

Estudio de vulnerabilidad en un sector del municipio San Antonio de los Baños, la Habana

Rosa Ma. Leal ⁽¹⁾, Leslie Molerio ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ Instituto de Geofísica y Astronomía. Calle 212 No.2906, La Lisa, C. Habana, CP 11600, Cuba.

Recibido: enero-octubre, 2003	Aceptado: noviembre, 2003
-------------------------------	---------------------------

Resumen

La cuenca Ariguanabo constituye una de las fuentes de abasto de Ciudad de la Habana. Su actual estado de contaminación hace necesario la realización de investigaciones hidrológicas, mediante la aplicación de métodos rápidos y económicos. En el presente trabajo se aplicaron los modelos determinísticos de simulación de las curvas de retención de humedad RETC y ADRIANA, en diferentes localidades asociadas al nivel de cavernas actuales. Las variables estudiadas fueron: contenido de agua residual, contenido de agua saturada, conductividad hidráulica, presentándose las curvas de retención de humedad.

Como resultado de la investigación se han definido y caracterizado los procesos que controlan el transporte de masa en la zona no saturada, lo que permitió establecer una diferenciación del área, en relación con la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación.

El trabajo constituye una importante fuente de información, por profundizar en el conocimiento de un sector de la cuenca, el mismo tendrá aplicación directa en la ejecución de proyectos de protección ambiental y gestión integrada de los recursos hídricos superficiales y subterráneos de la cuenca Ariguanabo.

Palabras clave: Vulnerabilidad y riesgos.

Abstract

The Ariguanabo basin one of the sources of supply of City of the Havana constitutes. Their current state of pollution makes necessary the realization of hydrological investigations, by means of the application of quick and economic methods. Presently work the model deterministic of simulation of the curves of retention of humidity RETC and ADRIANA were applied, in different towns associated to the current caving development of the basin. The studied variables were: content of residual water, content of saturated water, hydraulic conductivity, being presented the curves of retention of humidity.

As a result of the investigation they have been defined and characterized the processes that control the transport of mass in the not saturated area, what allowed to establish a differentiation of the area, in connection with the vulnerability of the aquifer to the pollution.

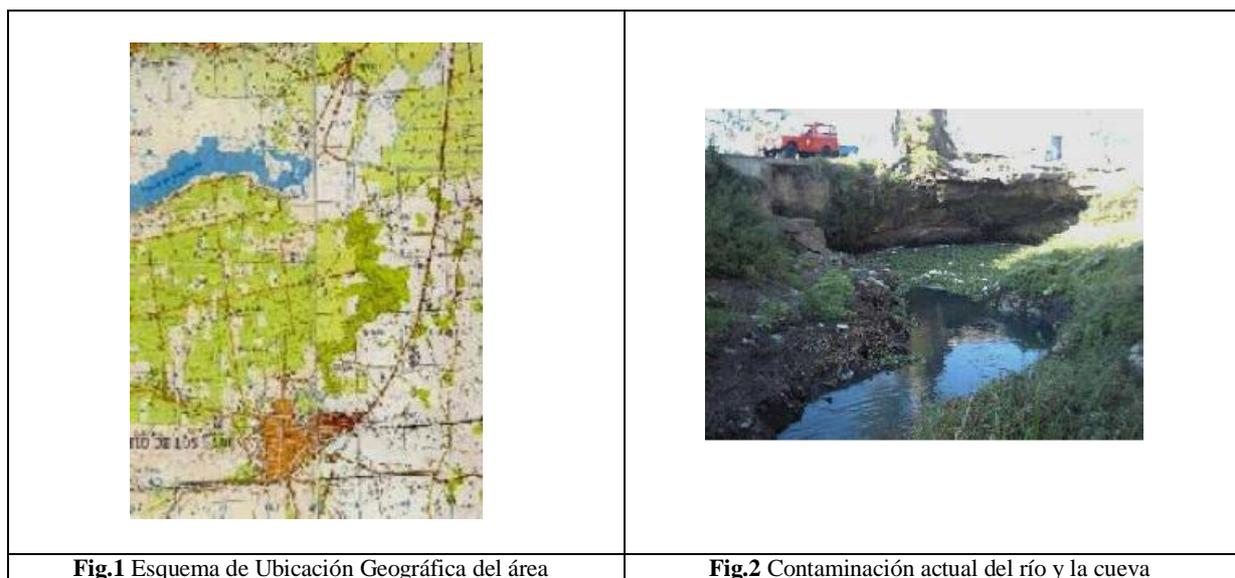
The work constitutes an important source of information, the same one will have direct application in the execution of projects of environmental protection and integrated administration of the resources superficial hydrological and undergrounds of the Ariguanabo basin.

Key words: Vulnerability and risks

Introducción

Hoy día se presenta la problemática de la contaminación de las aguas de la cuenca del río San Antonio, por vertimiento de residuales industriales y urbanos sin tratamiento o deficientemente tratados. (Fig.2. Entrada de la Cueva Sumidero).

En relación con esta problemática ha sido realizada esta investigación en la zona donde se ubica el poblado de San Antonio, localizado en la provincia La Habana (Fig.1), al Sur de la provincia Ciudad de La Habana. El objetivo de la investigación es identificar los procesos que controlan el transporte de masa, y de caracterizar el área en relación con el grado de vulnerabilidad a la contaminación, teniendo en cuenta que la misma se ha desarrollado sobre rocas calizas pertenecientes a las unidades estratigráficas: formación Cojimar de edad Mioceno Medio y a la formación Güines de edad Mioceno Medio Tardío.



El trabajo que presentamos, constituye un resultado del proyecto “Protección Ambiental y Gestión Integrada de los Recursos Hídricos y Subterráneos de la cuenca Ariguanabo”. En el mismo brindamos el estudio de los procesos de transporte de masa en la Zona No Saturada (ZNS) de las cuevas Sumidero, El Cholo, Sima del Pequeño Padirac, El Taller y Eustaquio y una caracterización de la zona en que se localiza el poblado de San Antonio atendiendo al grado de vulnerabilidad a la contaminación, lo cual ha sido representado a escala 1: 50 000. A continuación se muestran las coordenadas geográficas de ubicación de las cuevas.

Tabla 1. Localización de las cuevas estudiadas

Nombre de la cueva	Coordenada (X)	Coordenada (Y)
Sumidero	345 950	340 650
Eustaquio	346 150	340 400
Sima del Pequeño Padirac	346 850	340 150
El Taller	347 100	340 550
El Cholo	346 450	340 600

Materiales y métodos

La metodología utilizada ha sido empleada en diferentes estudios hidrológicos realizados en otras regiones del país, por el Centro de Investigaciones de los Recursos Hidráulicos.

Se utilizaron de los datos derivados de la aplicación de los modelos (RETC y ADRIANA), además de emplear la base topográfica a escala 1:50 000, el mapa de Suelos, mapa geomorfológico y el mapa geológico, los cuales fueron analizados de forma conjunta.

Con la información disponible se logró definir los procesos de transporte de masa que tienen lugar, realizar el mapa de vulnerabilidad a la contaminación atendiendo a la metodología que se utiliza en el Instituto Superior José Antonio Echeverría (CUJAE), y caracterizar cada una de las zonas diferenciadas en el mismo.

Resultados y discusión

De la utilización de los modelos se obtuvieron, los gráficos de las curvas de retención de la conductividad y difusividad, para cada una de las cuevas donde se hizo el muestreo, tres de ellas localizadas en el núcleo urbano de San Antonio. Estos han permitido conocer para un instante dado el avance del frente de humedad desde la superficie del terreno hasta la zona saturada. A continuación se analizará el comportamiento de las curvas para cada cueva.

Cueva Sumidero

La curva de difusividad presenta un comportamiento ascendente. Con respecto a los valores de difusión ocurre que aumentan desde los primeros centímetros hasta el primer metro y luego se hace más lenta hasta tener un comportamiento casi estable de estos valores hacia el extremo final.

Con respecto a los valores de conductividad ocurre de manera similar, manifestándose el mismo tipo de curva e igual tendencia de estos valores hacia el extremo final (Ver Fig. 8).

Del análisis de los gráficos para la cueva Sumidero se puede afirmar que los procesos de volatilización, infiltración y degradación predominan sobre el retardo-adsorción, evidenciado en el valor de 0.007 de retención a una profundidad de 10 cm, el cual constituye uno de los valores más pequeños en el área de estudio.

Cueva El Cholo

Es característico que los valores de la difusividad presenten un comportamiento invariable entre el rango de 0.15 % hasta 0.28% de retención y posteriormente comienzan a ascender de forma brusca hasta alcanzar los 0.37%, y a partir de allí su tendencia es a la estabilidad.

Un aumento similar a la curva de difusividad presenta la curva de conductividad, aunque la tendencia al aumento de estos valores es mayor (ver figura 9).

En esta cueva ocurre que tanto los procesos de volatilización, infiltración como la degradación son más determinantes que los de retardo-adsorción, si se tiene en cuenta que en esta cueva tiene lugar a los 10 cm de espesor de la ZNS, el menor valor de retención (0.002 %) del área.

Cueva Sima del Pequeño Padirac

Los valores de difusividad son constantes para una retención comprendida entre el 0.15 % y los 0.28 % de retención. A partir de aquí comienza un cambio brusco con tendencia a la estabilidad, al final de la curva, definida por valores de contenido de agua de alrededor del 40%.

La curva se manifiesta de forma similar a la anterior, presentando un mismo nivel de los valores de retención. Es característico que para los primeros 50 cm, existe un ligero aumento de los valores de retención, los cuales descienden de forma suave, manteniendo una tendencia a la disminución.

Esta cueva se distingue por el valor medio (0.01%) de retención en comparación con la mayoría de las cuevas. Esto ocurre a los 50 cm de espesor de la ZNS, lo que permite caracterizarla como reguladora del movimiento de los contaminantes porque predominan los procesos de retardo-adsorción y degradación sobre los restantes procesos que ocurren en la zona vadosa.

Cueva El Taller

La curva de difusividad comienza a manifestarse a partir de 0.15% de retención, siendo constante hasta los 2.7% y a partir de este valor comienza a ascender gradualmente hasta estabilizar nuevamente a los 0.39 %.

El gráfico de la conductividad tiene un desarrollo ascendente, se inicia en el valor 0.15% de retención y crece gradualmente hasta 0.43%. Es significativo la constancia que presenta la curva en su comienzo desde 0.15 a 0.25% de retención (ver figura 11).

En la cueva El Taller el comportamiento de la ZNS es similar al de la cueva Sima del Pequeño Padirac, a los 50 cm de profundidad ocurre el mayor valor de retención (0.01 %), provocando un lento movimiento de los contaminantes hacia la zona saturada del acuífero.

Cueva de Eustaquio

El gráfico de difusividad, muestra el comportamiento ascendente de la curva. Es característico para esta cueva que los valores de la difusividad permanecen constantes con relación al contenido de agua en el rango de retención comprendido entre los 0.12 % y los 0.27 % de retención. A partir de este último valor comienza a aumentar de

forma brusca hasta los 0.37 % y continua incrementándose gradualmente a partir de este valor, logrando una ligera estabilidad.

La conductividad hidráulica presenta un comportamiento similar, aunque el aumento de estos valores es más pronunciado hacia el extremo final de la curva (Ver Fig. 12).

Para esta cueva se define el mayor valor de retención (0.1%) a los 10 cm de profundidad y tiene lugar precisamente donde el espesor de la ZNS es el mayor (15 m), en relación con el resto, predominando los procesos de retardo-adsorción, lixiviación y degradación, lo que hace positivo el papel de la ZNS, en relación con el control del movimiento de los contaminantes hacia la zona saturada.

En relación con la difusividad y la conductividad ambas se interpretan en función del carso y las condiciones estructurales existentes, están estrechamente vinculadas a la disminución de la aceleración del movimiento de los contaminantes hacia la zona saturada. Sus valores van incrementándose hasta llegar a estabilizarse, por ello se identifica a la ZNS como conductora desde el punto de vista hidráulico.

A continuación se muestran las curvas de retención para cada una de las cuevas estudiadas, a partir de los modelos.

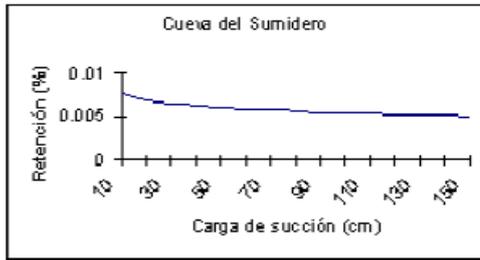


Fig. 3 Gráfico de la Curva de Retención. Modelo Adriana

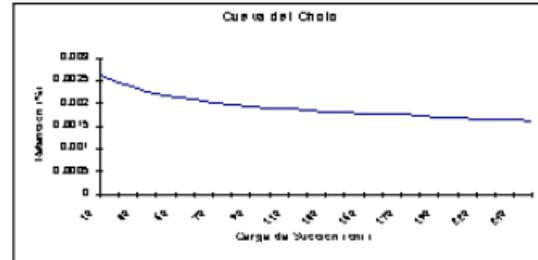


Fig. 4 Gráfico de la Curva de Retención. Modelo Adriana

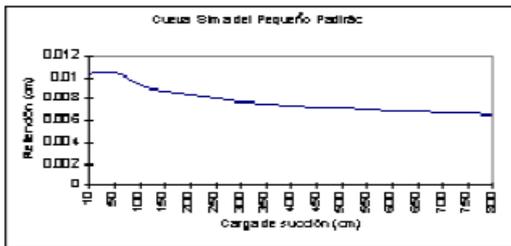


Fig. 5 Gráfico de la Curva de Retención. Modelo Adriana

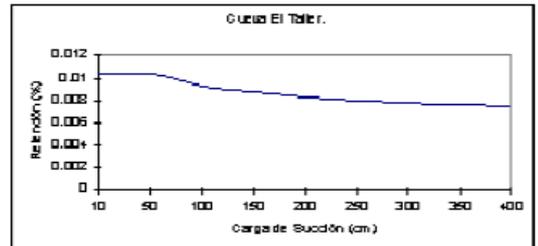


Fig. 6 Gráfico de la Curva de Retención. Modelo Adriana

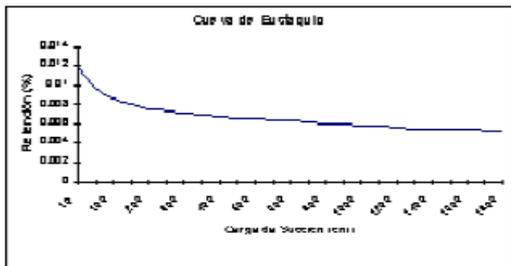


Fig. 7 Gráfico de la Curva de Retención. Modelo Adriana

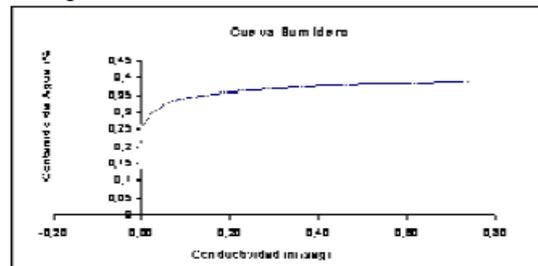


Fig. 8 Gráfico de la curva de conductividad. Modelo RETC

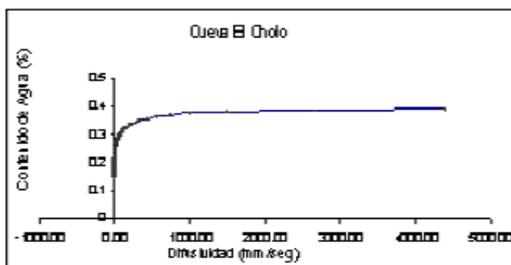


Fig. 9 Gráfico de la curva de Conductividad. Modelo RETC

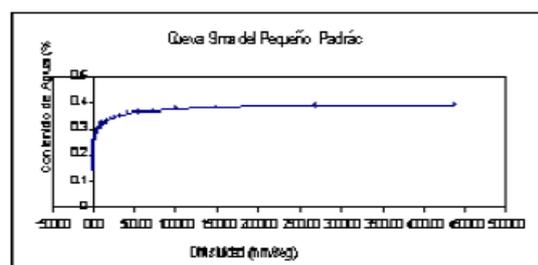


Fig. 10 Gráfico de la curva de Conductividad. Modelo RETC

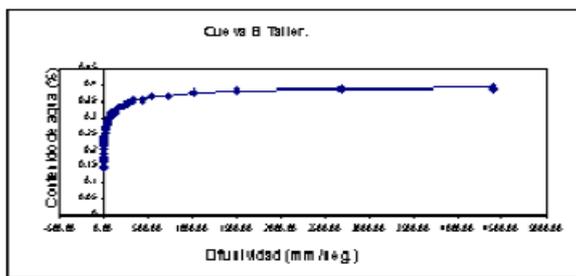


Fig. 11 Gráfico de la curva de Conductividad. Modelo RETC

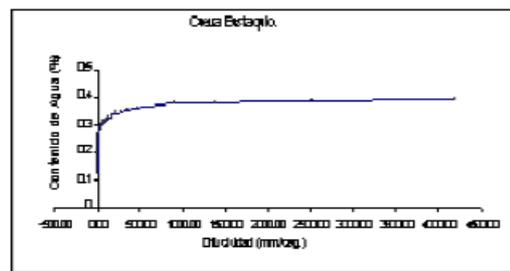


Fig. 12 Gráfico de la curva de Conductividad. Modelo RETC

En las regiones cársicas como la que se investiga, el transporte de masa en la zona no saturada está condicionado por el conjunto agua-roca-suelo, que interactúa ocasionando aceleración o retardo del transporte.

En este caso la permeabilidad de las rocas, el desarrollo de los procesos cársicos y el tipo de suelo ferralítico, constituyen factores que favorecen el proceso de filtración de las aguas hacia la zona saturada del acuífero.

Una vez analizado el comportamiento de estos factores conjuntamente con los resultados de los programas RETC y ADRIANA se realizó el Mapa de Vulnerabilidad (Ver Fig.13), donde aparecen tres zonas bien diferenciadas, atendiendo al grado de vulnerabilidad, compuestas a su vez por varios sectores.

Una primera zona se sitúa en la parte NE del área, con relieve de glacis cársico cubierto (Ver Fig. 13), desarrollado sobre margas arcillosas, cuyas características texturales condicionan valores bajos de resistencia al fluido, el suelo presente es de tipo gley originando que en la ZNS sean los procesos de volatilización, retardo-absorción, así como los de degradación los que predominen. En la misma han sido clasificados dos sectores como de vulnerabilidad baja que se extienden en 10.07 kilómetros cuadrados (ver figura 13).

La segunda zona se localiza en la parte central y Oeste del área, su relieve es de superficie cársica de pediplanación, el cual presenta cotas de hasta 100 m, el mismo se ha desarrollado sobre calizas organógenas de grano fino y arcillosas de textura fina, que ocasiona valores medios de resistencia al agua, trayendo consigo que los procesos de volatilización, retardo – adsorción y los de degradación sean los que prevalezcan. En esta zona se localiza el poblado actualmente afectado por la acción antropica de las últimas décadas.

Los suelos desarrollados sobre estos estratos son Ferralíticos Rojo Típicos, los cuales son medianamente profundos (51 –100 cm), están compuestos por más del 75% de arcilla caolinítica y se mantienen medianamente saturados (40 – 75%), los mismos favorecen en cierta medida al proceso de infiltración del agua.

En las cuevas Eustaquio y Sumidero se encuentran éstas condiciones y los espesores de la ZNS son menores de 20 cm. Los valores de retención no exceden el valor de 0.012% en Eustaquio y de 0.008 % en Sumidero, en ambas los mismos disminuyen con la profundidad. Los valores de difusividad y conductividad primeramente tienden a aumentar y luego a estabilizarse en dichas cuevas.

Los sectores identificados en esta segunda zona se clasifican como de vulnerabilidad moderada, estos ocupan un área de 38.62 km², siendo la categoría de mayor representatividad en el área de investigación.

La tercer zona ubicada al Sur del área ocupa una extensión de 12.47 km², presenta un relieve de superficie cársica marina (Ver Fig.13), en ella se diferencian tres sectores clasificados como de vulnerabilidad alta, debido a la presencia de rocas calizas organógenas masivas, que se caracterizan por presentar un carso bien desarrollado, donde el espesor de la ZNS es menor de 20 m (8 m), y los suelos originados son el Ferralítico Rojo Hidratado y el Ferralítico Rojo Compacto, cuya permeabilidad es media, incidiendo directamente en un grado mayor de infiltración, siendo éste el proceso de transporte predominante en la ZNS. En el sector central de esta zona se ubican las cuevas Sima del Pequeño Padirac y El Taller.

Esta zona se caracteriza por un comportamiento creciente de los valores de conductividad y difusividad que con posterioridad tienden a estabilizarse a los 0.39% de contenido de agua, lo que hace que en esta parte de la ZNS el movimiento de los contaminantes sea más lento en los primeros cien centímetros y con posterioridad sea más rápido, debido al tipo de caliza yacente.

Esta zonación descrita, revela lo heterogénea que es el área en cuanto a la vulnerabilidad, y permite identificar a la zona Sur, como la de mayor riesgo, donde se deben cumplir con rigor las legislaciones ambientales existentes en aras de proteger al acuífero. Se deben cumplir con rigor las legislaciones ambientales existentes en aras de proteger al acuífero y a la población residente en el pueblo.

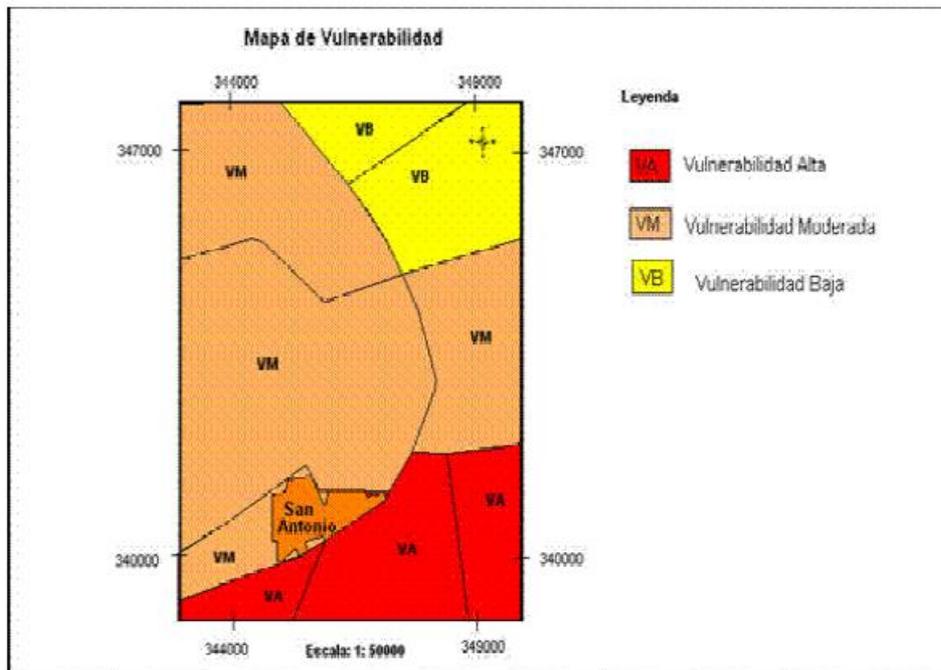


Fig. 13 Mapa de Vulnerabilidad Acuífera

Conclusiones

1. El poblado de San Antonio está localizado en una zona de moderada vulnerabilidad a la contaminación de las aguas, ocasionada por el hombre en la actualidad.
2. Queda delimitada la zona Sur que ocupa 12.47 km² como de alta vulnerabilidad, desde la que cualquier contaminante que se vierta llega más rápidamente a la zona saturada, produciendo las mayores afectaciones a las aguas subterráneas y a la población que se abastece de ellas.
3. Se pudo comprobar que la zona no saturada, constituye una barrera para los contaminantes en su paso hacia las aguas subterráneas y que los procesos de transporte que intervienen en mayor medida son: retardo-adsorción, la degradación y la infiltración.
4. La retención puede evaluarse bajo condiciones de capilaridad y adhesión que propician valores de retención oscilantes en el rango de 0.002% a 0.1%, gobernando el avance del frente de humedad hacia la zona saturada.
5. La información obtenida a partir de la aplicación de los modelos determinísticos RETC y ADRIANA, permite definir que la conductividad hidráulica y la difusividad son funciones del contenido de humedad, cuyos valores no sobrepasan en el caso de la primera al valor 0.75 m/seg. y en la segunda al valor máximo de 4400 mm/seg.

Referencias

- Iturralde Vinet, M; J.F Albear. 1985. Contribución a la Geología de las provincias de La Habana. I.G.P. Editorial Científico Técnico. Ciudad de La Habana.
- Moleiro León, L. 1992. Procesos de Transporte de Masa en la zona no saturada de los acuíferos cársicos tropicales. GTICEK. I Taller Internacional sobre Ciencias Experimentales en el Karst. Universitat Jaume 1 de Castelló. 15 pg.
- Moleiro León, L. 1997. Curso Avanzado sobre Contaminación de las aguas subterráneas. Monitoreo, evaluación, recuperación. INRH, CENIC, ISPJAE. Vol.1. 33-48. Ciudad de la Habana.
- Moleiro León, L.. Modelo de transporte en la zona no saturada de los acuíferos cársicos. Algoritmo ADRIANA. (en prensa).Ciudad de La Habana.
- Van Geruche Genuchten, M, Th, et al., 1994. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. 117pg.U.S. Salinity laboratory. California.