

El aeropuerto José Martí y peligros asociados al sistema de protección contra inundaciones

Armando O. Hernández Valdés. e-mail: ahernandez@cih.cujae.edu.cu

Centro de Investigaciones Hidráulicas. Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE). Cuba.

RESUMEN

A partir de los resultados del proceso de calibración de un modelo elaborado de un sector del acuífero Vento donde se encuentra ubicado el aeropuerto, se realizaron simulaciones de dos escenarios para conocer la respuesta del acuífero ante un evento extremo de similares características a las del ciclón Frederick. Los resultados mostraron que tal y como sucedió en el evento de referencia, los pozos de recarga se convierten en surgentes y que el período de descenso de los niveles es prolongado y de alrededor de 10 días. Se demuestra la vulnerabilidad del sistema de protección contra inundaciones que actualmente presenta el aeropuerto José Martí y los peligros de contaminación asociados, por lo que se recomienda sustituir el sistema actual de protección contra inundaciones del aeropuerto, por uno superficial.

Palabras clave: contaminación, hidrogeología, inundaciones, modelación matemática, peligros, vulnerabilidad

José Martí Airport and the risks associated to its flood mitigation system

ABSTRACT

José Martí International Airport is represented into a mathematical model of Vento aquifer. From the results of a calibration model of a section of Vento aquifer where José Martí International Airport is located, two scenarios have been simulated as to understand the aquifer response to extreme weather events with similar characteristics to hurricane Frederick. Results show how recharge wells are transformed into surging wells and the descending period of the groundwater level is prolonged to about 10 days. The findings point out the vulnerability of the current flood mitigation system and the pollution risks associated with it. Therefore, it is recommendable to substitute the current system by a superficial one.

Keywords: pollution, hydrogeology, floods, mathematical modeling, risks, vulnerability.

INTRODUCCIÓN

El sistema de protección contra inundaciones de aeropuerto José Martí ha sido objeto de preocupación de varias entidades desde los acontecimientos ocurridos por las intensas lluvias durante los días 9 y 10 de septiembre de 1979 (500 mm de lluvia en 36 horas), debidas al huracán Frederick, las cuales provocaron inundaciones de consideración durante diez días según se reporta en el informe de la empresa de Investigaciones y Proyectos, 2014

Entre las medidas implementadas estuvieron la perforación de pozos de recarga en el lugar del desplome de una caverna próxima a la Terminal No. 1 y la perforación de pozos de recarga en zonas aledañas a la pista del aeropuerto. Otros estudios valoraban la construcción de canales para conducir el agua a la zona de la laguna Ariguanabo y otros drenes superficiales, trabajos que nunca se ejecutaron.

Las afectaciones a las aguas subterráneas están relacionadas con peligros tecnológicos relacionados con la manipulación de los hidrocarburos y de los residuales líquidos. Es necesario tener en cuenta que si bien es cierto que los hidrocarburos atrapados en la zona no saturada producto de las fugas de los depósitos de almacenamiento o de las redes de distribución pueden permanecer largos periodos de tiempo, una vez puestos en contacto con la zona saturada producto del arrastre superficial o subsuperficial hacia los pozos de recarga, se pueden mover grandes distancias en cortos periodos de tiempo en las formaciones cársicas subyacentes hasta los acueductos próximos a dichas instalaciones y aguas debajo de los puntos de peligro potencial con afectaciones posibles hasta alrededor de 3 m³/s si consideramos los aportes totales de las cuencas Ariguanabo y Vento Almendares a los acueductos de Aguada del Cura, Taza de Vento, Cosculluela y otras obras de captación.

Ante fenómenos extremos de lluvias de gran intensidad, el sistema de drenaje del aeropuerto puede colapsar debido a que la capacidad de recarga del acuífero está limitada por estratos superiores de características impermeable, por lo que los pozos de drenaje se pueden convertir en pozos surgentes y posteriormente con la disminución de las lluvias en el proceso de recarga se pueden inyectar al acuífero importantes cantidades de sustancias contaminantes.

En el presente trabajo se ilustran los resultados de la simulación de un sector del acuífero Vento, que incluye el área donde se encuentra ubicado el aeropuerto José Martí.

GEOMORFOLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA

Características geológicas de la zona

El territorio estudiado fue fondo marino hasta hace once a doce millones de años, cuando se inició un lento, pero constante movimiento de ascenso que lo hizo emerger sobre el nivel del mar de esas épocas geológicas. Desde entonces ha estado sometido a procesos exógenos aéreos, de erosión y meteorización; que han sido los agentes modeladores del relieve actual.

El aeropuerto se encuentra sobre una depresión cársica, donde la cobertura es poco permeable y de materiales limo arenoso de color gris. En la figura 1 se presenta el mapa geológico de la zona, la cual, según López E. 2002, se caracteriza de la manera siguiente:

Formación Güines (Mioceno Inferior - Superior, N11-3 gn)

Se desarrolla en casi toda la llanura centro – meridional, ocupando aproximadamente el 45% del territorio municipal. En ella están enclavados numerosos repartos como Río Verde, Calabazar, El Globo, Rancho Boyeros y parte de Santiago de Las Vegas, además de grandes industrias. Está constituida por varios tipos de calizas de aspecto mayormente masivo, organógenas, organógeno-detríticas, coralinas, recristalizadas, dolomitizadas, arcillosas; en

menor grado dolomitas, calcarenitas y margas calcáreas, que transicionan de unas a otras en todas direcciones. Se caracterizan por un buen desarrollo del carso, tanto hipogénico como superficial. Yace concordantemente sobre las formaciones Colón, Jaruco y Cojímar y discordantemente sobre las formaciones Consuelo, Guanajay, Tinguaro y está sobreyacida a su vez, discordantemente por los depósitos Cuaternarios.

Sedimentos aluviales indiferenciados (Q)

Ocupan sobre todo los valles de inundación (zonas muy bajas entre 0 y 5 m de altura), generalmente sobre la Formación Güines. Hacia la parte meridional del territorio puede encontrarse una mezcla de limo arenoso de color gris y gris carmelitoso, con poco contenido de grava, provenientes de las diferentes formaciones presentes en el área.

El actual aeropuerto “José Martí” se asienta sobre rocas carbonatadas y carbonato-arcillosa de la formación Cojímar (edad Mioceno medio-parte baja), con un espesor no mayor de 45 a 50 m. Debajo yacen rocas, también carbonatadas, de la formación Jaruco (edad Mioceno inferior) con una potencia cercana a los 100 m, que afloran en las alturas de Cacahual. Ambas formaciones están afectadas por procesos cárscicos.

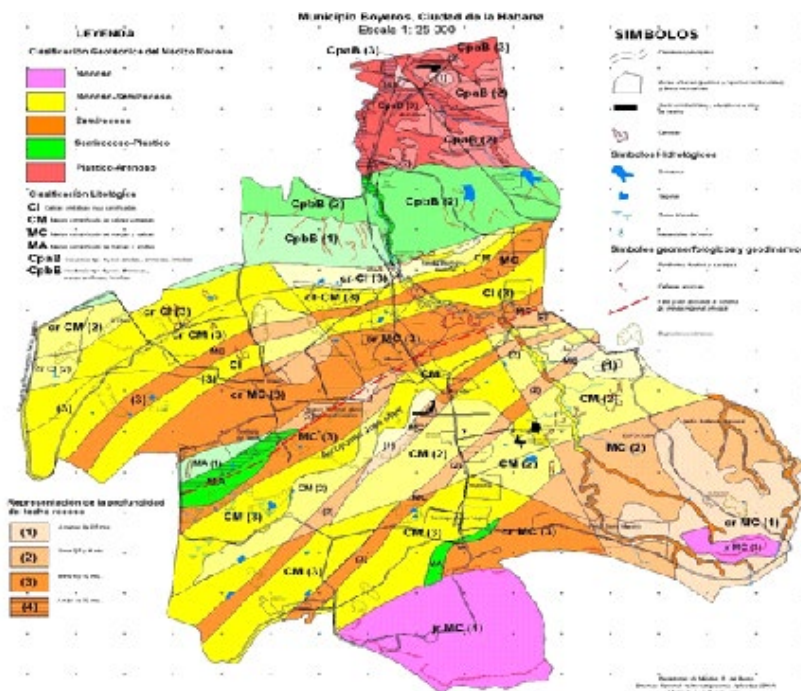


Figura 1. Mapa geológico de la zona de Boyeros

Formación Jaruco (Oligoceno Superior - Mioceno Inferior, P32 -N1 jr).

Tiene un desarrollo muy local, aflorando al suroeste, en un farallón en las inmediaciones de las alturas del Cacahual, cercano a la carretera Rincón - Bejucal y conformando un valle contiguo al sur. La constituyen calizas arcillosas, margas de color crema y amarillo - crema y margas organógenas deleznable de color blanco, todas ellas ligeramente fosfatadas. La unidad se caracteriza por ser masiva en su parte inferior y estratificada en su parte superior. Sobreyace de forma concordante a las formaciones Guanajay y Tinguaro, y es cubierta concordantemente por las formaciones Güines y Cojímar.

Formación Cojímar (Mioceno Inferior - Medio, N1 2 c)

Se expresa con amplia distribución en forma de bandas anchas en la parte central y meridional del municipio. En su área de distribución se desarrollan asentamientos poblacionales e industriales. Las mayores elevaciones del territorio, (Alturas del Cacahual) están vinculadas con esta unidad.

Litológicamente están constituidas por margas calcáreas a arcillosas, masivas, de color gris, frescas y amarillo crema cuando están alteradas, calizas biodetríticas de color blanco a blanco - crema, calcarenitas de matriz margosas y arcillas. Es común en las margas la presencia de fragmentos de microfósiles diversos.

Yace concordantemente sobre las formaciones Colón y Jaruco y discordantemente sobre las formaciones Consuelo y Guanajay. Es cubierta a su vez concordantemente por la formación Güines. Es un equivalente temporal de la secuencia baja y media de la Formación Güines.

En el capítulo III del EIA “Ampliación del aeropuerto internacional José Martí”, se realizaron las siguientes observaciones.

A kilómetro y medio al noroeste de la pista del aeropuerto corre una falla normal con dirección noroeste-suroeste. Toda el área del aeropuerto se ubica en el bloque hundido de dicha falla que actúa como control tectónico de la cuenca endorreica. En el bloque levantado afloran rocas algo más antiguas (formación Emanto del Eoceno superior) de composición margosa, las cuales pueden ser observadas en el poblado de Wajay. Hacia el noroeste, en Calabazar aparecen en superficie las calizas más jóvenes del entorno (formación Güines del Mioceno medio-parte alta), (figura 2). Todas estas formaciones están afectadas también de procesos cársicos.

En junio de 1996, la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA) realizó el estudio ingeniero geológico en el área de la Terminal 3. La cala más profunda (No. 23 con X= 355700, y Y= 352400) alcanzó 19,5 m y llegó hasta las rocas carbonatadas de la formación Cojímar. El resto de las calas realizadas permitió caracterizar el corte del terreno, (de arriba hacia abajo) del modo siguiente:

- Suelo ferralítico rojo - espesor promedio 0,5 m.
- Mezcla de suelo y fragmentos de calizas (relleno) - espesor medio 0,5 m.
- Arcilla roja plástica - espesor medio 1,5 m. Poco permeable.
- Bolsones de arcilla de diferentes colores (rojo, ocre, marrón) con fragmentos de calizas muy meteorizadas, espesor medio 10,5 m. Poco permeables.
- Calizas areno-arcillosas muy porosas (Formación Cojímar).



Figura 2. Perfil general “El Chico-Santiago de las Vegas” [EIA 1996]

Geomorfología

La geomorfología que caracteriza la región es la llanura cársica. En la región predominan las pendientes planas, (hasta un 10 %). Los elementos geomorfológicos más notables de la depresión endorreica Rancho Boyeros-Textilera son los siguientes:

- Hondonadas cársicas: La mayor ocupa el sector central de las pistas del aeropuerto y parte del área de la Terminal No.3. La cota mínima se ubica hacia el centro de la hondonada y es de +58 m. Otras hondonadas cársicas menores se localizan al sur de Fontanar.
- Dolinas cársicas: Oquedades semicirculares de 100 a 300 m. de diámetro que se expresan pobremente en la superficie del terreno, pero se observan bien en las imágenes de las fotos aéreas.
- Ausencia de cursos fluviales permanentes o semipermanentes en toda la extensión de la depresión lo que impide el drenaje eficiente de las aguas pluviales y provoca su estancamiento e inundaciones en épocas de grandes precipitaciones, agravado esto por la pobre permeabilidad de los suelos. Lo anterior es la causa de la presencia de pantanos y lagunas, cuya extensión y número se incrementan en dirección a la Textilera de Ariguanabo.
- El único curso fluvial de importancia relativa que transporta agua a la depresión es el río Govea y el único que drena desde la depresión es el río San Antonio de los Baños que nace en el mismo borde de la citada depresión y corre hacia el sur a lo largo de unos 8 kilómetros hasta escurrirse totalmente a través de un sumidero cársico.

El carso superficial se manifiesta en forma de hondonada y dolinas, pero el más importante es el carso subterráneo. La formación Cojimar y Jaruco presentan capas alternas de calizas porosas afectadas por procesos cárnicos y capas de calizas margosas no carsificadas. El espesor total de ambas formaciones puede alcanzar hasta 150 m. La inclinación general de las capas es suave (no mayor de 5° - 6°) hacia el norte.

La geomorfología que caracteriza la región es la llanura cársica. Esta llanura suavemente ondulada sólo está alterada por los bloques de levantamiento contemporáneo, estos bloques se levantan de 1 a 2 m sobre el medio circundante. Constituida por sedimentos carbonatados del Mioceno, por lo cual el carso está bien desarrollado y da lugar a extensos campos de lápiez y algunas grutas.

Es una región de llanura estructuro-fluvial, carsificada, cuya altitud disminuye desde los bordes hacia el interior; por ejemplo, desde cota de +90 a +100 m al SW, en el área de Santiago de las Vegas, hasta una cota de +60 a +70m, o menos, hacia el centro en Boyeros, donde se encuentra el aeropuerto).

La geomorfología es un elemento complejo que agrupa diversos aspectos del medio. El aspecto descriptivo fundamental de la geomorfología es la topografía. Otros aspectos a tener en cuenta son la pendiente y la altitud. Para el caso de las obras de la ampliación, el terreno mantiene su clasificación como terrero llano, por lo que no hay cambios apreciables en la topografía del área. El impacto es irrelevante.

Los fenómenos físicos geológicos en la zona estudiada están representados por los sedimentos arcillosos de cobertura y el gran desarrollo del carso en las calizas cavernosas de la formación Güines.

Hidrogeología

Como se puede apreciar en la figura 3, la zona del aeropuerto se encuentra en la cuenca Ariguanabo-Almendares, ubicada en la zona descarga del acuífero Ariguanabo.

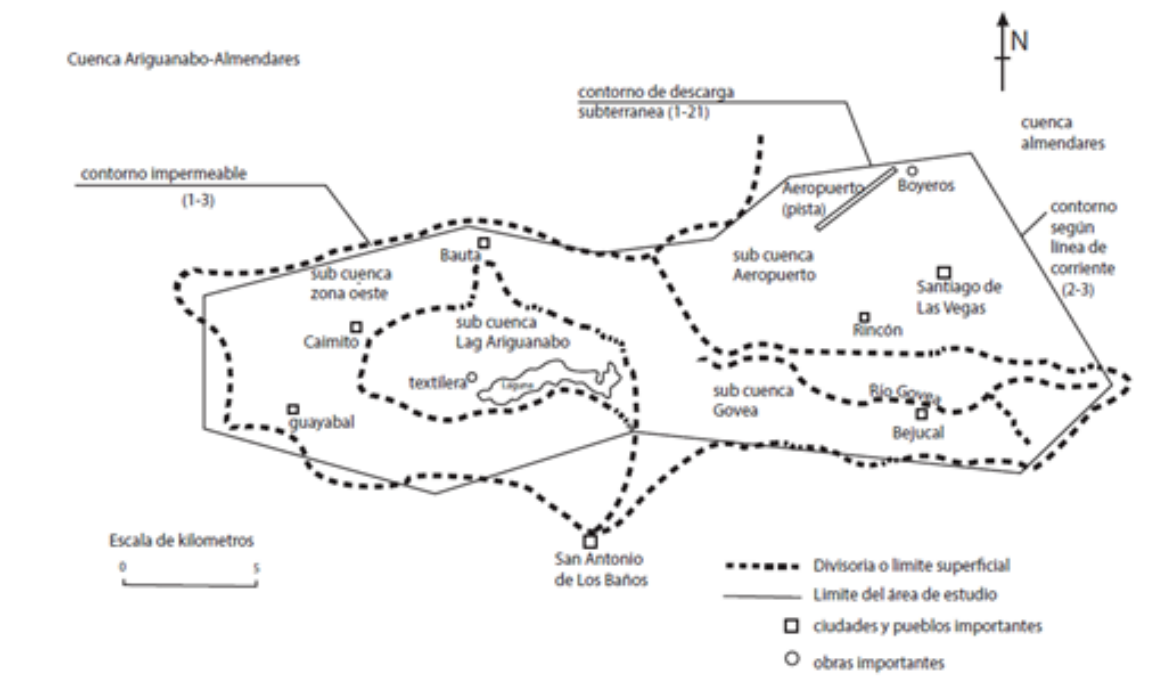


Figura 3. Cuenca Ariguanabo-Almendares

En las figuras 4 y 5 se pueden apreciar que aguas abajo del aeropuerto José Martí y no muy lejos de este, existen varias fuentes de abasto de la ciudad de La Habana.

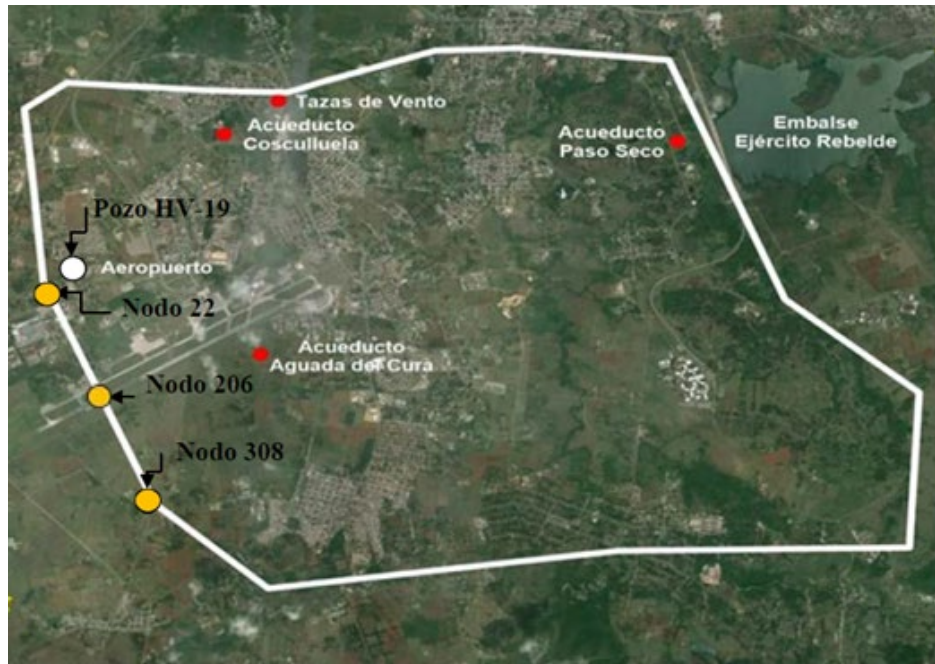


Figura 4. Imagen satelital del aeropuerto y acueductos [Cabrera 2014]

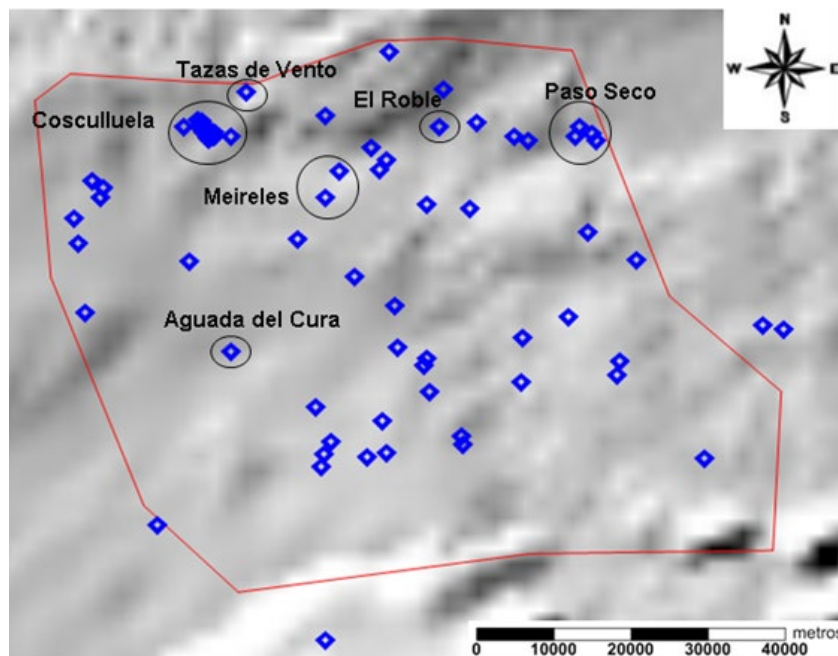


Figura 5. Otras fuentes de captación de aguas subterráneas [Cabrera 2014]

El acueducto Cosculluela se explota hace aproximadamente 50 años y cuenta con 9 pozos de 50-70 m de profundidad, ubicados en un área de 50 x 150 m. El gasto total de extracción es de 0,8-1,65 m³/s.

De los acueductos antes mencionados se muestran la imagen del acueducto Aguada del Cura, próximo a la Terminal 1 del aeropuerto, el cual utiliza una galería de captación que tiene una longitud de 600 m, unida a un pozo central de un diámetro de 15 m y una profundidad de 3,5 m. El gasto de la fuente varía de 0,5 a 1,36 m³/s y está explotándose desde hace más de 80 años.

Otro acueducto que por su importancia histórica y por la magnitud de los aportes de abasto a la ciudad de la Habana, es el acueducto de Vento que utiliza como obra de captación de los manantiales las Tazas Grande y Chica que se muestran en la imagen satelital de la figura 6. Las Tazas de Vento se explotan desde finales del siglo XIX, su gasto depende de los niveles del agua subterránea y varían de 0,76 a 3 m³/s y constituye el principal punto de descarga del acuífero Vento.



Figura 6. Tazas Chica y Grande de los manantiales de Vento [Cabrera 2014]

MODELACIÓN MATEMÁTICA DE UN SECTOR DEL ACUÍFERO VENTO

Como parte de investigaciones realizadas para evaluar el impacto de la operación de los acueductos a que se hicieron referencia anteriormente sobre los manantiales de Vento, se modeló un sector del acuífero Vento cuyos límites se indicaron en la figura 4, (Cabrera, 2014 y Chirinos 2015).

Con posterioridad a los trabajos mencionados anteriormente, se procedió a realizar una nueva calibración considerando entrada subterránea desde el acuífero Ariguanabo, posteriormente se realizó la simulación de los años 2004 y 2005, donde los períodos húmedos del 2005 provocaron oscilaciones importantes en los niveles de las aguas subterráneas.

En la figura 4 se indican las ubicaciones del pozo de observación HV-19 y del nodo 22.

En la figura 7 se comparan los datos de los niveles observados y los simulados durante los años 2004 y 2005, de donde se puede observar una buena correspondencia.

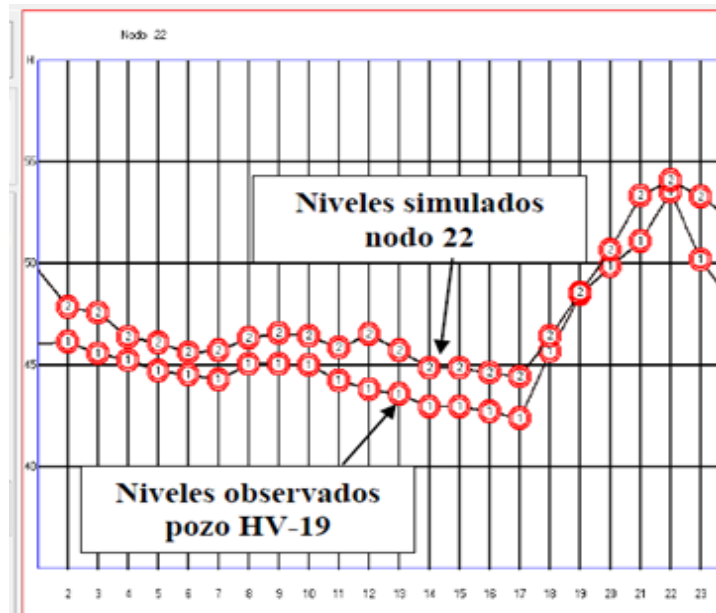


Figura 7. Niveles simulados en el nodo 22 y observados en el pozo HV-19, correspondiente a los años 2004 y 2005

Los mapas de hidroisohipsas o curvas de nivel de las aguas subterráneas simulados: a finales del periodo seco del año 2005 (Abril) y a finales del periodo húmedo del propio año (Octubre), se muestran en las figuras 8 y 9.

El comportamiento de las curvas de nivel de ambos periodos es similar, solo variando los gradientes de flujo, pero no las direcciones principales del flujo, desde la zona del aeropuerto hacia las fuentes de abasto (indicadas con color rojo), por lo que cualquier contaminante seguiría dicha dirección preferencial.

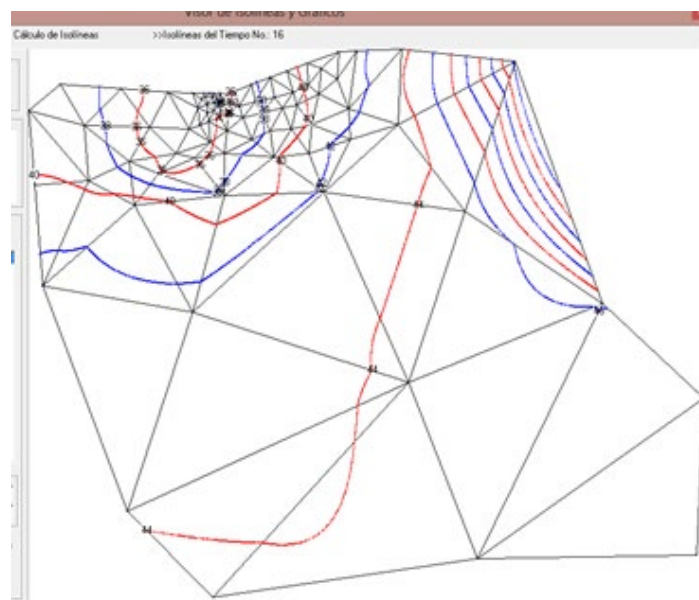


Figura 8. Mapa de hidroisohipsas simulado correspondiente a finales del periodo seco del 2005

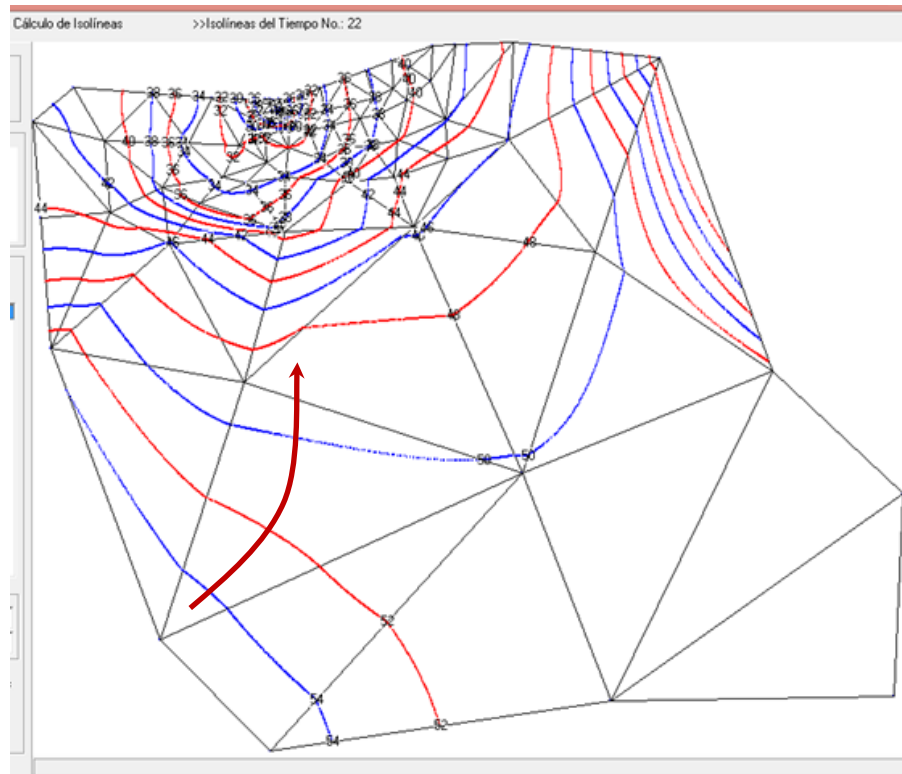


Figura 9. Mapa de hidroisohipsas simulado correspondiente a finales del periodo húmedo del 2005

SIMULACIÓN DE UN EVENTO EXTREMO A FINALES DE UN PERÍODO HÚMEDO (OCTUBRE 2005)

Con el objetivo de valorar mediante la simulación, lo que pudiera suceder al producirse al final de un periodo húmedo, un evento extremo de similares características al ya señalado del ciclón Frederick del año 1979, se realizó una simulación con pasos de tiempo de 6 horas y con una lámina de lluvia de 500 mm en 36 horas, utilizando como estado inicial el correspondiente a octubre del 2005 y con una explotación del 50% de la usual para las fuentes de abasto.

Para ilustrar la importancia del comportamiento hidrodinámico del acuífero, se simularon dos casos: el primero considerando que el acuífero siempre se comportara como libre, utilizando el coeficiente de almacenamiento obtenido del proceso de simulación y otra variante, suponiendo que este funcionara como confinado con un coeficiente de almacenamiento cien veces inferior.

Los resultados obtenidos se muestran en las figuras 10 y 11, donde se puede apreciar que los pozos del aeropuerto se convierten en surgentes, ya que las cotas piezométricas son superiores a las del terreno y que el proceso disminución de los niveles es muy lento, pudiendo llegar a varios días la inundación, tal y como sucedió durante el huracán Frederick cuando aviones quedaron en zonas inundadas por varios días.

Cuando el acuífero comienza a trabajar como confinado, el nivel piezométrico de las aguas subterráneas supera rápidamente el nivel del terreno y la surgencia es superior.

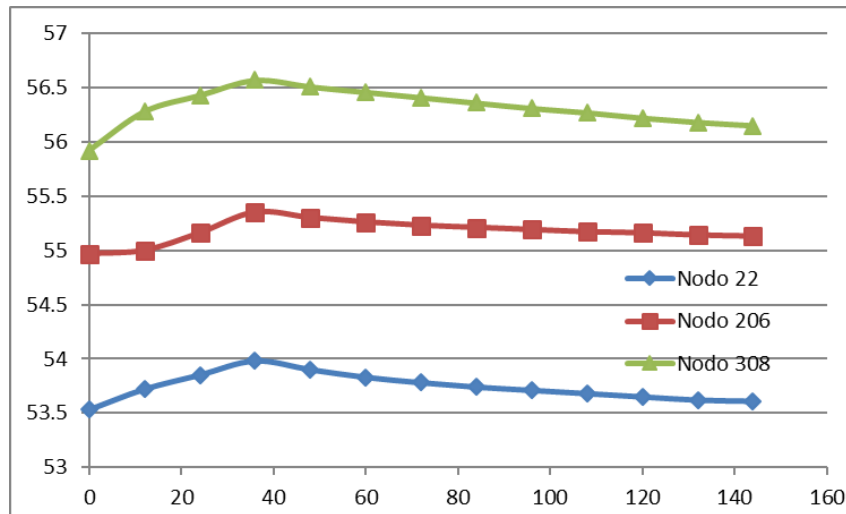


Figura 10. Niveles simulados en los nodos indicados en la figura 7 considerando que el acuífero trabajara como libre

De acuerdo con los resultados mostrados anteriormente, se alerta a las empresas interesadas de que el sistema actual de control de inundaciones mediante pozos de recarga deja de ser efectivo frente a eventos extremos por intensas lluvias a finales de un periodo húmedo.

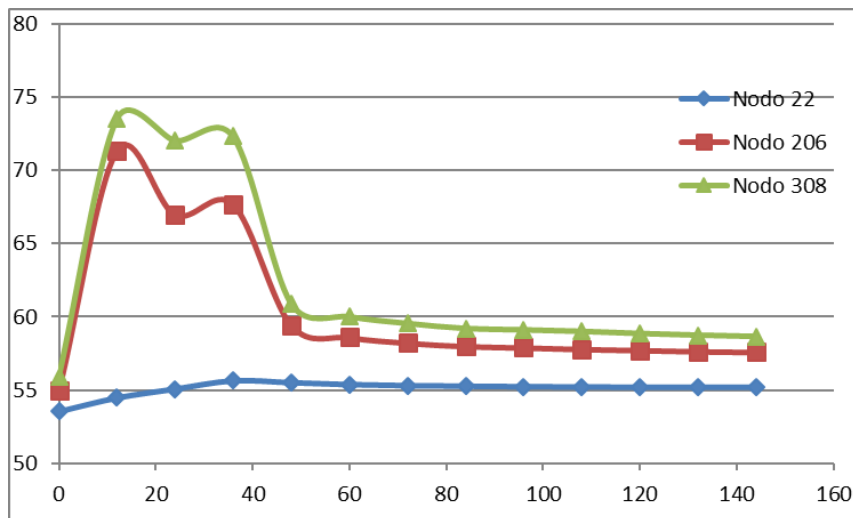


Figura 11. Niveles simulados en los nodos indicados en la figura 7, considerando que el acuífero trabajara como confinado

Beilin V., 1984, plantea que el sistema de recarga construido podrá ser efectivo (con condiciones de nivelación y organización de todo el sistema) solamente en los años que se produzca una inundación local en lugares aislados y durante un tiempo pequeño, sin una elevación apreciable del nivel de las aguas subterráneas y sin el remanso del agua subterráneo de las áreas que le rodean.

Recomienda una serie de investigaciones especiales para la realización de la probabilidad de cálculo de las precipitaciones y el balance hídrico general. Este trabajo presupone como cota

máxima de inundación 52.50 por las características técnicas de las instalaciones del aeropuerto: Pista de aterrizaje, base técnica y terminal aérea.

En el estudio de la empresa de Investigaciones y Proyectos, 2012, sobre el estado del sistema de drenaje del aeropuerto José Martí, indica su estado deplorable al estar solo en capacidad de funcionamiento el 25% aproximadamente de los pozos construidos.

También se alerta sobre el sistema de control de inundaciones mediante pozos de recarga construido en el área del desplome de una caverna al lado de la avenida Van Troi por la que se accede a la Terminal 1 del aeropuerto y que se ilustra en la figura 12, la cual agrava la situación por encontrarse aguas arriba del aeropuerto.



Figura 12 Pozos de recarga en la zona hundimiento desplome de una caverna.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El sistema actual de protección contra inundaciones del aeropuerto José Martí mediante pozos de recarga solo es capaz de evitar estas, cuando el nivel de las aguas subterráneas esté profundo y alejado del techo del acuífero y no sean lluvias intensas y prolongadas, ya que menos del 50% de los pozos son capaces de funcionar de forma aceptable.

De producirse un evento extremo de intensas lluvias al final de un periodo húmedo, los pozos de recarga pueden convertirse en surgentes, incrementando las inundaciones y provocando el cierre del aeropuerto por varios días.

Los peligros de contaminación de las aguas subterráneas por el arrastre de residuales líquidos de las actividades aeroportuarias, se incrementa significativamente por el sistema actual de pozos de recarga.

Los pozos de recarga situados en la depresión del terreno al lado de la avenida Van Troi, es altamente peligrosa por no disponer de sistemas de protección contra la contaminación de las aguas subterráneas y contribuye a incrementar los peligros de inundación del aeropuerto.

Recomendaciones

El sistema de drenaje actual de las aguas pluviales mediante pozos de recarga en la zona del aeropuerto José Martí debe ser sustituido por uno superficial porque no es posible garantizar la protección de las aguas subterráneas de la contaminación y con la posibilidad de que estos se

conviertan en pozos surgentes en lugar de pozos de recarga.

Ubicar todos los pozos y calas, para que una vez construido el nuevo sistema de drenaje, proceder al sellado de estos y de esa forma garantizar la protección contra la contaminación de las aguas subterráneas.

REFERENCIAS

Beilin V. (1984) Informe para la argumentación hidrogeológica del proyecto de medidas contra inundaciones del Aeropuerto “José Martí” y de la Textilera “Ariguanabo”. Archivo EIPHH.

Borden R. C. and Kao C. M. (1992) “Evaluation of groundwater extraction for remediation of petroleum-contaminated aquifers”. *Water Environment Research*. Vol. 64, No. 1 pp 28-36. ISSN: 1554-7531

Cabrera E. (2014) “Modelación matemática del acuífero de Vento”, Trabajo de Diploma. Instituto Superior Politécnico “José A. Echeverría”, La Habana, Cuba.

Chirinos D. (2015) “Modelación matemática de un sector del acuífero Vento”. Trabajo de Diploma. Instituto Superior Politécnico “José A. Echeverría”, La Habana, Cuba.

López E. (2002). “Estudio hidrogeológico para el drenaje pluvial de Santiago de las Vegas y repartos Mulgoba y Primero de Mayo”. *Investigaciones y Proyectos Hidráulicos Habana del INRH*.

GEMA-MES (2014). “Estudio de Impacto Ambiental. Ampliación del aeropuerto internacional José Martí”.

Hernández A. (2000). “Modelación del transporte de productos del petróleo en las aguas subterráneas en un acuífero poco profundo próximo al poblado de Güines. Cuba”. *Memorias del XIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica*. Tomo II, pág 13-22. ISBN: 9789503302682. Córdoba. Argentina.

INRH. (2012). “Estudio hidrogeológico drenaje pluvial taller de reparaciones de aeronaves aeropuerto internacional José Martí”

INRH. (2014). “Estudio hidrogeológico para el drenaje con pozos de la ampliación Terminal 3 del aeropuerto José Martí”.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Contribución de los autores.

Armando O. Hernández Valdés <https://orcid.org/0000-0002-2479-6854>

Realizó el artículo en su totalidad.