

TITULO	PAGINA
Criterios sismonidrogeológicos sobre la cuenca de Santiago de Cuba .....	5
Actividad sísmica de la provincia Holguín .....	20
Datos macrosísmicos de los terremotos en la pro- vincia Santiago de Cuba. ....	46
Estimación de la peligrosidad sísmica del área de ubicación de la Refinería Cienfuegos. ....	137
Microregionalización sísmica de la zona Levisa .....	157
Ocurrencia de tsunamis en el Caribe .....	170



CRITERIOS SISMOHIDROGEOLOGICOS SOBRE LA CUENCA DE SANTIAGO DE CUBA

Tomás Chuy, José Zapara, Berta E. González y Bolén Milanés

RESUMEN. Se presenta un esquema por zonas, a escala 1:25 000, de las profundidades de yacencia del manto freático en la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores, teniendo en cuenta los valores dados por más de 1000 calicatas, trincheras, calas y pozos.

Se dan criterios acerca de la relación de las zonas obtenidas con la peligrosidad sísmica de la región investigada.

Complementa este trabajo una síntesis de las características hidrogeológicas del territorio.

ABSTRACT. A scheme per zones of the depths of the phreatic mantle of Santiago de Cuba City and its surroundings (scale 1:25 000) taking into consideration more than 1000 test pits values, is presented.

Criteria about the relationship between the above mentioned and seismic hazard of the investigated region are also given. A synthesis of the hidrogeological characteristics of the territory is included.

Los Lic. Tomás CHUY, Ing. José ZAPATA e Ing. Berta E. GONZALEZ pertenecen al Instituto de Geofísica y Astronomía.  
La Ing. Bolén MILANES pertenece al Instituto de Hidroeconomía.



## 1. INTRODUCCION

La ejecución de investigaciones de microregionalización sísmica en el territorio de la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores, hicieron necesario la recopilación, revisión y evaluación de los materiales hidrogeológicos de la cuenca, preparados por diferentes autores, con el fin de caracterizar desde este punto de vista el territorio bajo estudio y determinar el posible grado de influencia de las condiciones hidrogeológicas en la variación de la intensidad de los terremotos  $\Delta I$ , sobre un grado base de cálculo  $I_0$ .

Para ello, se puso especial cuidado en la determinación de los niveles de yacencia de las aguas subterráneas, fundamentalmente en los casos en que el manto freático toma valores menores de 10 metros, pues teniendo en cuenta la relación empírica obtenida por S. V. Medvedev<sup>6</sup>

$$\Delta I = e^{-0,04 h^2}$$

donde  $\Delta I$  es la variación de la intensidad sísmica y  $h$  es la profundidad de yacencia de las aguas respecto a la superficie, se observa que para  $h > 10$  mts. el valor de  $\Delta I \rightarrow 0$ .

## 2. MATERIALES Y METODOS

El territorio objeto de este estudio se encuentra localizado en la provincia Santiago de Cuba, bordeando la bahía del mismo nombre y dentro de la llamada cuenca de Santiago de Cuba, con coordenadas Lambert X: 595 000 - 613 000, Y: 144 000 - 160 000.

Como materiales de base para este trabajo se buscaron los informes de investigaciones realizadas en la zona en diferentes años, entre los que se encuentran los trabajos de R. Berovides<sup>1</sup>, trabajos de diploma del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa<sup>2</sup>, comunicaciones personales<sup>3</sup>, así como datos de trabajos de campo de diferentes organismos<sup>4</sup>. La consulta y evaluación comparativa de estos trabajos,

permitieron confeccionar un texto resumen que sintetiza el conocimiento actual desde el punto de vista hidrogeológico del territorio de Santiago de Cuba.

Los datos de pozos y calas tomados de los trabajos de la Delegación Provincial del Instituto de Hidroeconomía<sup>4</sup> y los informes de las Tareas Técnicas de Investigaciones Ingeniero-Geológicas en diferentes áreas de la Empresa de Investigaciones Aplicadas No. 6<sup>4</sup>, permitieron representar gráficamente los valores de la profundidad de yacencia de las aguas subterráneas del territorio en un esquema.

Partiendo de este esquema puntual de datos del nivel freático, se delimitaron zonas señalando los intervalos de variación más representativos del territorio de Santiago de Cuba; en esto fue útil la consulta de materiales geológicos relacionados con el territorio investigado<sup>2,5</sup> y las propias calas y pozos señalados anteriormente.

El esquema de los niveles del manto freático se presenta a escala 1: 25 000 debido fundamentalmente a dos razones, en primer lugar porque se encuentran en ejecución las investigaciones de microregionalización sísmica del territorio de Santiago de Cuba a escala 1: 25 000, para lo cual este esquema representa un apoyo como complemento al estudio de las características ingeniero-geológicas; en segundo lugar la cantidad de puntos mapeados con valores estáticos de profundidad de yacencia del manto freático ( más de 1000 calas, calicatas, trincheras y pozos ) permiten en primera aproximación trabajar con esta escala.

Desde el punto de vista de la peligrosidad sísmica de las diferentes zonas con diferentes valores del manto freático, se tomó como criterio de base para el análisis, la fórmula empírica de S. V. Medvedev<sup>6</sup> señalada anteriormente.

## HIDROGRAFIA

La cuenca de Santiago de Cuba está atravesada por ríos y arroyos que corren aproximadamente en las direcciones N-S, W-E, NE-SW y NW-SE. La mayoría de ellos tiene carácter intermitente, desapareciendo casi por completo durante los períodos secos.

Al Este de la Bahía de Santiago de Cuba se localizan los ríos Seco, Guará, San-



San Juan, y al norte-nordeste de la misma el Paradas, Gascón y Caimanes. Como arroyos más importantes se destacan el Zacatecas, Jagüey, Lajas, Naranjo, Matín, etc.

Las pendientes longitudinales suaves, las magnitudes pequeñas del arrastre de material y la gran cantidad de meandros, hacen suponer que los ríos se encuentran en su etapa senil. Sus cauces son en general estrechos en las partes bajas del relieve, así como en el curso inferior de los ríos. El carácter intermitente de los ríos influye en la poca manifestación de sus cauces.

Las márgenes de los ríos y arroyos pueden ser suaves o abruptos en dependencia de la composición litológica atravesada; presentándose suaves en los lugares donde predominan las rocas friables, y abruptas donde predominan las rocas duras o seniluras.

Las aguas del mar inundan el norte, noroeste y pequeñas áreas al este y oeste de la Bahía de Santiago de Cuba, formando zonas pantanosas permanentes como las existentes en la Ensenada de Cabañas y en la desembocadura del río Paradas. Es de considerar que los ríos han formado terrazas anegadizas que se inundan en la época de fuertes lluvias; en el caso del río San Juan, sus aguas inundan las zonas vecinas a lo largo de casi todo su curso, formando pantanos en el Sitio y Arroyo Canasí.

Teniendo en cuenta su extensión, tipo de vegetación y los sedimentos que las forman, las zonas pantanosas han sido diferenciadas de la siguiente forma:

1. Zonas pantanosas aledañas a la Bahía de Santiago de Cuba y al Norte de la Ensenada de Cabañas. Son las de mayor extensión y se encuentran en los sedimentos del Cuaternario que existen al Norte y Noroeste de la Bahía de Santiago de Cuba y al Norte de la Ensenada de Cabañas, constituidas por sedimentos de origen aluvial consistentes en arcillas orgánicas ricas en carbonato de calcio. Se encuentran cubiertas en casi su totalidad por vegetación de manglar.
2. Zonas pantanosas aledañas al río San Juan. Ocupan un área pequeña en el Sitio y Arroyo Canasí y están formadas por sedimentos aluviales en los que predomina

arcilla orgánica carente de carbonato de calcio. Se encuentran cubiertas por plantas acuáticas de pequeño tamaño.

#### HIDROGEOLOGIA

Las condiciones hidrogeológicas en la Cuenca de Santiago de Cuba no han sido estudiadas sistemáticamente, siendo escasos los estudios hidrogeológicos y geofísicos realizados en la misma, por lo que la información que se presenta no tiene carácter definitivo.

Las aguas subterráneas en la Cuenca de Santiago de Cuba se encuentran en distintos complejos litológico-estratigráficos con una profundidad de yacencia no uniforme, que está relacionada con las condiciones de alimentación, composición litológica, relieve, drenaje, grado de agrietamiento, etc.

En la zona estudiada aparecen 3 complejos acuíferos importantes, los que debido a la poca información existente no se puede asegurar que estén interrelacionados y que pasamos a describir a continuación:

##### 1. Complejo Acuífero A (llamado de las rocas de la Formación El Cobre).

Se localiza en la zona comprendida entre los ríos Caimanes, Gascón y Paradas, donde aparecen aguas de fisuras filoneas y aguas de grietas en rocas duras; las que corren por tobas de composición media o básica y en conglomerados tobáceos a una profundidad por lo general mayor de 10 metros. Sus niveles estáticos varían de 3 a 6 metros en áreas bajas y de 10 a 30 metros en las divisoria y taludes.

La alimentación de este complejo se realiza a costa de las precipitaciones, infiltración de las aguas fluviales a través de las fisuras de las rocas y por la afluencia de las aguas en la zona de agrietamiento.

##### 2. Complejo Acuífero B (llamado de las rocas de la Formación La Cruz).

Se localiza en las zonas de El Caney y los ríos San Juan y Guamá, en margas, conglomerados y areniscas calcáreas compactas a profundidades de alrededor de 15 metros; en el área del reparto Ampliación de Terrazas a profundidades menores



de 4 metros y en las zonas de Aguadores, Algodonal y La Chivera, en las que aparecen quebradas profundas que contribuyen al drenaje de las aguas subterráneas, se encuentra a profundidades de más de 10 metros.

En este complejo acuífero encontramos 3 tipos de aguas subterráneas: de fisura, de estrato intersticial y cársicas. La alimentación de este complejo se realiza por infiltración de las aguas producto de las precipitaciones, y las de los ríos y arroyos que corren por la superficie.

3. Complejo Acuífero C (llamado Horizonte Acuífero de los Sedimentos Cuaternarios). Se localiza al noroeste y norte de la bahía de Santiago de Cuba y en un gran tramo alrededor del río San Juan, donde las rocas predominantes son sedimentos recientes en los que encontramos los mayores volúmenes de aguas subterráneas; de esta forma lo encontramos en sedimentos aluviales, deluviales, proluviales y eluviales con una composición granulométrica muy variada, la cual comprende suelos arcillosos, poco arcillosos, arena fina, media y gruesa, grava y guijarros con una potencia de 30 metros.

Este complejo se alimenta de las precipitaciones atmosféricas y de la infiltración producto del escarrimiento de ríos y arroyos. Es por esta razón que las aguas del complejo de referencia se caracterizan por tener relación directa con las variaciones del régimen de éstos, tomando valores el nivel estático desde 0 hasta 8 - 10 metros.

Para el abasto de la ciudad de Santiago de Cuba y sus áreas aledañas, se extrae el agua de 2 cuencas acuíferas cercanas, de las que a continuación daremos sus principales características.

#### 1. Cuenca Acuífera San Juan.

Se encuentra ubicada al este, noreste y sureste de la ciudad de Santiago de Cuba, en la zona comprendida entre los ríos San Juan, Seco y Guamá, y los arroyos Jagüey, Zacatecas y el que nace en el Embalse Chalons. Atendiendo a su mineralización, las aguas de esta cuenca son dulces y en general poco alcalinas con un PH que toma valores de 7,5 - 7,8. De acuerdo a la clasificación de Kurlov,

#### 1. INTRODUCCIÓN

La zona norte de la antigua provincia de Oriente, la correspondiente a la provincia Holguín, es la que menor actividad sísmica ha presentado históricamente en la región oriental de Cuba.

El objeto de este trabajo es mostrar en forma breve la historia sísmica de esta provincia, dando las características principales de los sismos registrados de esta región tanto instrumental como históricamente.

Se incluyen en este trabajo los valores estimados de los períodos de repetibilidad de los estremecimientos, para tiempos de recurrencia de 10 años y el esquema de zonas de diferente grado de intensidad sísmica de la provincia.

De esta forma los proyectistas y constructores podrán contar con una información base para sus cálculos de proyecto, a la hora de ubicar en esta provincia objetivos industriales ó planificar desarrollos urbanos.

#### 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la confección del catálogo por datos históricos de la provincia de Holguín, se hizo un trabajo de recopilación de la información existente acerca de los sismos perceptibles, que se encontraba en publicaciones de todo tipo, de forma que estableciendo comparaciones entre datos, pudieran clasificarse estos eventos utilizando la escala de intensidad MSK-1964.

En este catálogo aparece al lado de los lugares en los que se reportan sismos, el valor entre paréntesis de la intensidad percibida, así como la clasificación del evento y hasta donde fue posible, la hora de ocurrencia, la cual a menos que aparezca en el texto, se indica en el índice.



Las aguas son hidrocarbonatadas-cloruradas-cálcicas-magnesianas (o sódicas) y en correspondencia a su dureza total pueden considerarse aguas duras (6 - 9 mg-eq/lt).

Desde el punto de vista bacteriológico, la cuenca de referencia presenta contaminación, ya que los análisis realizados reportan hasta 2400 coliformes en 100 ml. de agua. Se considera al río San Juan como principal agente contaminador, pues en él se vierten aguas residuales sin ser previamente tratadas y existe interrelación hidráulica entre el río y los sedimentos cuaternarios de la cuenca; además se han observado altos contenidos de  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{NO}_3^-$  producto del riego de fertilizantes y herbicidas que se realiza en el área.

Otros parámetros hidrogeológicos, tales como el coeficiente de filtración, gasto específico y el gasto promedio se presentan en la tabla No. 1.

#### 2. Cuenca Acuífera Paradas.

Se encuentra situada en la parte oeste de la bahía de Santiago de Cuba, con las coordenadas Lambert siguientes:

X: 598 750 - 601 000 ; Y: 151 250 - 153 000. Esta cuenca es atravesada de Oeste a Este por el río Paradas, única fuente de escurrimiento superficial existente en la zona.

Las condiciones hidrogeológicas de la cuenca son complejas debido a que se encuentra muy cerca de Santiago de Cuba, su cota de los niveles de las aguas subterráneas está próxima a cero y debido a las condiciones naturales de la zona y por encontrarse en explotación, existe una intrusión salina que alcanza un valor de 0,6 de su superficie aproximadamente, aunque los estudios realizados en la zona en esta dirección son escasos.

Las aguas son dulces y generalmente poco alcalinas, con un PH que varía entre 6,70 hasta 7,50, observándose una disminución del mismo con la profundidad, tendiendo a aguas ácidas. En la zona salinizada estas aguas pueden clasificarse como duras y muy duras (9 mg-eq/lt); la dureza en la zona no contaminada en general no excede este valor.

La desembocadura del río San Juan en las que no se producen variaciones de la intensidad sísmica.

#### 4.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El esquema de zonas de diferentes niveles de yacimientos del manto freático en el territorio de la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores, presenta limitaciones debido fundamentalmente a los rasgos.

En primer lugar, la distribución espacial de las celdas, pozos, etc. consideradas, es muy irregular, ya que la misma responde a la construcción de objetos de obra en el territorio de investigación para el abasto de agua de la ciudad, lo cual hace que la mayoría de ellas, se concentre en áreas rodeadas a la misma o en las aguas de las cuencas de los ríos Paradas y San Juan.

En segundo lugar, las celdas o las mediciones en los pozos, no fueron realizadas en la misma época del año, ni en los mismos años, lo que evidentemente introduce errores en los valores estáticos de las aguas subterráneas, ya que las variaciones son de considerable; esto se ilustra en la figura No. 2, la que muestra las variaciones mínimas y máximas registradas en 5 puntos de las cuencas de los ríos Paradas y San Juan.

Aún con las limitaciones planteadas, el esquema 1: 25 000 (figura No. 1), cumple, en primera aproximación, con los objetivos propuestos para la valoración de este factor en las condiciones de sismicidad sísmica del territorio de la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores.

Es recomendable tener en cuenta para investigaciones hidrogeológicas futuras en la cuenca de Santiago de Cuba, la posibilidad de cambiar la ubicación de celdas o pozos, para el estudio de las variaciones de los niveles del manto freático, en las zonas que se encuentran un poco más alejadas de la ciudad, cercanas a la frontera que se muestra en la figura No. 1; además de que debe ser estudiada la interrelación existente entre los complejos acuíferos mencionados.

Es necesario destacar que las condiciones hidrogeológicas no son el único factor local que incide en la variación de la intensidad sísmica, sino que también deben ser tomados en cuenta otros factores, tales como las formas del relieve, inclinación de los pendientes, tipos de rocas, tectónicas, etc., por lo que los criterios antes presentados de peligrosidad sísmica deben considerarse como preliminares.



3.- Agradecimientos

Los autores quieren agradecer la colaboración prestada por la compañía Ondas Sino en la elaboración de algunos materiales.

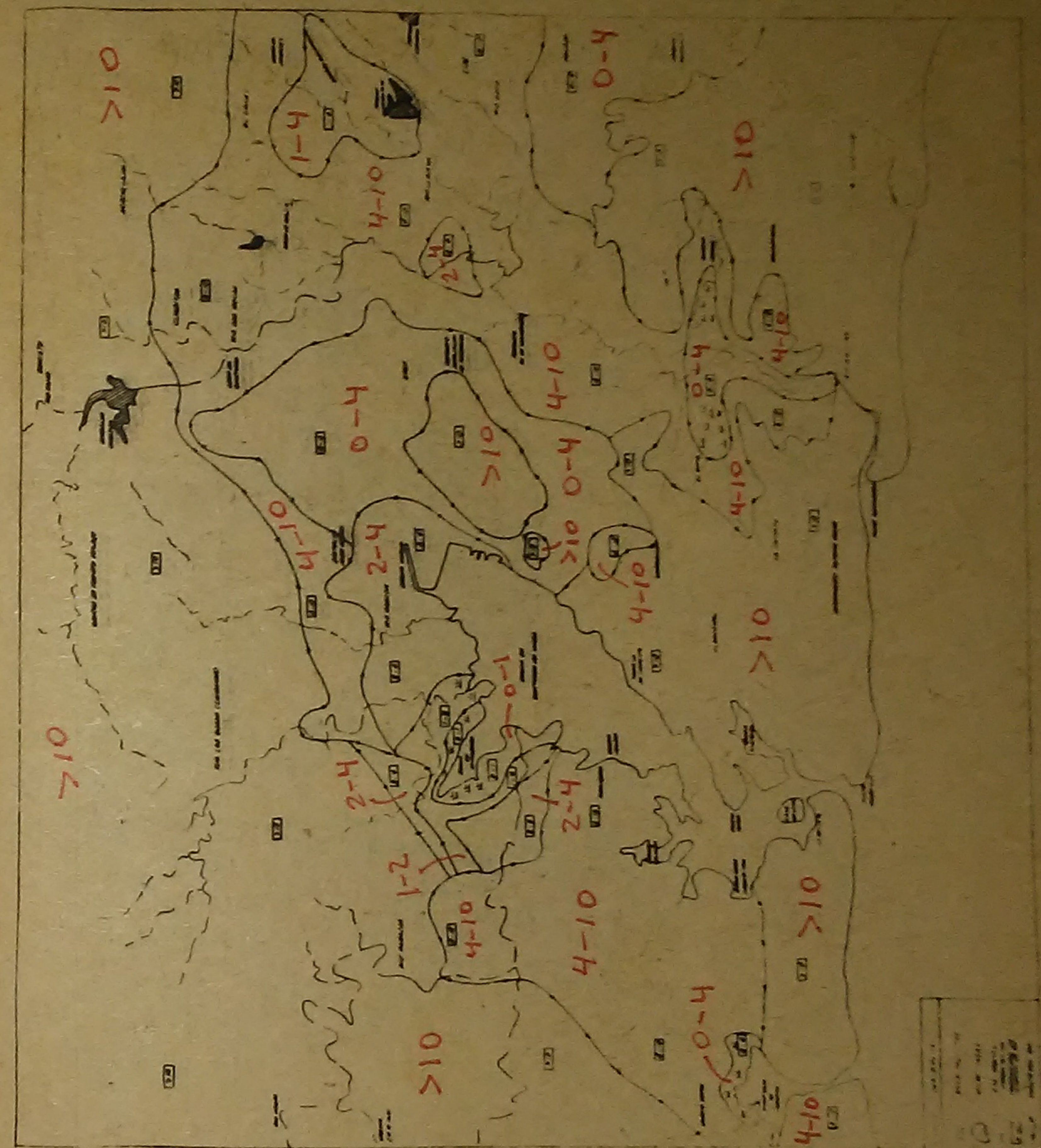


FIGURA No. 1 : Esquema de zonas por diferentes niveles del manto freático. (Escala original 1:25 000).



# REFERENCIAS

1. BEROVIDES, R; ALEXEEV, R. y POPOV, V. (1973): I.T.E. del abasto a Santiago de Cuba. Informe Hidrogeológico.
2. MONJE, L. R. (1977): Esquematización Ingeniero-Geológica del Territorio de Santiago de Cuba. Trabajo de Diploma.
3. MILANES, B. (1978). Determinación de las presiones normativas de los suelos de Santiago de Cuba. Trabajo de Diploma.
- - - - - (1980): Breves características hidrogeológicas de la cuenca de Santiago de Cuba. Informe.
- Datos de la Delegación Provincial de Santiago de Cuba del Instituto de Hidrogeología y Geología.
- Datos de trabajos de investigación ingeniero-geológicos en la cuenca de Santiago de Cuba de la Empresa de Investigaciones Aplicadas No. 6, Ministerio de la Construcción.
- Datos del Departamento de Sismología, Instituto de Geofísica y Astronomía A.C.C.
4. CHUY, T. y ZAPATA, J. (1980): Esquema preliminar de los niveles del manto freático en el territorio de Santiago de Cuba, escala 1:25 000.
5. - Datos del Levantamiento Geológico de las provincias orientales realizado por la Brigada Cubano-Húngara del Instituto de Geología y Paleontología, A.C.C.
- HEREDIA, N; ROMERO, J. y GUARDADO, R. (1978): Valoración de las condiciones hidro-geológicas de la ciudad de Santiago de Cuba con fines de su microregionalización sísmica. Revista Ingeniería Civil.
6. MEDVEDEV, S. J. (1962): Ingeniería Sísmica. Editorial Nauka. Moscú.

- - - - - ed. (1973): Recomendaciones para la Microregionalización Sísmica (RMS-73). Cuestiones de Ingeniería Sísmica. Vol. No. 15. Editorial Nauka. Moscú.
- - - - - (1977): Microregionalización Sísmica. Editorial Nauka. Moscú.