evidentemente se está haciendo referencia a los estratos inferiores con cierto grado de semi-confinamiento y en formaciones altamente carsificadas, donde se refleja el efecto de las mareas y se trasmite a las aguas subterráneas dulces de las rocas oolíticas, situación similar se presenta en Cayo Coco, donde las pruebas para la determinación de la conductividad hidráulica en estas últimas indicaban valores inferiores a lo 5 m/d.

Problemas con las trincheras de Cayo Largo del Sur

Se repiten los mismos problemas señalados en el caso de Andros, 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. Otro inconveniente es que las trincheras por sus dimensiones son unas modificaciones al medio ambiente natural de una zona turística



Figura 1. Tomada de López E. 2002

- **Caso Cayo Coco.**

Los datos que aquí se muestran fueron tomados Rodríguez V. (1989), donde se indica que cayo Coco está ubicado al norte de la provincia Ciego de Ávila, limitando al norte con el Canal Viejo de las Bahamas y con una extensión de 270 Km², de relieve llano y morfología cárstica.

El corte geológico indica que hasta profundidades de 3 a 10 metros existen calcarenitas y biocalcarenitas y posteriormente aparecen las calizas organógenas muy cavernosas.

Los gradientes de circulación varían de $7,4 \times 10^{-4}$ a $8,5 \times 10^{-4}$, y las cotas del agua en 14 calas varían entre 0,14m y 2,98m, con un valor medio de 0,93 metros.

Las conductividades hidráulicas en las calas determinadas por el método de cubeteo y por el método de Jacob son inferiores a los 5 m/d.

Se construyeron dos baterías de pozos someros compuestas por 10 y 20 pozos. La evaluación de la primera indicó mayores incrementos en la salinidad del agua que la obtenida en una trinchera de 3m de ancho y 160m de longitud.

Desde el punto de vista económico y tecnológico, hasta profundidades inferiores a los 4 metros las trincheras de penetración parcial son superiores a las baterías de pozos someros, pero desde el punto de vista ambiental y de enfrentamiento a los eventos extremos, son preferibles los drenes horizontales.

Las relaciones entre las oscilaciones de las mareas y

las fluctuaciones de los niveles de las aguas subterráneas reportados en Cayo Largo del Sur, también fueron observados en Cayo Coco, por lo que se hace muy difícil la construcción de mapas de hidroisohipsas y realización de ensayos de bombeo que no tengan la influencia de las variaciones producto de las mareas.

Los problemas señalados con las trincheras en el caso anterior también se manifiestan en este caso, por lo que no se repiten.

- Otros casos reportados en la literatura.

En el trabajo de Singh V.S. and Gupta C. P. (1999), se presenta un modelo conceptual de la isla Kavaratti con un ancho máximo de 1,4 Km. y 5,5 Km. de largo en el mar Árabe, existe mucha similitud desde el punto de vista hidrogeológico y se manifiestan los mismos fenómenos reportados en los casos anteriores entre las oscilaciones de las mareas y los niveles y calidades de las aguas en los puntos observados. En este caso no se utilizaron trincheras de captación, sino pozos someros de grandes diámetros entre 1 y 6 metros, profundidades entre 1 y 5 me-

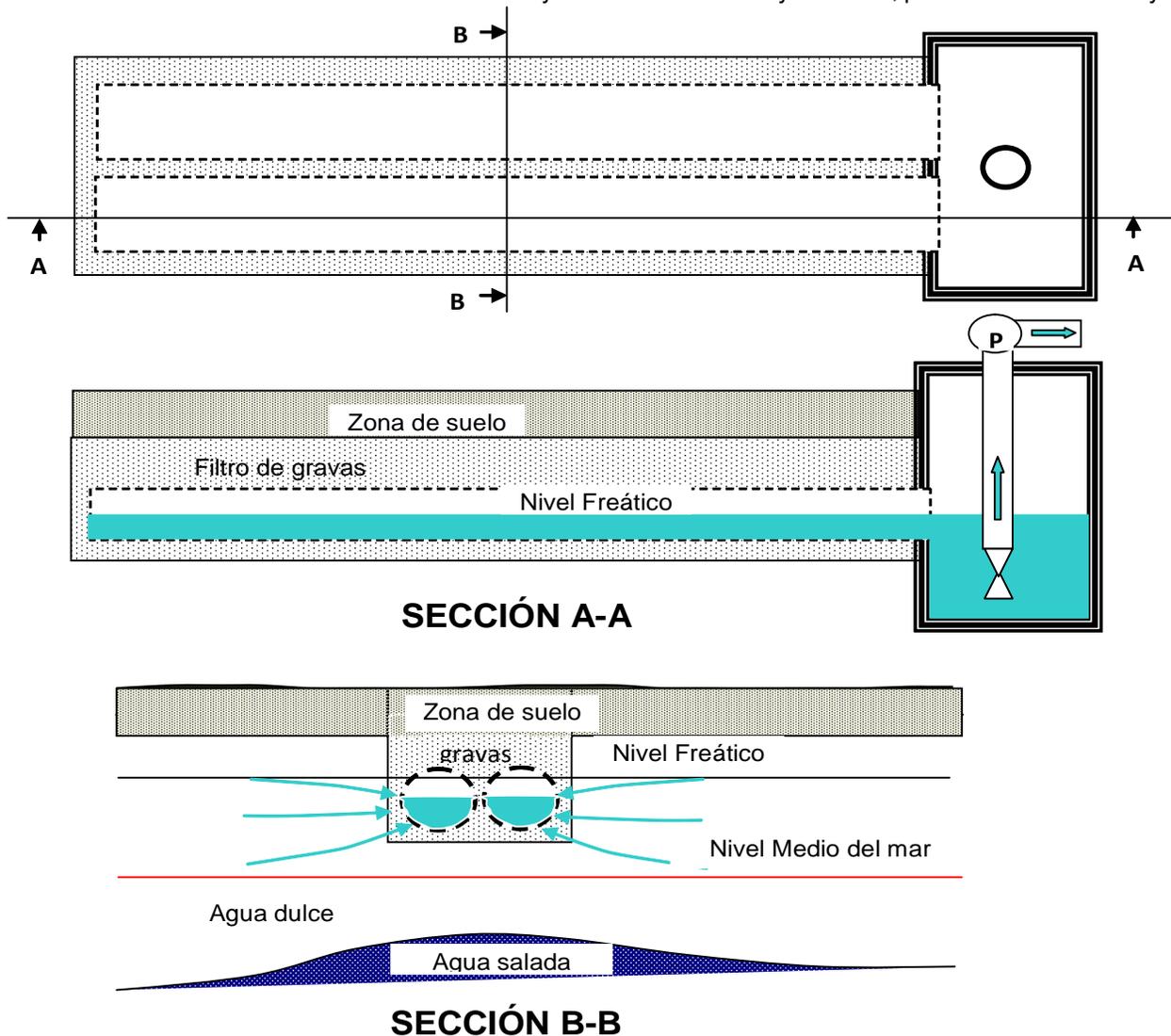


Figura 2. Esquema de colocación de drenes horizontales en trincheras abiertas

tros y el agua se encuentra entre 0,5 y 4 metros.

En el trabajo de Mailvaganam Y. et al. (1993), se demuestra que los drenes horizontales, denominados también como pozos horizontales, son factibles de construir incluso en formaciones no consolidadas, por lo que ha sido una alternativa insuficientemente utilizada en el aprovechamiento de las aguas subterráneas en los cayos y pequeñas islas amenazados por intensos huracanes, principal objetivo del presente trabajo.

PROPUESTA DE COLOCACIÓN DE DRENES HORIZONTALES EN TRINCHERAS

Conociendo la problemática de las afectaciones en las trincheras de Andros presentada por Bowleg, J.A. (2004), y en Cayo Largo del Sur mostrada por López Infante, E.D. (2004), en la reunión de GRAPHIC, celebrada en Bahamas, el autor de este trabajo presentó una ponencia donde se ilustra un posible sistema de drenes horizontales que pueden sin un elevado costo, ser instalados en las trincheras actuales, con el objetivo de resolver la mayoría de las insuficiencias señaladas a dicho sistema de captación en el presente trabajo, Hernández A. O. (2008).

La Figura 2 fue la presentada en Nassau y requiere de los siguientes comentarios:

- En cada trinchera se colocarían tantas tuberías perforadas de PVC, similares a las camisas ranuradas de pozos verticales, de acuerdo al ancho, profundidad de la trinchera y diámetros de las tuberías.
- La tubería inferior estaría en cotas iguales o superiores a los niveles medios del mar, (NMM)
- 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.
- 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.

FLUJO HACIA TRINCHERAS O DRENES HORIZONTALES EN ZONAS COSTERAS SIN GRADIENTE NATURAL

Con el objetivo de validar la posible utilización del programa AQUIMPE, Hernández Valdés A. O. et al. (2001), y su versión sobre Windows (WinAQE), para simular el caso de Andros dentro del proyecto GRAPHIC, se realizó un modelo numérico del funcionamiento de una trinchera o su equivalente como dren horizontal y se comparó con una solución analítica desarrollada por el propio autor, considerando el efecto de la variación del agua salada y

un modelo de interfaz abrupta de acuerdo a las siguientes hipótesis y esquema de cálculo.

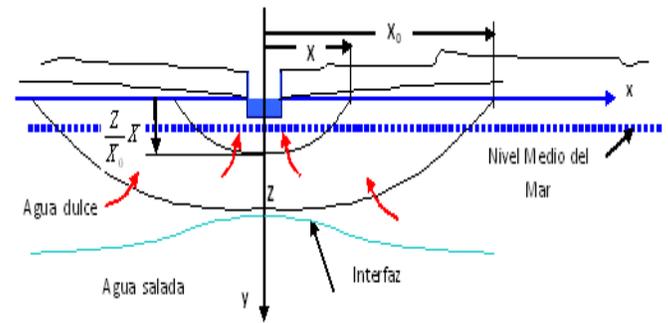


Figura 3. Esquema de cálculo

Considerando que las superficies transversales al flujo siguen la forma de un cilindro parabólico con vértice en el eje vertical y siguiendo la siguiente ecuación:

$$y - \frac{Z}{X_0} * X = -\frac{Z}{X_0 * X} * x^2$$

siendo X_0 distancia desde el centro de la trinchera hasta donde llega su influencia y Z profundidad de la interfaz de acuerdo a la ley de Ghyben Herzberg para la cota del agua en la trinchera durante el bombeo.

La longitud transversal al flujo sería:

$$S = \int_{-X}^X \sqrt{[1 + (\frac{2Z}{X_0 * X})^2 * x^2]} dx \dots\dots\dots(1)$$

El resultado de esta integral sería:

$$S = \left[\frac{2\beta}{\alpha} + \frac{\alpha}{4} \log\left(\frac{\beta+1}{\beta-1}\right) \right] X \dots\dots\dots(2)$$

donde: $\alpha = \frac{X_0}{Z}$ y $\beta = \sqrt{1 + \frac{\alpha^2}{4}}$

Para el caso modelado $X_0 = 200m$, $Z=20m$, por lo que: $a=10$, $b=5.099$ y por tanto: $S = 1.45125 * X$

De la ecuación de continuidad:

$$q = AU = S * 1 * K_D * \frac{dh}{dX}$$

donde h es la posición del nivel freático sobre el nivel del agua en la trinchera.

$$q \int_{X_1}^{X_2} \frac{dX}{S} = K_D \int_{h_1}^{h_2} dh = \frac{q}{1.45125} \int_{X_1}^{X_2} \frac{dX}{X}$$

Integrando se obtiene la siguiente ecuación:

$$h_2 - h_1 = \frac{q}{1.45125 * K_D} \ln\left(\frac{X_2}{X_1}\right) \dots\dots\dots(3)$$

Considerando la ley de Darcy, con $K_D=50$ m/d y un caudal $q = 4$ m³/d/m, para una trinchera de 0,5 m de ancho y de igual profundidad del agua en ella, el perímetro mojado sería 1,5 m, por lo que la X_1 correspondiente que genera igual superficie transversal al flujo sería de 1,0336 m.

Para $X_2=200$ m, $X_1=1,0336$, $h_1=0$, el valor de h_2 sería de 0,29m, similar al obtenido por la simulación. De haberse aplicado la ecuación de Pérez Franco D. (2001), para trincheras de penetración parcial:

$$h_2 - h_1 = \frac{q}{\pi * K_D} \ln\left(\frac{X_2}{X_1}\right) \dots\dots\dots(4)$$

El valor obtenido sería de $h_2=0.13$ m, valor muy poco conservador y mas alejado de lo simulado que el anterior, ya que supone mayor área transversal al flujo.

Si se evalúa la trinchera con la fórmula propuesta por Numerov para trincheras parcialmente penetrantes, Aravin, V.I. and Numerov, S.N. 1965.

$$Q = K_D * S_0 \left[\frac{2(H_0 - a) - S_0}{L + 0,5A} + \frac{1}{0,5 \frac{L}{a} - \frac{1}{\pi} \ln\left(\sinh\left\{\frac{\pi A}{4 a}\right\}\right)} \right] * W \dots\dots\dots(5)$$

- donde:
- Q: caudal en (m³/d)
- K_D : conductividad hidráulica de Darcy en m/d
- A: ancho de la trinchera en metros.
- a: distancia medida desde el fondo de la trinchera a la base del acuífero
- H_0 : espesor saturado del acuífero en metros.
- S_0 : descenso del agua en la trinchera.
- L: longitud de influencia en metros.
- W: longitud de la trinchera en metros.

De acuerdo con los datos anteriores se tendrían los siguientes valores:

$W = 1$ m, $A=0,5$ m, $H_0 = 32$ m, $a = 20$ m, $K_D = 50$ m/d, $Q = 4$ m³/d, $L = 200$ m

Al evaluar los resultados anteriores en (5), se tendría $S_0 = 0,287$ m, valor equivalente al obtenido por la fórmula propuesta por el autor.

En la Figura 4 aparece representada, la discretización utilizada en el modelo numérico, indicando en detalle la trinchera y los nodos de su eje donde fueron asignadas las extracciones, al demostrarse que el resultado era equivalente al de distribuir la explotación en todos los nodos que están contenidos en la trinchera.

En la Figura 5 aparecen los gráficos que muestran las soluciones analítica y numérica que representan la posición de la superficie libre del agua.

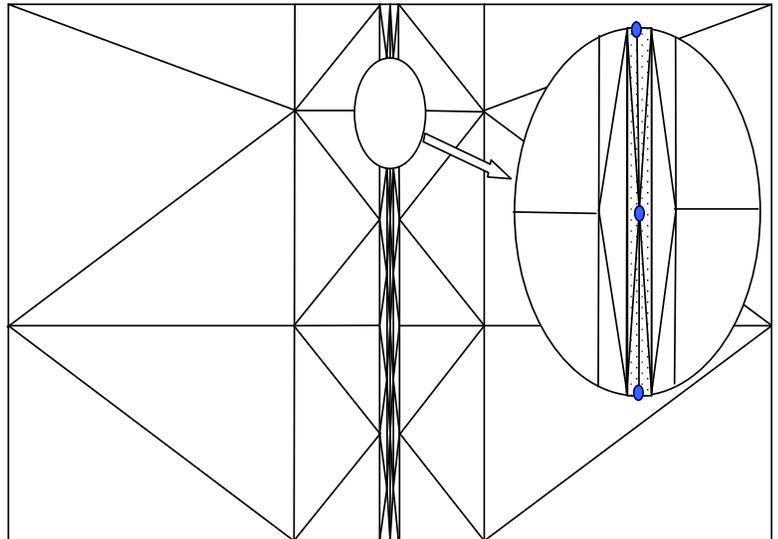


Figura 4 Discretización para simular una trinchera de 50m de longitud y 50cm de ancho con el software AQÛIMPE

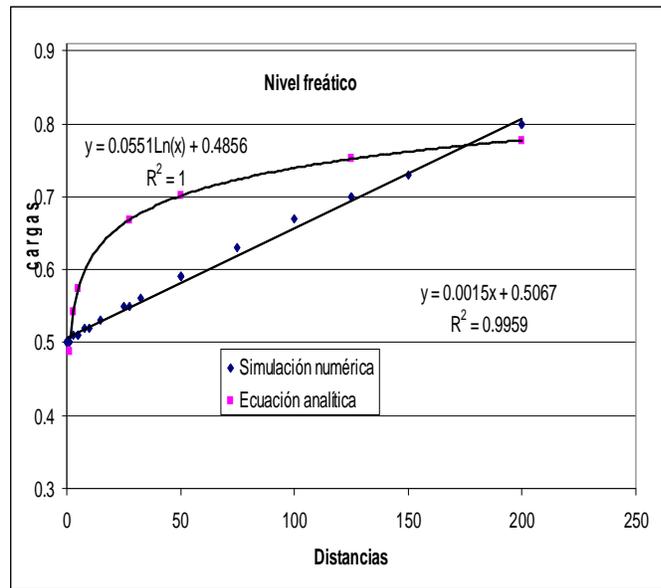


Figura 5. Soluciones numérica y analítica propuesta que representan al nivel freático

EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LAS TECNOLOGÍAS DE EXPLOTACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LAS PEQUEÑAS ISLAS

Los efectos del cambio climático en las pequeñas islas del Caribe insular, tiene varias aristas que es necesario considerar con vistas a mejorar los sistemas de captación de las aguas subterráneas. Por un lado los incrementos en las frecuencias de los eventos extremos en las manifestaciones de grandes periodos de sequías que reducirán las recargas de las aguas subterráneas y por lo tanto los espesores de los lentes de agua dulce disponibles para la explotación, los intensos huracanes afectando los sistemas de captación y por otro lado los pronósti-

cos a largo plazo de las sobre-elevaciones del nivel del mar y los incrementos en las demandas debido al desarrollo poblacional permanente y turístico, Zack A. and Ronneberg E., 2003.

En este trabajo se ha insistido en no utilizar pozos de bombeo aunque sean someros, por los conos de intrusión asociados a los mismos y pensar en sustituir las trincheras abiertas por drenes horizontales con sistemas de control de niveles y de calidad del agua en los colectores desde donde se bombearía el agua como si fueran depósitos de almacenamiento y regulación.

Es bueno insistir en que no es suficiente para lograr la sostenibilidad de las aguas subterráneas en las pequeñas islas las modificaciones a los sistemas de captación, sino que es necesario incluir tecnologías que mejoren la adquisición de datos, conocimiento del sistema acuífero y la modelación matemática en el diseño, operación y optimización de la explotación de estos recursos.

CONCLUSIONES

La utilización de los drenes horizontales en lugar de trincheras o pozos verticales en pequeñas islas como los casos mostrados, resulta la más conveniente obra de captación por las razones antes expuestas.

El empleo del programa AQUIMPE sobre Windows (WinAQE), para simular el sistema de trincheras o su equivalente a drenes horizontales como el caso de Andros dentro del proyecto GRAPHIC, es una alternativa factible y económica a corto plazo.

Las solución analítica presentada para simular el funcionamiento de trincheras o drenes horizontales en pequeñas islas considerando los efectos de la interfaz en la hidrodinámica del flujo, resulta ser un esquema sencillo de análisis de un problema altamente complejo.

Agradecimientos.

Quisiera agradecer al Ing. John Bowleg II, representante de Water and Sewerage Corporation de Bahamas, por los datos aportados del sistema de captación de North Andros Wellfield, a la Dra. María Concepción Donoso, Hidróloga Regional para América Latina y el Caribe de la UNESCO, así mismo al Dr. Henrique Chaves, Coordinador Regional del programa GRAPHIC de la UNESCO, por la invitación a participar en el taller de Bahamas, como experto representando a Cuba.

REFERENCIAS

- **Aravin, V.I. and Numerov, S.N. (1965).** Theory of Fluid Flow in Undeformable Porous Media, Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem, 511.
- **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.

- **Hernández Valdés A. O., Martínez Rodríguez J. B., Dilla Salvador F., Llanusa Ruiz H. (2001).** "Modelación de Acuíferos". Texto de la Maestría de Ingeniería Hidráulica. CIH, ISPJAE,
- **Hernández Valdés 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, 2008.
- **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.
- **López Infante E.D., (2002).** «La influencia de las mareas oceánicas en los acuíferos de Cayo Largo del Sur, Cuba». Groundwater and Human Development. Bocanegra, E - Martínez, D - Massone, H (Eds.) - ISBN 987-544-063-9
- **Mailvaganam Y., Ramli M.Z., Rushton K.R. Ong B.Y. (1993).** «Groundwater exploitation of shallow coastal aquifer in Sarawak, Malaysia. Hydrology of Warm Humid Regions. Proceeding of the Yakohama Symposium. July 1993. IAHS Publ. No. 216
- **Pérez Franco D. (1986).** «Flujo hacia una trinchera de captación superficial teniendo en cuenta el gradiente natural». Anais XII Congreso Latinoamericano 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.
- **Rodríguez Domínguez, V. (1989).** «Investigaciones hidrogeológicas a Cayo Coco». Trabajo de Diploma. Centro de Investigaciones Hidráulicas. Facultad de Ingeniería Civil. ISPJAE. Cuba.
- **Singh V.S. and Gupta C. P. (1999).** «Feasibility of groundwater withdrawal in a coral island». Hydrological Sciences. Journal des sciences Hydrologiques, 44(2). April 1999
- **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
- **Zack A. and Ronneberg E., (2003).** «Efficient water-supply development and management for small, arid, oceanic islands based on water use - towards the sustainable development of water and the reduction of waste». UNDESA.
- http://www.sidsnet.org/docshare/other/20031105152734_CUBA.CASE_STUDY2.doc