

## Características de las aguas minerales y medicinales de Cuba

### Characteristics of mineral and medical waters of Cuba

R.L. RODRÍGUEZ-PACHECO<sup>(1,2)</sup>

*(1) Departamento de Geología. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Las Coloradas Moa. Cuba. CP 83320.*

*(2) Departamento de Ingeniería del Terreno. Universidad Politécnica de Cataluña. Jordi Girona 1-3. Módulo D-2. 08034 Barcelona.*

*E-mail: roberto.rodriguez-pacheco@upc.es*

#### RESUMEN

Cuba cuenta con los acuíferos de agua mineral natural y mineromedicinal más importantes del Caribe. En este trabajo se presenta una compilación de sus características hidrogeológicas generales. Los acuíferos se encuentran predominantemente en rocas carbonatadas y terrígeno carbonatadas.

En general, la recarga de la mayoría de los acuíferos de aguas minerales, mineromedicinales y termales en Cuba es el resultado de la infiltración de las aguas meteóricas. Las aguas minerales y mineromedicinales cubanas, de acuerdo al anión y al catión mayoritario, se clasifican en bicarbonatadas cálcicas, bicarbonatadas magnésicas y cloruradas sódicas. Los principales componentes medicinales son: sulfuro, bromo y silicio.

*Palabras claves:* Cuba. Agua mineral. Agua mineromedicinal. Balneario. Clasificación de las aguas. Usos. Manantial. Composición química.

#### ABSTRACT

Cuba has the most important aquifers of medicinal and natural mineral waters in the Caribbean area. In this work, we present an inventory of their hydrogeological characteristics. Aquifers are found in limestones and detritic carbonated rock formations.

In general, the recharge of all the thermal, mineral and medicinal aquifers of Cuba has its origin by the infiltration of rainfall. According to the major anions and cations, these Cuban waters are classified as: calcium-bicarbonate, magnesium-bicarbonate and sodium-chloride facies. The main medical components are sulphurous, bromide and silica.

*Key words:* Cuba. Natural mineral waters. Medicinal waters. Spas. Uses. Spring. Chemical composition.

## EXTENDED ABSTRACT

This work presents an inventory of the natural mineral, medical and thermal waters in Cuba, as well as their main chemical, geological and hydrogeological characteristics.

From a geological point of view, Cuba is mainly composed by limestones and detritic carbonated rock formations (65 % of surface, see Fig. 4 and Fig. 5), (Núñez, et al., 1988). The most important aquifers of natural mineral, thermal and medical waters are in limestones and detritic carbonated rock formations. The geological and tectonic situation of deep aquifers is very complex (Rodríguez, 1995).

Most of the aquifers are confined and semiconfined (Rodríguez and Blanco, 1995). In general, thermal, mineral and medicinal waters of Cuba are a result of the infiltration of the rainfall water.

Cuba is rich in mineral and medical waters. It has the most important aquifers of medical and mineral waters of the Caribbean area (Rodríguez, 1995), due to its geologic and climatic characteristics. Nowadays, there are more than 40 aquifers distributed along the provinces and in the municipality of Isla de la Juventud (see Fig. 4 and Table 1).

Natural mineral, medical and thermal waters may be classified regarding to various parameters (according to Custodio, 1983). The main ones used, as well as the interval distribution where they belong (the percentage of the total evaluated Cuban aquifers belonging to each rate is shown in parenthesis) are:

- 1) According to the total dissolved solids (TSD mg/L), the different aquifers of Cuba evaluated are classified as: fresh water of 0-2000 mg/L (79 %), brackish water of 2000-10000 mg/L (7 %), salt water of 10000-40000 mg/L (5 %) and brine major 40000 mg/L (9 %) (see Table 1).
- 2) According to their chemical composition they are classified as: a) major components and b) medical components.
  - 2-a) According to their main components, the different evaluated aquifers of Cuba are classified as: bicarbonate, calcium and magnesium (21 %), bicarbonate and calcium (18 %), chloride and sodium (16 %), bicarbonate, chloride and sodium (9 %), bicarbonate and magnesium (7%) and bicarbonate and sodium (7 %) (see Table 1).
  - 2-b) According to their medical components, the different evaluated aquifers of Cuba are classified as: sulphurous (11 %), sulphurous and bromidic (9 %), siliceous(6 %) and stronic (2 %) (see Table 3).
- 3) According to their uses the different aquifers of mineral, medical and thermal waters of Cuba are classified as: thermal water (13 %), medical water (32 %), mineral natural water (bottled water) (55 %). Cuba has no industrial water.

The mineral and medical waters in Cuba have high chemical, mineralogical and bacteriological quality, as the ones in Spain, France, Russia, China, and USA (see Green and Green, 1985; George, 1994).

In general, natural mineral waters are extracted from shallow wells. Medical and thermal waters are extracted from both wells and springs.

Until the 80's, the bottled water production of Cuba was rather small. However, the ever-increasing tourism, the excellent quality of the water and the aggressive marketing activity have fostered both the production and the consumption of bottled water. As a consequence, the tourism industry has taken over many resorts, recovering the tradition and history of old bottled water brands. Nowadays, 16 brands of bottled waters are produced and commercialised in Cuba (see Table 5). These facts, as well as the existence of important aquifers, foresee very good perspectives for bottled waters in Cuba.

Medical waters are being used for medical purposes and for men's entertainment, pleasure and dalliance. Cuba has 14 summer resorts specialised in therapeutic treatments under medical supervision (Álvarez and Moreno, 1996).

## INTRODUCCIÓN

El término “agua mineral” no constituye una definición basada en una fundamentación científica, ya que todas las aguas del planeta están en mayor o menor medida enriquecidas en determinados tipos de sales. En realidad, la denominación de agua mineral se utiliza con acepciones muy diversas. En algunos casos, se consideran aguas minerales las que poseen un contenido anómalo en determinados elementos como  $H_2S$ , Br, Li, Fe, F, etc., que normalmente aparecen en muy bajas concentraciones en las aguas subterráneas. Si la temperatura es superior en 4 grados a la temperatura media anual del lugar donde alumbran, se consideran termales (Castany, 1971). Si el contenido de sales disueltas les confiere propiedades terapéuticas para el tratamiento de diferentes enfermedades, se les denomina mineromedicinales.

Desde la antigüedad las aguas mineromedicinales son usadas por 4 razones: 1) propiedades organolépticas, 2) propiedades terapéuticas y medicinales, 3) balneológicas y 4) extracción de sales minerales para uso industrial. Actualmente se encuentra en desarrollo el uso de los fangos mineromedicinales, que se generan como precipitación de las sales disueltas al salir las aguas por los manantiales, en la elaboración de productos farmacéuticos medicinales y de belleza.

El desarrollo tecnológico ha permitido un mayor aprovechamiento de estas aguas, utilizándolas para la extracción de sales minerales, útiles en diferentes ramas de la industria, en la que ocupa un lugar destacado la de cosmética. El vapor generado en diferentes campos geotérmicos se utiliza para la producción de energía eléctrica (E.U.A, México, Italia, Nueva Zelanda, Filipinas, Indonesia, El Salvador, Islandia). También se aprovechan como calefacción doméstica, agrícola e industrial en diferentes zonas del globo terrestre con climas fríos (Austria, Francia, República Checa, Hungría) (Custodio, 1983; Proledesma, 1988).

Por otro lado, el acelerado deterioro de la calidad de las aguas de abastecimiento, resultado de la contaminación del medio ambiente, ha condicionado y favorecido el desarrollo de la industria del agua embotellada, que ha experimentado un importante crecimiento económico en el ámbito mundial en las últimas décadas (Calado, 1984; Green y Green, 1985; George, 1994; Back et al., 1995; Aller et al., 1996). En el mundo moderno, el estudio, evaluación y prospección de las aguas minerales y mineromedicinales se ha convertido en una rama de fuerte desarrollo.



Figura 1. Localización de la Isla de Cuba.

Figure 1. Map showing the location of the Isle of Cuba.

Entre el gran número de publicaciones existentes sobre diferentes temas relacionados con las aguas minerales y mineromedicinales, merecen destacar los trabajos de: Castany (1971), Feiro (1982), Custodio (1983), Klimentov y Kononov (1988) y Mijailov (1989). En estos trabajos se estudian las principales características geológicas e hidrogeológicas de las aguas minerales y termales. George (1994) analiza el uso, el precio y establece una calificación de acuerdo a la calidad de las aguas minerales de diferentes países. Arnol (1988) estudia uno de los mayores campos geotérmicos de México. Redondo et al. (1984), Baeza et al. (1987), Yélamos et al. (1987), López y Pulido (1995) y Aller et al. (1996) caracterizan las aguas minerales y mineromedicinales en diferentes regiones de España. Green y Green (1985) presentan una caracterización detallada de aguas mineromedicinales y minerales de más de 30 países, con rangos de puntuación de 1 a 5. Fricke (1993) analiza la aplicación de éstas y la importancia del establecimiento de las zonas de protección sanitaria en estos acuíferos. Estos trabajos son resultado del creciente consumo de agua embotellada, del desarrollo de la actividad turística y del turismo de salud en el ámbito internacional.

En la actualidad, el consumo de agua embotellada se está convirtiendo en una necesidad básica y es considerado, en muchos casos, como un índice de calidad de vida (George, 1994).

En este trabajo pretendemos dar a conocer las características generales desde el punto de vista hidrogeológico de las aguas minerales y mineromedicinales de Cu-

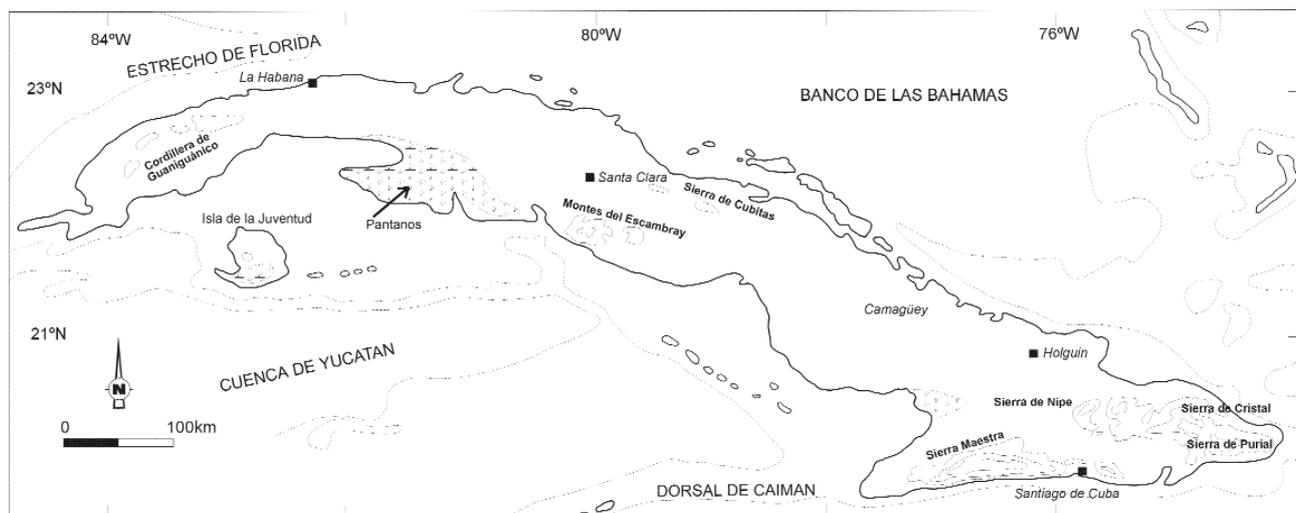


Figura 2. Mapa esquemático de la geografía física de Cuba (modificado de Weyl, 1966).

Figure 2. Schematic map of physical geography of Cuba (adapted from Weyl, 1966).

ba, mostrando el potencial que presentan estos recursos en cuanto a cantidad y calidad, condiciones indispensables para su explotación.

#### ANTECEDENTES EN CUBA

El estudio y la explotación de las aguas mineromedicinales de la isla de Cuba se remonta al siglo pasado, pero ha tenido su mayor auge en la segunda mitad de este siglo en la que se han desarrollado y desarrollan importantes estudios de caracterización y evaluación de estos recursos. Estos estudios se han realizado fundamentalmente por investigadores del Instituto Nacional de Recursos Hídricos (INRH), las Empresas Geológicas (EG), Centro Nacional de Termalismo y estudiantes y profesores del Instituto Superior Minero Metalúrgico (ISMM) de Moa. Muchos de estos trabajos caracterizan determinados acuíferos en concreto (ver Tabla 1, Corratge, 1980; Puentes, 1989; Serge, 1990; Suárez, 1991; Contrera, 1991, Canal, 1992; Mayedo, 1992; Carballoso, 1992; Ojeda, 1992; Rojas, 1992 y 1996, Cervantes et al., 1996), limitándose a caracterizar los acuíferos en cuanto a composición química de las aguas, calidad, cantidad y descripción de las formaciones geológicas en que se encuentran, faltando en ellos un análisis de la relación entre la composición química y el marco geológico. Fagundo (1986) introduce el uso de algoritmos para el cálculo de diferentes parámetros de aguas altamente mineralizadas. Batista et al. (1996) aplica los métodos de estadística multivariada al estudio del acuífero Menéndez. Álvarez y Moreno (1996) analizan las

principales regularidades en cuanto a la composición química de las aguas mineromedicinales (38 acuíferos), pero no dan la composición química de ellas, solamente se limitan a clasificarlas por la composición de los iones mayoritarios y algunos elementos característicos, así como una perspectiva de la situación actual. Rodríguez y Blanco (1995) realizan una valoración de las regularidades hidrogeológicas de los principales acuíferos de aguas mineromedicinales del occidente del país, comprobando que las aguas de mayor mineralización se asocian a las rocas de la Plataforma de las Bahamas. Pérez (1995b) valora las regularidades de las aguas minerales naturales de la región centro oriental, comprobando que éstas están asociadas a formaciones geológicas con edades posteriores al Cretácico. Pérez (1995a) estudia las regularidades geológicas de varios acuíferos de aguas mineromedicinales de Cuba y comprueba que la temperatura de ellas se debe a la circulación profunda de estas aguas. Dentro del estudio hidrogeológico en Cuba es bueno destacar además la obra de Fagundo et al. (1996) que ofrece una caracterización detallada de la hidroquímica de los principales acuíferos kársticos de Cuba.

#### CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO FÍSICO

##### Ubicación geográfica

El archipiélago cubano, constituido por la isla de Cuba y 4100 islotes, está situado en el Mar Caribe, entre los 19.8° a 23.4° Latitud Norte y entre los 74° a 84.3° Longitud

tud Oeste, a 140 km de las Bahamas, 180 km de la Florida, 210 de México y 146 de Jamaica (Fig. 1).

### Geomorfología

Cuba es un país eminentemente llano donde el 75% del territorio nacional es clasificado como relieve de llanura, el 21% relieve de montaña (la principal elevación es el Pico Turquino con 1975 metros en la Sierra Maestra) y el 4% humedales (García y Blanca, 1996), de los cuales el más grande y representativo es la Ciénaga de Zapata al Sur de Matanzas (Fig. 2).

### Condiciones climáticas

Cuba se encuentra en los trópicos estacionalmente húmedos con humedad relativa superior al 80%, una temperatura media anual de 24.5°C y un volumen de precipitaciones que supera los 1500 mm/año, que con relación a la superficie del territorio nacional (114,000 km<sup>2</sup>) equivale a 150 Hm<sup>3</sup>/año (Fig. 3) (Gagua et al., 1976). Si comparamos el mapa de isoyetas con el físico se puede ver claramente como las regiones de mayor precipitación están localizadas en las áreas de mayor altura topográfica (Fig. 2 y Fig. 3).

### MATERIALES Y MÉTODOS

Para evaluar la composición química de las aguas se utilizaron los resultados analíticos de las diferentes fuentes consultadas (Tabla 1). Para comprobar la fiabilidad de los análisis químicos, se ha utilizado la relación entre el error en el balance iónico de los componentes mayoritarios. Normalmente suele existir una diferencia entre la suma de aniones y cationes (meq/L), debido a los errores acumulados en cada una de las determinaciones individuales, al no tenerse en cuenta los iones minoritarios. Por ello se usaron para el trabajo los análisis que presentaban un error inferior al 8 %. El error de un balance iónico viene dado según Anderson, 1966:

$$\text{Error(\%)}=200*(\Sigma\text{cat}-\Sigma\text{ani})/(\Sigma\text{cat}+\Sigma\text{ani})$$

Como limitación de los trabajos consultados se puede señalar, que la información hidrogeológica en muchos casos es fragmentaria e incompleta. Muchos trabajos se limitan a la composición química de los elementos mayoritarios y la información geológica se trata muy poco, limitándose en la mayoría de los casos a una simple des-

cripción de las formaciones geológicas donde se localiza el acuífero.

### CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS MINERALES Y MINEROMEDICINALES

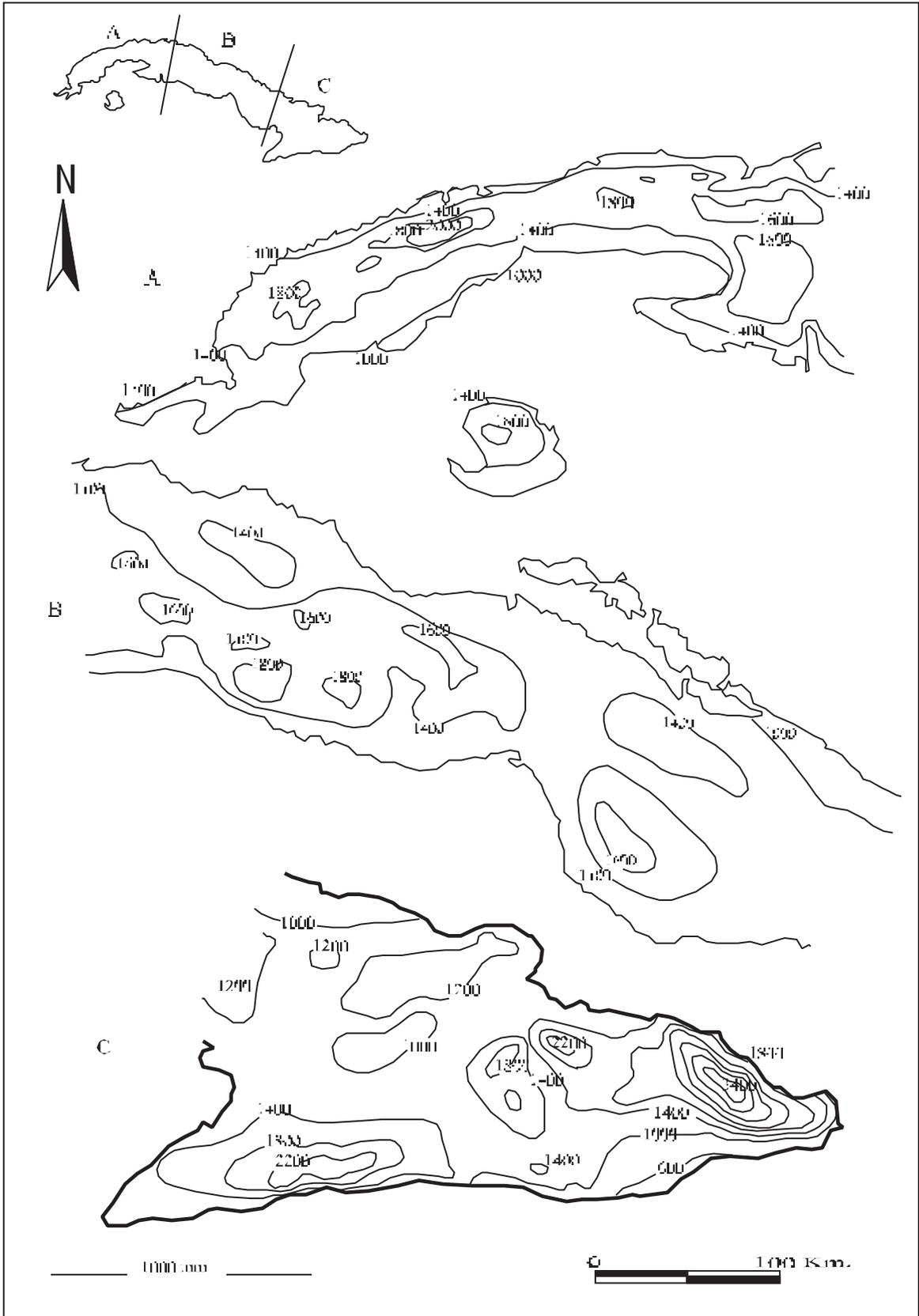
En la actualidad la Isla de Cuba cuenta con más de 40 acuíferos evaluados desde el punto de vista hidrogeológico, de los cuales muchos están aún sin explotar o son explotados parcialmente (Tabla 1, Fig. 4). La existencia de estos recursos hídricos es resultado de la combinación de las condiciones climáticas y geológicas. Para hablar de las características de estas aguas en Cuba, es importante considerar primeramente la constitución geológico-estructural de la isla, que trataremos a continuación de manera muy simplificada.

### Marco geológico

El archipiélago cubano se encuentra desde el punto de vista geológico en la Plataforma Norteamericana. La constitución geológico-estructural de Cuba es muy compleja. Según el modelo de Iturralde-Vinent (1994 y 1996), se pueden diferenciar dos elementos estructurales: a) “el cinturón o substrato plegado”; y b) “el neoaútóctono” (Fig. 5). La principal diferencia entre estas dos estructuras es que el primero incluye materiales geológicos de diferentes orígenes, mientras que el segundo representa la evolución geológica de un segmento pasivo de la Plataforma Norteamericana (Iturralde-Vinent, 1996).

El “cinturón plegado” está compuesto por terrenos oceánicos y continentales con estructura geológica muy deformada y metamorfismo de diferentes grados de edad pre-Eoceno Medio. La posición actual que ocupan estos terrenos es muy diferente a la original. Según Iturralde-Vinent (1996), las unidades geológicas que integran el “cinturón plegado” representan grandes entidades paleogeográficas que marcaron la evolución del Caribe Noroccidental. Este autor lo divide en: a) unidades continentales; y b) unidades oceánicas.

Las “unidades continentales” las integran materiales pertenecientes a la Plataforma Mesozoica de Las Bahamas, los cuales están cubiertos por materiales del Paleoceno-Eoceno Superior (cuencas de antepaís), los materiales geológicos son mayoritariamente rocas carbonatadas de aguas someras y evaporitas. No obstante, también están presentes rocas carbonatadas de aguas profundas y cherts (Iturralde-Vinent, 1996).



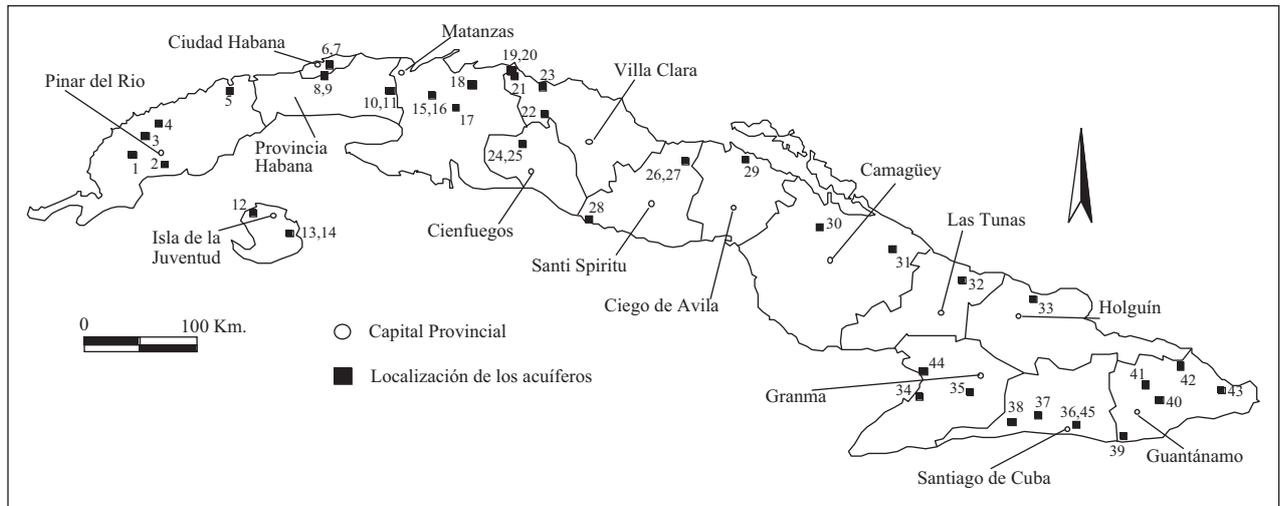


Figura 4. Localización de los diferentes acuíferos de aguas minerales, termales y mineromedicinales por provincia en Cuba. 1- Los Portales, 2- Aguas Claras, 3- San Diego de los Baños, 4- San Vicente, 5- Soroa, 6- La Cotorra, 7- San Agustín, 8- Santa María del Rosario I, 9- Santa María del Rosario II, 10- El Copey, 11- Sulfuroso, 12- La Cotorra, 13- Santa Fé, 14- Santa Bárbara, 15- El Vivero, 16- Jacan, 17- San Miguel de los Baños, 18- Menéndez, 19- La Fragua, 20- La Aurora, 21- Amaro, 22- Lobatón, 23- Elguea, 24- Ciego Montero I, 25- Ciego Montero II, 26- San José del Lago I, 27- San José del Lago II, 28- Trinidad, 29- La Palma, 30- Peña Azul, 31- Tinima, 32- Covarrubia, 33- Mayabe, 34- Monte Alto, 35- Los Jobs, 36- El Espejo, 37- El Cedrón, 38- La Cuquita, 39- Canavacoa, 40- Valle de Guantánamo, 41- Sierra Canasta, 42- Amores, 43- Porto Santo, 44- Las Caobas, 45- El Visco.

Figure 4. Location of different aquifers of natural mineral, thermal and medicinal waters by provinces in Cuba. 1-Los Portales, 2-Aguas Claras, 3-San Diego de los Baños, 4-San Vicente, 5-Soroa, 6-La Cotorra, 7-San Agustín, 8-Santa María del Rosario I, 9-Santa María del Rosario II, 10- El Copey, 11-Sulfuroso, 12-La Cotorra, 13-Santa Fé, 14-Santa Bárbara, 15-El Vivero, 16-Jacan, 17-San Miguel de los Baños, 18-Menéndez, 19-La Fragua, 20-La Aurora, 21-Amaro, 22- Lobatón, 23- Elguea, 24-Ciego Montero I, 25-Ciego Montero II, 26-San José del Lago I, 27-San José del Lago II, 28-Trinidad, 29-La Palma, 30-Peña Azul, 31-Tinima, 32-Covarrubia, 33-Mayabe, 34-Monte Alto, 35-Los Jobs, 36-El Espejo, 37-El Cedrón, 38-La Cuquita, 39-Canavacoa, 40-Valle de Guantánamo, 41-Sierra Canasta, 42-Amores, 43-Porto Santo, 44-Las Caobas, 45-El Visco.

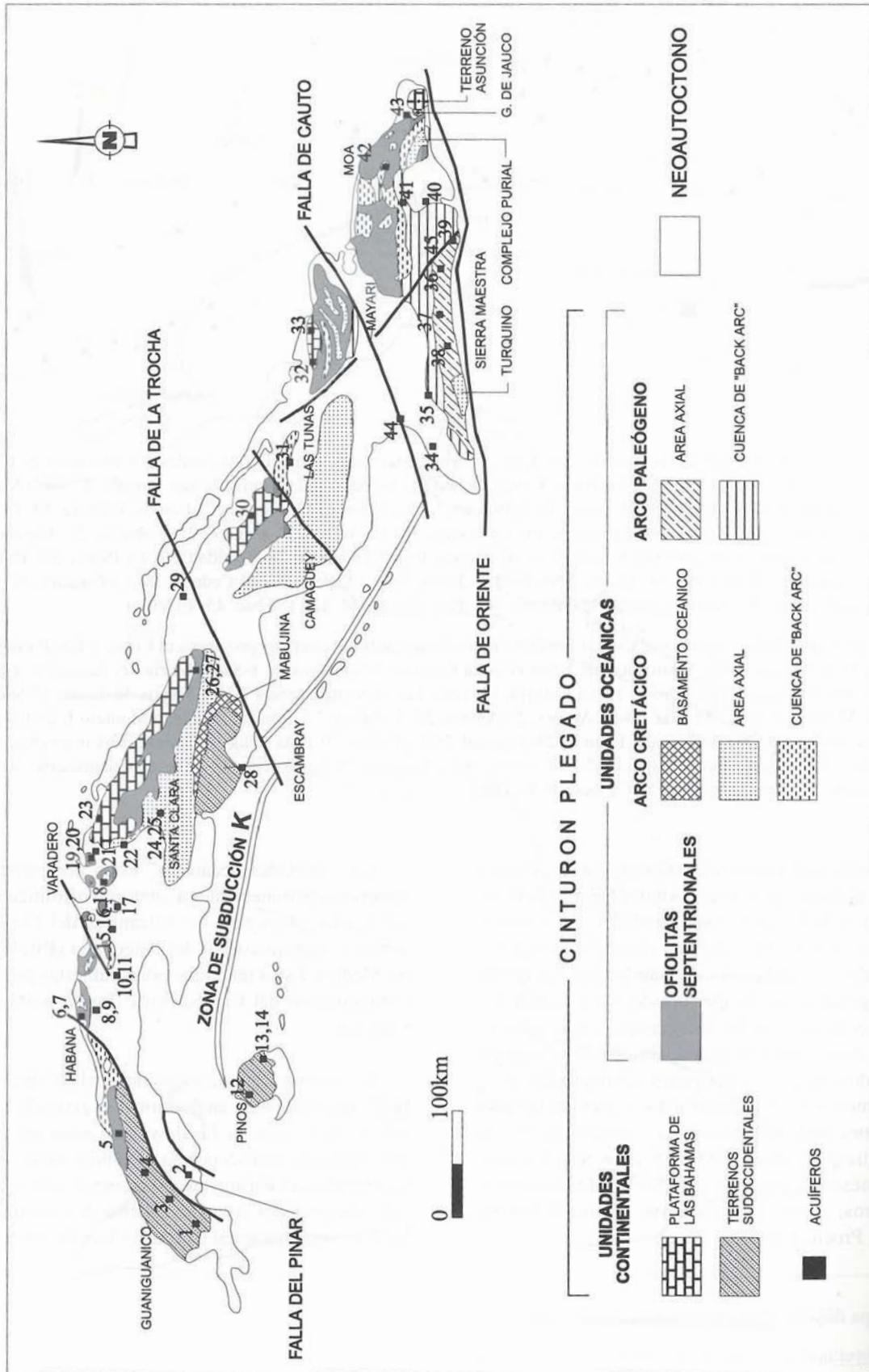
Los terrenos sudoccidentales (Guaniguanico, Pinos y Escambray) pudieron pertenecer originalmente a la Plataforma (bloque) de Yucatán. Estas unidades son restos de los márgenes continentales pasivos (incluyendo materiales depositados en condiciones de plataforma y talud continental) originados por la apertura del Protocaribe. Los materiales geológicos que los integran presentan una litostratigrafía muy compleja, principalmente los terrígenos y carbonatados, típicos de márgenes continentales, y estructuralmente están muy deformados y metamorfizados en condiciones de baja temperatura y relativamente alta presión (Millán y Somin, 1985). En estos terrenos también están presentes rocas de afinidad ofiolítica (serpentinitas, gabros, diabasas y basaltos) (Iturralde-Vinent, 1994, 1996; Proenza, 1998).

Las “unidades oceánicas” están compuestas por los materiales pertenecientes al cinturón ofiolítico septentrional y a los arcos de islas volcánicas del Cretácico (Aptiense- Campaniense) y del Paleógeno (Paleoceno-Eoceno Medio). Estas unidades están cubiertas por materiales sedimentarios del Campaniense Tardío hasta el Eoceno Superior.

El cinturón ofiolítico septentrional (“Cuban Ophiolitic Belt”, en la literatura anglosajona) se extiende a lo largo de toda la parte norte de la isla y en él están presentes todos los niveles de una secuencia ofiolítica ideal, aunque desmembrada tectónicamente. En general, estas ofiolitas han sido interpretadas como un sistema deformado cuenca de *back arc-mar* marginal (Iturralde-Vinent, 1994, 1996).

Figura 3. Mapa isoyético de Cuba (modificado de Gagua et al., 1976).

Figure 3. Isohyet map of Cuba (adapted from Gagua et al., 1976).



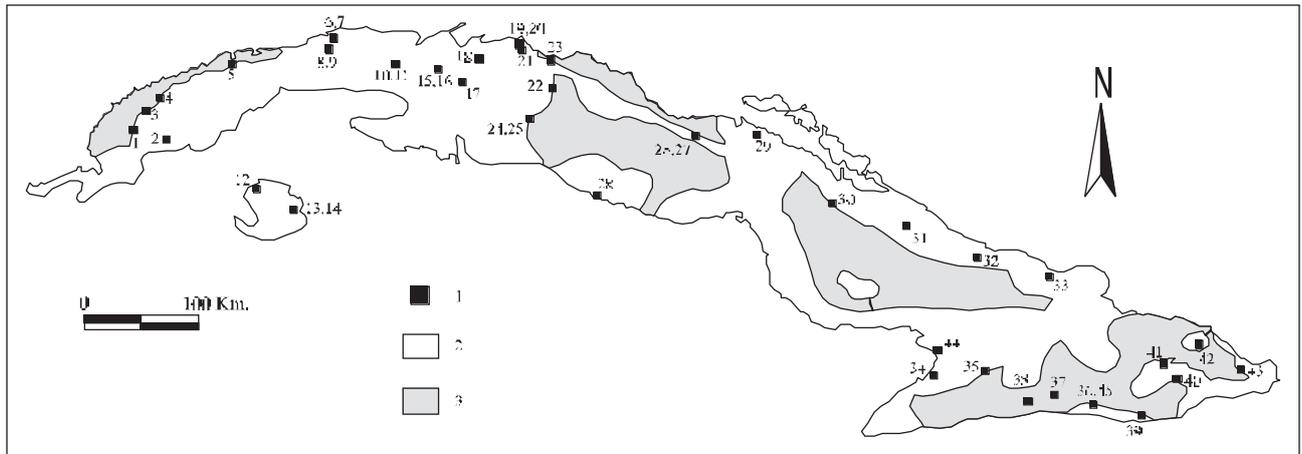


Figura 6. Mapa de distribución de rocas carbonatadas y carbonatadas detríticas en Cuba (Modificado de Nuñez et al., 1988): 1-acuíferos, 2- rocas calizas y terrígeno-carbonatadas, 3-rocas no carbonatadas.

Figure 6. Map showing the distribution of limestones and detritic carbonate rocks in Cuba (adapted from Nuñez et al., 1988): 1-aquifers, 2-limestones and detritic carbonated rocks, and 3- non carbonated rocks.

El arco volcánico Cretácico se compone de depósitos volcanosedimentarios del Aptiense al Campaniense Medio, los cuales son atravesados por rocas graníticas (Iturralde-Vinent, 1996). El volcanismo es típicamente toleítico a calcoalcalino, aunque en las partes superiores de la secuencia llega a ser alcalino (Meyerhoff y Hatten, 1968; Díaz de Villalvilla, 1985). Estas rocas volcánicas están situadas mediante contacto tectónico sobre las ofiolitas del cinturón septentrional. No obstante, en determinadas áreas, mantos tectónicos de ofiolitas son los que cabalgan a las rocas volcánicas. En otras zonas, las rocas volcánicas cabalgan sobre los depósitos del Paleomargen continental de Las Bahamas. Según Iturralde-Vinent (1994, 1996), el basamento del arco volcánico es una corteza oceánica de edad pre-Aptiense, la cual ha sido reconocida en Cuba Central (anfíbolitas Mabujina) y Oriental (anfíbolitas Guira de Jauco)(Fig. 5).

El arco de islas volcánico del Paleógeno está restringido casi exclusivamente a Cuba Oriental (Fig. 5), mientras que en el resto de la isla sólo se han descrito finas intercalaciones tobáceas en niveles sedimentarios (Cobiella, 1988). Los materiales del arco Paleógeno se componen de potentes espesores de rocas extrusivas y piroclásticas, las cuales son intruidas por plutones de granodioritas y granitos. Estos materiales están muy

bien representados en el área de la Sierra Maestra. Según datos geoquímicos, el volcanismo presenta una tendencia toleítica en sus inicios, pero predomina la calcoalcalina (Pérez et al., 1983). La actividad volcánica duró hasta la parte baja del Eoceno Medio (Iturralde-Vinent, 1996).

El “neoautóctono” lo integran materiales geológicos de varias generaciones geológicas con una composición predominante de materiales terrígenos-carbonatados, con unas estructuras geológicas poco deformadas de edad Eoceno Superior Tardío al Cuaternario. Estos materiales responden a un régimen geodinámico caracterizado por: a) el cese de los desplazamientos horizontales de mantos de cabalgamientos, b) la ausencia de actividad volcánica, c) el predominio de movimientos tectónicos de reajuste isostático de la corteza y, d) una tendencia generalizada a la neritificación (Iturralde-Vinent, 1996). Se encuentran discordantemente sobre los materiales pertenecientes al “cinturón plegado”. La evolución del “neoautóctono” se inició con posterioridad a la activación de la zona de Falla Oriente. Este proceso está relacionado con esfuerzos compresivos en la Placa del Caribe, la cual comenzó su movimiento hacia el este, provocando el cese de la colisión tectónica Sur-Norte en Cuba (Fig. 5) (Iturralde-Vinent, 1994, 1996; Proenza, 1998).

Figura 5. Mapa geológico de Cuba (modificado de Iturralde-Vinent, 1996).

Figure 5. Geologic map of Cuba (adapted from Iturralde-Vinent, 1996).

Como se puede ver, los materiales geológicos que conforman la Isla de Cuba son mayoritariamente carbonatados y carbonatados terrígenos, que afloran en el 66% de la superficie del archipiélago cubano, aunque si se tiene en cuenta el área de la plataforma insular ese porcentaje puede llegar al 80% (Fig. 5). Dentro de las rocas carbonatadas cubanas las más abundantes son las biogénicas y las biodetríticas que constituyen el 90% del total (Nuñez et al., 1988).

Los acuíferos de las aguas minerales naturales se encuentran ubicados fundamentalmente sobre las rocas del "neoaútctono" de composición carbonatada y terrígeno carbonatada mayoritariamente, aunque algunos están asociados al "cinturón plegado" (Fig. 5 y Fig. 6). En cambio, los acuíferos de aguas termales y mineromedicinales se encuentran asociados, fundamentalmente, a formaciones rocosas de naturaleza carbonatada y terrígeno-carbonatada, con edades comprendidas entre el Jurásico y el Eoceno Medio (Contreras, 1991, Rojas, 1992; Mayedo, 1992, Rodríguez y Blanco, 1995 y Rodríguez, 1995). Una regularidad geológica es que los acuíferos con mineralización superior a 3000 mg/l (acuíferos Fragua-Aurora, Elguea y Menéndez) se encuentran asociados a las rocas carbonatadas de la Megaplataforma Florida-Bahamas. En mi opinión, esta regularidad constituye un buen criterio para la búsqueda de aguas altamente mineralizadas en estas formaciones geológicas, debido a que los materiales geológicos que constituyen estas unidades se formaron en un medio marino con desarrollo de rocas carbonatadas, carbonatadas terrígenas y evaporíticas. En segundo lugar, para la búsqueda de las aguas con contenido de componentes medicinales, considero favorables aquellas que integran el cinturón plegado. En tercer lugar, las rocas graníticas.

## ESTRUCTURA DE LOS ACUÍFEROS

Los acuíferos de las aguas mineromedicinales se caracterizan por la existencia de fracturas de diferente naturaleza, que le confieren una gran complejidad geológico-estructural. Es bueno destacar que este aspecto es común prácticamente para todas las aguas subterráneas de Cuba (Pérez, 1995a; Pérez, 1995b, Rodríguez, 1995 y Fagundo et al., 1996). En el caso de las aguas minerales naturales,

la complejidad geológica es menor en algunos casos. Los diferentes acuíferos estudiados se caracterizan por la existencia de más de un horizonte acuífero. Debido a la gran complejidad geológico-estructural que presentan muchos de estos acuíferos (por ejemplo, Menéndez, Fragua, Aurora, Elguea y San Diego) se producen mezclas de aguas de diferentes horizontes acuíferos y variada composición química, provocando rangos muy amplios de variación de la mineralización (Tabla 1). Los acuíferos de aguas minerales naturales y mineromedicinales son mayoritariamente confinados y semiconfinados, siendo en algunos casos surgentes (Contrera, 1991 y Rodríguez, 1995).

## Composición química

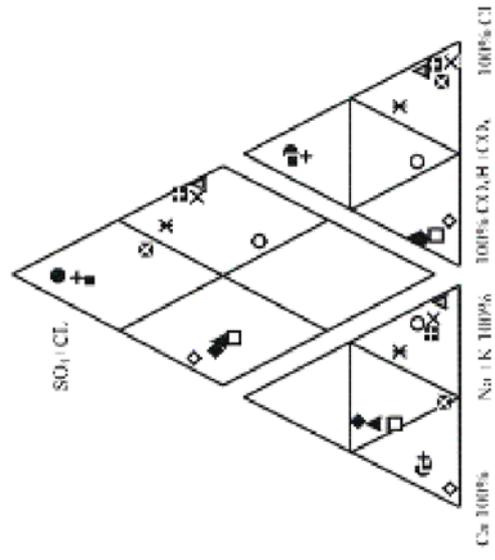
Se puede ver en la Tabla 1 y en la Fig. 7 que el anión predominante es el bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$  en el 73% de los acuíferos) y el catión el calcio ( $\text{Ca}^{2+}$  en el 60% de los acuíferos). El predominio de estos elementos en la mineralización de las aguas es coherente con la distribución de estos en el marco geológico del archipiélago cubano y revela claramente la naturaleza carbonatada de la mayoría de los acuíferos evaluados (Fig. 5 y Fig. 6).

Si analizamos el diagrama de Piper (Fig. 7) comprobaremos que las facies hidroquímicas predominantes son la bicarbonatada cálcica y bicarbonatada cálcica-magnésica en el 73% de los acuíferos, mientras que los acuíferos muy mineralizados (Cuquita, Elguea, Menéndez, Fragua y Aurora) están representados por la facies clorurada sódica.

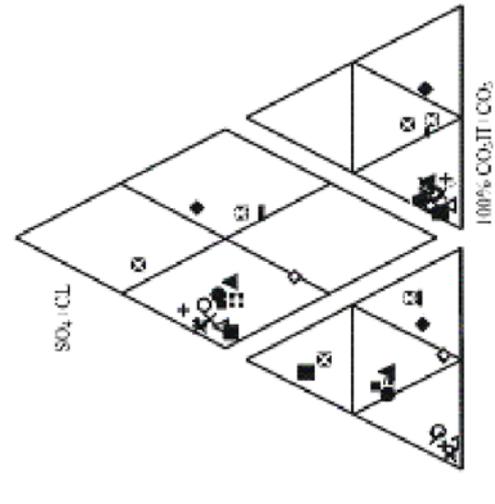
En los acuíferos con mineralización inferior a los 2.000 mg/l los valores de la relación  $r\text{Cl}/r\text{HCO}_3^-$  son de 0.04 a 1.9 similares a los resultados de los trabajos de Custodio (1983), cuyos valores en aguas continentales están en el intervalo de 0.1-5. La relación  $r\text{Mg}/r\text{Ca}$  para los acuíferos con mineralización inferior a 10.000 mg/l se encuentra entre 0.03 y 2.26 también similar a los resultados obtenidos por Custodio (1983) y Pulido et al. (1998) cuyos valores están en aguas continentales en el intervalo de 0.3 a 1.5. El valor es muy inferior al que presenta el agua de mar (5-5.4) como se muestra en la Tabla 2. En el caso de los acuíferos con mineralización superior a los 2.000 mg/L, estas relaciones presentan valores muy elevados lo

Figura 7. Diagrama de Piper. Representación de las principales facies hidroquímicas. A) Aguas mineromedicinales en explotación (balnearios). B) Aguas minerales naturales embotelladas. C) Otros acuíferos de aguas minerales naturales y mineromedicinales.

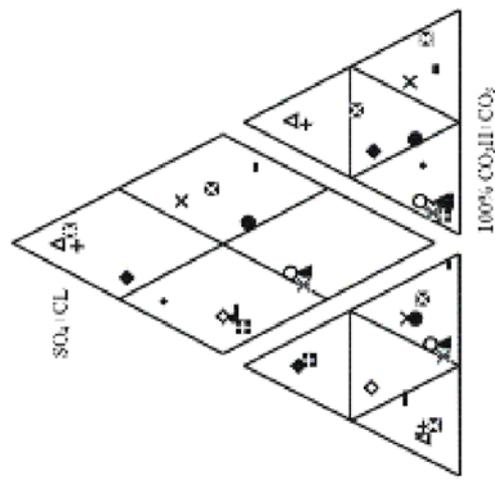
Figure 7. Piper diagram. Representation of the principal hydrochemical facies. A) Medical waters used for therapeutic treatments (spas). B) Bottled mineral natural water (bottled water). C) Other aquifers of mineral natural and medical water.



- ◆ S. J. Lago II
- ▲ Fragua Aurora
- ✕ C. Montero
- ▲ S. Bárbara
- S. Vicente
- S. M. Rosario
- ⊗
- Menéndez
- ✕ El Guea
- Soroa
- S. D. Baños
- + El Cedrón
- ◆ Sulfuroso



- ✕ Los Portales
- S. Bárbara
- ◆ Amaro
- ◆ S. J. Lago I
- Peña Azul
- ⊗ Mayabe
- Cancey (El Espejo)
- ✕
- ⊗ Copey
- ▲ Yumuri (Jacán)
- C. Montero I
- ▲ La Palma
- ⊗ Linuma
- ◆ Monte Alto
- + S. Canasta
- 



- ◆ Lobatón
- S. M. Baños
- ◆ S. Agustín
- + El Cedrón
- ✕ S. M. Rosario
- Covaruvia
- ⊗ Amores
- 
- ◆ La Cotorra (C.II)
- ✕ V. Guantánamo
- ▲ S. D. Baños
- ▲ Cangavacoa
- A. Claras
- ⊗ Los Jobos
- ◆ Trinidad
-

N.	Acuíferos	Provincia	Facie hidroquímica	Q	PH	HCO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	
1	Los Portales	P. del Río	Bicarbonatada Cálcica	5	7.40	349	28	28	
2	Aguas Claras	P. del Río	Bicarbonatada Sódica	1	7.40	151	7	28	
3	S. D. de los Baños	P. del Río	Sulfatada Cálcica	1	7.10	218	123	1154	
4	San Vicente	P. del Río	Sulfatada Cálcica	6	7.20	149	134	999	
5	Soroa	P. del Río	Bicarbonatada Cálcica Magnésica	1	7.12	591	38	46	
6	La Cotorra	C. Habana	Bicarbonatada Magnésica	2	7.40	441	25	33	
7	San Agustín	C. Habana	Bicarbonatada Cálcica Magnésica	1	7.12	460	39	29	
8	S. M. Rosario I	C. Habana	Bicarbonatada Clorurada Sódica	4	7.80	541	272	176	
9	S. M. Rosario II	C. Habana	Bicarbonatada Sódica	1	7.40	1238	38	137	
10	El Copey	Habana	Bicarbonatada Cálcica Magnésica	2	7.12	394	10	41	
11	Sulfuroso	Habana	Bicarbonatada Magnésica Cálcica	2	7.16	500	100	110	
12	La Cotorra	I. Juventud	Bicarbonatada Cálcica	10	7.4	72	4	5.9	
13	Santa Fé	I. Juventud	Bicarbonatada Cálcica Magnésica	6	7.10	909	112	198	
14	Santa Bárbara	I. Juventud	Bicarbonatada Cálcica Magnésica	4	7.11	1106	33	210	
15	El Vivero	Matanzas	Bicarbonatada Cálcica Magnésica	3	7.20	400	48	56	
16	Jacan	Matanzas	Bicarbonatada Cálcica Magnésica	1	7.22	201	9	8	
17	S. M. Baños	Matanzas	Bicarbonatada Magnésica	1	7.12	647	23	34	
18	Menéndez	Matanzas	Clorurada Sódica	8	7.68	196	36557	4090	
19	La Fragua	Matanzas	Clorurada Sódica	5	7.60	212	1417	301	
20	La Aurora	Matanzas	Clorurada Sódica	4	7.10	365	25431	5412	
21	Amaro	Villa Clara	Clorurada Sódica	1	7.20	48	53	20	
22	Lobatón	Villa Clara	Bicarbonatada Cálcica	4	7.40	268	58	52	
23	Elguea	Villa Clara	Clorurada Sódica	34	7.30	200	27367	3936	
24	Ciego Montero I	Cienfuegos	Bicarbonatada Clorurada Sódica	1	7.20	571	269	139	
25	Ciego Montero II	Cienfuegos	Clorurada Sódica	4	7.32	315	712	460	
26	S. J. del Lago I	Sancti Spíritus	Bicarbonatada Cálcica	3	7.24	346	11	63	
27	S. J. del Lago II	Sancti Spíritus	Bicarbonatada Cálcica	8	7.46	350	11	64	
28	Trinidad	Sancti Spíritus	Bicarbonatada Sulfatada Magnésica	6	7.20	490	62	18	
29	La Palma	Ciego de Ávila	Bicarbonatada Cálcica	3	7.30	971	42	54	
30	Peña azul	Camagüey	Bicarbonatada Magnésica	2	7.12	476	13	34	
31	Tinima	Camagüey	Bicarbonatada Clorurada Magnésica	2	7.80	221	108	95	
32	Covarrubia	Las Tunas	Bicarbonatada Clorurada Sódica	5	7.60	521	208	167	
33	Mayabe	Holguín	Bicarbonatada Clorurada Sódica	5	7.00	180	102	40	
34	Monte Alto	Granma	Bicarbonatada Sódica Cálcica	2	7.20	510	40	24	
35	Los Jobos	Granma	Sulfatada Clorurada Sódica	1	7.20	90	132	149	
36	El Espejo	Stgo de Cuba	Bicarbonatada Cálcica Magnésica	3	7.12	498	12	83	
37	El Cedrón	Stgo de Cuba	Sulfatada Cálcica	2	7.00	269	179	1094	
38	La Cuquita	Stgo de Cuba	Clorurada Cálcica Sódica	8	7.50	973	3378	389	
39	Canavacoa	Guantánamo	Bicarbonatada Cálcica Sódica	2	7.60	139	10	11	
40	V. Guantánamo	Guantánamo	Clorurada Sódica	3	7.20	17	281	141	
41	Sierra Canasta	Guantánamo	Bicarbonatada Cálcica	3	7.40	285	13	34	
42	Amores	Guantánamo	Clorurada Cálcica	2	7.12	6.5	62	12	
43	Porto Santo	Guantánamo	Bicarbonatada Cálcica	2	7.14	304	33	46	
44	Las Caobas	Granma	Bicarbonatada Cálcica	2	7.84	345	414	61	
45	El Visco	Stgo de Cuba	Clorurada sódica	3	7.31	452	42	10	
NCAP Norma cubana de agua potable (valores limites abmisibles)							400	250	400
NCAM Norma cubana de agua mineral natural (valores limites abmisibles)							400	1000	400

Tabla 1. Localización por provincias y clasificación de los acuíferos por componentes mayoritarios. Caudal (Q en l/s), concentración de los diferentes elementos químicos en mg/l y total de sólidos disueltos (TSD en mg/L).

Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	H <sub>2</sub> S	K <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Mn <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Li <sup>+</sup>	Br <sup>-</sup>	I <sup>-</sup>	Sr <sup>2+</sup>	B <sup>-</sup>
139	9	15											
21	4	40											
462	61	68	40										
382	55	67	100	100				100					
104	41	57	56										
21	80	30											
72	40	37											
28	40	321											
27	128	298	30										
60	46	29											
75	110	100	115	50	0.3	0.7	0.13	0.02	0.1			10	4
3.5	13	5											
157	97	163											
122	128	128											
80	35	48											
9	34	6	0.001	0.01	0.05	0.01	0.001	0.04	0.01		0.13	0.07	0.025
16	114	23											
1760	1772	22225	50	880		0.9	0.8	0.05	0.4	140	0.9	48	42
231	84	756	80							130			
1511	1364	15841	40										
14	6	36											
98	15.7	14											
1707	1297	14700	40	1297						103			
56	38	283											
115	117	465	45										
136	3	16											
122	2.5	14	40										
60	46	99											
324	8	42											
29	78	14											
28	67	35											
40	46	275											
13	16	98											
50	62	71											
20	14	135											
111	45	42											
434	66	112											
1102	82	1237								87			
25	3.1	28					0.17	0.16					
38	28	152											
97	7	4											
30	3	7		100									
135	4.6	7											
16	11	401		0.5									
100	31	46		5									
200	150	200	0.05	10	0.2	0.3	0.1	15	3			2	1
200	150	200	0.05	50		5			1	4			

Table 1. Aquifer classification according to major components and location of different aquifers by provinces. Volume of water flowing per unit of time (Q in l/s), concentration of different elements in mg/l and total dissolved solids (TSD in mg/L).

N.	Acuíferos	Ni <sup>+</sup>	Cr <sup>3+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Ba <sup>2+</sup>	F <sup>-</sup>	V <sup>5+</sup>	Si <sup>4+</sup>	SiO <sub>2</sub>	Pb <sup>2+</sup>	Hg <sup>2+</sup>	Mo <sup>6+</sup>
1	Los Portales											
2	Aguas Claras											
3	S. D. de los Baño											
4	San Vicente	0.2										
5	Soroa											
6	La Cotorra											
7	San Agustín											
8	S. M. Rosario I											
9	S. M. Rosario II											
10	El Copey											
11	Sulfuroso				0.05		0.03	90		0.02		
12	La Cotorra											
13	Santa Fé											
14	Santa Bárbara											
15	El Vivero											
16	Jacan	0.04	0.001	0.005	0.02	0.005	12		0.001	0.001	0.001	0.001
17	S. M. Baños											
18	Menéndez	0.9		0.14		0.001			50			
19	La Fragua											
20	La Aurora											
21	Amaro											
22	Lobatón											
23	Elguea											
24	Ciego Montero I											
25	Ciego Montero II											
26	S. J del Lago I											
27	S. J. del Lago II											
28	Trinidad		0.04	0.001		0.008				0.007		
29	La Palma											
30	Peña azul											
31	Tinima											
32	Covarrubia					0.007						
33	Mayabe											
34	Monte Alto					0.7						
35	Los Jobos											
36	El Espejo		0.006	0.05	0.11	0.18						
37	El Cedrón								50			
38	La Cuquita								40			
39	Canavacoa		0.002	0.001	0.02				50			
40	V. Guantánamo								20			
41	Sierra Canasta											
42	Amores											
43	Porto Santo											
44	Las Caobas											
45	El Visco								70			
NCAP		0.05	0.05	1	0.03	1	0.1	20		0.05	0.001	0.5
NCAM		0.05	0.05	1	0.03	1	0.1	20		0.05	0.001	0.5

NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Co <sup>2+</sup>	As <sup>5+</sup>	Cd <sup>2+</sup>	Ra <sup>2+</sup> (Bq/m <sup>3</sup> )	TSD	Rango TSD	Referencia
					568	500-600	Rodríguez, 1995
					251	200-300	Pérez, 1995b
					2076	2000-2200	Puentes, 1989
					1786	1800-2000	Rodríguez, 1995
					877	600-1000	Rodríguez, 1995
					630	600-800	Rodríguez, 1995
					677	600-700	Rodríguez, 1995
					1378	1300-1500	Rodríguez, 1995
					1866	1800-1900	Rodríguez, 1995
	0.02				633	600-700	Pérez, 1995b
					580	500-900	Pérez, 1995b
					103	100-200	Pérez, 1995b
					1636	1500-2000	Rodríguez, 1995
					1727	1500-3000	Rodríguez, 1995
					667	600-800	Pérez, 1995b
	0.02	0.001			132	100-200	Pérez, 1995b
					857	800-1000	Pérez, 1995b
	0.8		0.1		65333	59000-71000	Contrera, 1991
				2700	3001	1500-10000	Rojas, 1992
					49924	10000-50000	Rojas, 1992
					177	100-200	Rodríguez, 1995
					505	400-600	Rodríguez, 1995
					49207	40000-60000	Rodríguez, 1995
					1356	1300-1500	Rodríguez, 1995
					2184	1800-2200	Pérez, 1995a
					575	500-700	Rodríguez, 1995
					563	500-600	Pérez, 1995a
9.1				2300	775	600-800	Canal, 1992
					1441	1400-1500	Rodríguez, 1995
					644	600-700	Mayedo, 1992
					554	200-600	Mayedo, 1992
					1257	1200-1900	Carballoso, 1992
					449	400-600	Pérez, 1995b
					757	500-1500	Rojas, 1996
					540	500-600	Pérez, 1995b
28.6		0.05	0.003		791	700-800	Ojeda, 1992
				2100	2154	2000-2400	Rodríguez, 1995
					7161	10000-11000	Serge, 1990
1.2					216	200-300	Rodríguez, 1995
					657	600-700	Suarez, 1991
					440	400-600	Carratge, 1991
					120	100-160	Rodríguez, 1995
					529	400-600	Rodríguez, 1995
					1248	1000-1380	Rodríguez, 1995
					681	600-700	Pérez, 1995b
45	1	0.05	0.005				
45	1	0.05	0.005				

que, en mi opinión, se debe a los diferentes efectos modificadores (lavado de sales, intercambio iónico por elevado tiempo de contacto con las rocas, resultado de largos procesos de migración de esta agua, que les ha permitido enriquecerse en determinados tipos de sales, etc.), que tienen lugar en las formaciones geológicas de estos acuíferos que son fundamentalmente de origen marino.

Durante el tiempo de infiltración y circulación del agua de recarga hacia el acuífero a través de las grietas y fisuras de las rocas carbonatadas, el agua disuelve gran cantidad de carbonato de calcio y magnesio de las calizas y dolomías, confiriéndole un marcado carácter bicarbonatado cálcico y bicarbonatado magnésico a las aguas minerales naturales (Rodríguez, 1995).

En la composición química de los acuíferos de aguas mineromedicinales del occidente del país se han encontrado bajas concentraciones de elementos I y Br, que son utilizados como indicadores geoquímicos en la búsqueda de aperturas de sellos de yacimientos gasopetrolíferos (Pérez, 1995a y Batista et al., 1996). Es bueno destacar que principalmente en la zona Norte del país se localizan y explotan los mayores yacimientos de petróleo de Cuba.

### Recarga de los acuíferos

Se produce mayoritariamente por la infiltración de las aguas meteóricas. La infiltración y movimiento de las aguas en la mayoría de los acuíferos cubanos ocurren principalmente a través de grietas y fracturas de diversa naturaleza, favorecidas por los siguientes factores: a) existencia de un relieve llano, b) la amplia fracturación de los materiales geológicos que conforman la isla (Rodríguez, 1995) y c) el amplio desarrollo de estructuras cársticas (Fagundo et al., 1996). Este aspecto se confirma al evaluar las relaciones iónicas (en miliequivalentes por litro (r))  $rCl/rHCO_3$  y  $rMg/rCa$  y el índice de desequilibrio entre cloruros y alcalinos o índice de cambio de base ( $icb=(rCl-(rNa+rK))/rCl$ ) que aparecen en la Tabla 2. El índice de desequilibrio entre cloruros y alcalinos ( $icb$ ) en las aguas minerales es siempre cercano a cero, lo que constituye un indicativo de la no presencia de agua marina, los valores obtenidos para estos índices (Tabla 2) son típicos de acuíferos con recarga regional como resultado de la infiltración del agua de lluvia. Resultados similares

pueden verse en los trabajos de Custodio (1983) en acuíferos de España y Pulido et al. (1998) en acuíferos de Marruecos.

### Captación

Las aguas minerales naturales de los diferentes acuíferos de la Isla de Cuba se captan fundamentalmente por medio de pozos someros (poco profundos), mientras que las mineromedicinales se explotan a través de pozos y manantiales que brotan a la superficie por las fracturas de los macizos rocosos (Álvarez y Moreno, 1996). El caudal es variable entre 2-10 l/s mayoritariamente (Tabla 1).

### Clasificación

Las aguas minerales, mineromedicinales y termales, al igual que las demás aguas subterráneas, una vez conocidas sus propiedades, composición química y calidad bacteriológica pueden ser clasificadas atendiendo a diferentes parámetros, entre los que se pueden destacar: 1) aniones y cationes mayoritarios, 2) los componentes medicinales o característicos, 3) total de sólidos disueltos (TSD), 4) según los usos y 5) por el pH.

#### *Clasificación según los componentes mayoritarios*

Las aguas se clasifican atendiendo al anión y catión que supere el 50% en miliequivalentes por litro del total de la mineralización. En el caso de que ninguno supere este porcentaje, se tomarán los dos aniones y cationes que se encuentren en mayor proporción (Anderson, 1966; Custodio, 1983). En la Tabla 1 se muestra la clasificación de los acuíferos estudiados atendiendo a los componentes mayoritarios. Se puede ver que el anión predominante es el bicarbonato y el catión el calcio (Fig. 7).

#### *Clasificación según los componentes característicos*

Son aquéllos que no son comunes en las aguas subterráneas, y su concentración es en forma de trazas: Li, F, Br, I, Fe y S etc. (Aller et al., 1996). En la Tabla 1 y Tabla 3 se puede apreciar que existen varios acuíferos en los

Tabla 2. Índices hidrogeoquímicos  $rMg/rCa$ ,  $rCl/HCO_3$  e índice de cambio de base ( $icb=(rCl-(rNa+rK))/rCl$ ) (r= miliequivalentes por litro (mqe/l)).

Table 2. Hydrogeochemical indices  $rMg/rCa$ ,  $rCl/HCO_3$  and cationic exchange value ( $CEV=(rCl-(rNa+rK))/rCl$ ).

No.	Acuíferos	$\text{Icb} = ((\text{rCl} - (\text{rNa} + \text{rK})) / \text{rCl})$	$\text{rCl} / \text{HCO}_3$	$\text{rMg} / \text{Ca}$
1	Los Portales	0.1 ± 0.17	0.14 ± 2.17	0.18 ± 1.25
2	Agua Clara	-7.81 ± -2.30	0.08 ± 3.12	0.15 ± 1.05
3	S. D. de los Baños	0.15 ± 0.22	1.02 ± 2.15	0.59 ± 1.31
4	San Vicente	0.1 ± 0.23	1.55 ± 2.68	0.39 ± 1.28
5	Secoa	-1.31 ± -0.35	0.11 ± 4.91	0.16 ± 1.25
6	La Cotorra	-0.9 ± -0.85	0.10 ± 3.18	0.06 ± 1.54
7	San Agustín	-0.46 ± -0.24	0.15 ± 3.25	0.08 ± 1.02
8	S. M. Rosario I	-0.82 ± -0.61	0.86 ± 3.58	0.50 ± 1.29
9	S. M. Rosario II	-11.10 ± -7.52	0.15 ± 4.45	0.03 ± 1.25
10	El Copey	-1.68 ± -0.22	0.10 ± 3.21	0.06 ± 1.05
11	Sulfuroso	-3.47 ± -2.33	0.04 ± 1.22	0.32 ± 0.85
12	La Cotorra	-0.93 ± -0.67	0.10 ± 1.35	0.06 ± 0.47
13	Santa Pá	-1.24 ± -0.82	0.21 ± 0.94	0.12 ± 0.16
14	Santa Bárbara	-4.98 ± -2.91	0.05 ± 0.61	0.03 ± 0.28
15	El Vivero	-0.54 ± -0.31	0.21 ± 1.25	0.11 ± 0.35
16	Jacón	-1.06 ± -0.54	0.21 ± 1.2	0.02 ± 1.12
17	S. M. Baños	-0.54 ± -0.16	0.06 ± 0.45	0.04 ± 1.15
18	Maséndez	0.04 ± 0.42	132 ± 179	98 ± 105
19	La Fragua	0.18 ± 0.26	7.25 ± 11.49	0.9 ± 6.68
20	La Aurora	0.04 ± 0.31	107 ± 120	52 ± 71
21	Amaro	-0.05 ± 0.02	1.65 ± 2.9	0.31 ± 1.10
22	Lobatón	0.21 ± 0.63	0.41 ± 2.13	0.22 ± 0.65
23	El Guay	0.17 ± 0.41	224 ± 237	121 ± 139
24	Ciego Montero I	-0.62 ± -0.13	0.81 ± 2.13	0.27 ± 0.76
25	Ciego Montero II	0.01 ± 0.35	1.25 ± 3.98	0.26 ± 2.26
26	S. I. del Lago I	-1.24 ± -0.51	0.15 ± 3.14	0.03 ± 1.32
27	S. I. del Lago II	0.2 ± 0.96	0.05 ± 3.16	0.1 ± 1.25
28	Trinidad	-1.46 ± -0.87	0.22 ± 2.35	0.31 ± 1.11
29	La Palma	-0.54 ± -0.11	0.07 ± 2.17	0.34 ± 1.24
30	Peña azul	-0.66 ± -0.24	0.15 ± 2.16	0.36 ± 0.95
31	Tulma	0.12 ± 0.50	0.84 ± 3.51	0.32 ± 0.49
32	Covadonga	-1.04 ± -0.36	0.69 ± 3.54	0.41 ± 0.74
33	Mayabe	-0.48 ± -0.12	0.97 ± 3.61	0.32 ± 0.77
34	Monte Alto	-1.74 ± -0.15	0.13 ± 2.15	0.28 ± 1.16
35	Los Jobos	-0.58 ± -0.21	0.97 ± 2.52	0.56 ± 1.47
36	El Bepejo	-4.40 ± -0.25	0.04 ± 0.88	0.29 ± 0.62
37	El Cedrón	0.03 ± 0.31	1.14 ± 2.43	0.41 ± 0.87
38	La Coquita	0.44 ± 0.17	3.5 ± 5.98	0.9 ± 3.47
39	Canavaca	-3.32 ± -1.23	0.12 ± 1.25	0.27 ± 1.31
40	V. Guantánamo	0.14 ± 0.27	1.3 ± 4.51	0.53 ± 6.32
41	Sierra Canasta	0.04 ± 0.71	0.08 ± 4.21	0.05 ± 0.92
42	Amores	0.18 ± 0.83	4.2 ± 16.4	0.1 ± 1.54
43	Porto Santo	0.67 ± 0.98	0.19 ± 0.51	0.11 ± 0.45
44	Las Cuobas	-0.49 ± -0.12	1.2 ± 2.06	0.3 ± 1.20
45	El Visco	-0.69 ± -0.1	0.1 ± 0.60	0.09 ± 0.51
Agua Marina (Custodio, 1983)		1.2-1.3	20 ± 50	5 ± 5.4
Agua Continental (Custodio, 1983)		Próximo a cero	0.1 ± 5.1	0.3 ± 1.5

Nombre del Acuífero	Componentes medicinales
San Diego de los Baños	Sulfhídricas
San Vicente	Sulfhídricas
Soroa	Sulfhídricas
Santa María del Rosario	Sulfhídricas
Sulfuroso	Sulfhídricas
Menéndez	Sulfhídricas Estroncicas Bromurada
El Visco	Silíceas
Elguea	Sulfhídricas Bromurada
Ciego Montero II	Sulfhídricas Silíceas
San José del Lago II	Sulfhídricas
El Cedrón	Silíceas
La Cuquita	Sulfhídricas Bromurada
Fragua	Sulfhídricas Bromurada
Aurora	Sulfhídricas Bromurada

Tabla 3. Clasificación por componentes medicinales.

Table 3. Classification according to medical components.

que han sido detectados y estudiados estos elementos, aunque es oportuno destacar que su estudio es incompleto. Los elementos más estudiados son el S, Br y I.

#### *Clasificación según el total de sales disueltas en mg/L (TSD)*

Se considera al peso total de sales disueltas en un litro de agua sean o no volátiles (Custodio, 1983). Se consideran aguas dulces las que presentan valores entre 0-2000 mg/L, salobres entre 2.000-10.000 mg/L, saladas entre 10.000-40.000 mg/L y salmueras las que tienen concentraciones mayores de 40.000 mg/L. En el caso de los acuíferos cubanos analizados el 79% es dulce, el 7% salobres, el 5% saladas y el 9% salmueras (Tabla 1).

#### *Clasificación según los usos*

La legislación española vigente ("Ley de minas de 1973") establece 4 tipos de aguas minerales: 1) minero-medicinales, 2) minero-industriales, 3) termales y 4) agua mineral natural o agua embotellada.

1) Mineromedicinales: las alumbradas natural o artificialmente que por sus características y cualidades sean aptas para el uso público. En el caso de las aguas minerales o mineromedicinales, dichos componentes le confieren propiedades terapéuticas o medicinales para el tratamiento de diferentes enfermedades. En Cuba existen varios acuíferos con estas características, relacionados en la Tabla 1 y Tabla 3. Predominan las aguas sulfhídricas con concentraciones entre 10 y 130 mg/L de H<sub>2</sub>S. Su origen puede estar relacionado con los restos de bitumen que se encuentran en las

rocas que conforman estos acuíferos. La presencia de especies reducidas de azufre hace que se clasifiquen como aguas mineromedicinales de gran calidad (Contreras, 1991). En segundo lugar, cabe destacar las bromuradas, con concentraciones entre 10 y 210 mg/L de Br.

En la actualidad se dispone de 14 balnearios en el ámbito nacional, entre los que se destacan los relacionados con las aguas mineromedicinales del occidente del país (Pinar del Río, Matanzas y Santa Clara), vinculados al turismo y turismo de salud (Álvarez y Moreno, 1996).

2) Minero industriales: son aquéllas que permiten un aprovechamiento racional en la extracción de las sales minerales disueltas. En Cuba no se explota ningún acuífero con este fin.

3) Termales: las que presentan una temperatura superior en 4°C a la media anual del lugar donde alumbrada. En la Isla de Cuba, están representadas por aguas de circulación profunda a través de fracturas, caracterizadas por temperaturas entre los 30 y 50 grados. Los acuíferos termales estudiados son: Elguea, con temperaturas de 40 a 50 °C (Rodríguez, 1990), acuífero Menéndez, con 40 °C (Contrera, 1991), acuífero San Diego, con 33 °C (Puentes, 1989), acuíferos Fragua con 38 °C y Aurora con 40 °C (Rojas, 1992) y acuífero La Cuquita, con 31 °C (Serge, 1990). La mayoría de estas aguas son empleadas en la actualidad como fuente de abastecimiento a balnearios e instalaciones médicas para tratamiento terapéutico de diferentes enfermedades en el turismo de salud.

4) Agua mineral natural o agua embotellada: tienen características químicas y bacteriológicas naturales que permiten el consumo humano, y esto presupone para su explotación que las características físicas y la composición química deben mantenerse dentro de los límites o rangos impuestos para este fin independientemente de las fluctuaciones naturales, de las posibles variaciones del caudal del manantial o pozo de explotación (Pinuagua et al., 1995). Aproximadamente el 55 % de los acuíferos evaluados presentan condiciones de mineralización adecuada para ser utilizados como aguas minerales naturales (actualmente se explotan unos 16 acuíferos, Tabla 1 y Tabla 4; Fig. 3b y Fig. 3c). A estos acuíferos estudiados se les han realizado ensayos de bombeo y evaluación física, química y bacteriológica comprobando que cumplen los requisitos establecidos desde el punto de vista sanitario, según las normas cubanas e internacionales.

En la actualidad, en Cuba se comercializan 16 marcas de agua embotellada, que se relacionan en la Tabla 4

Provincia	Nombre de la marca
Pinar del Río	Los Portales
La Habana	Copey y Santa Bárbara
Matanzas	Yumuri
Villa Clara	Amaro
Cienfuegos	Ciego Montero
Santí Spíritu	San José del Lago
Ciego de Ávila	La Palma
Camagüey	Peña Azul y Timiza
Holguín	Mayabe
Granma	Monte alto
Santiago de Cuba	Caney
Guantánamo	Sierra Cabana y Porto Santo
Isla de La Juventud	La Cotarra

Tabla 4. Marcas de agua embotellada comercializadas en Cuba.

Table 4. Bottled water brands commercialised in Cuba.

(Alvarez y Moreno, 1996). Se trabaja en la recuperación de antiguas fuentes aprovechadas en el pasado para la obtención de agua embotellada y en el desarrollo tecnológico de esta industria, la cual ha experimentado un importante crecimiento económico en los últimos años, como resultado del incremento de la actividad turística internacional.

#### Clasificación según el pH

De acuerdo al rango de pH de los acuíferos de aguas minerales naturales, termales y mineromedicinales pueden considerarse ligeramente ácidas (pH=6.5-7) a ligeramente básicas (pH=7-7.8) (Tabla 1).

#### CONCLUSIONES

Los acuíferos se encuentran predominantemente en rocas carbonatadas y terrígeno carbonatadas. La recarga de la mayoría de los acuíferos de aguas minerales, mineromedicinales y termales en Cuba es el resultado de la infiltración de las aguas meteóricas. Según su composición química se clasifican en bicarbonatadas cálcicas, bicarbonatadas magnésicas y cloruradas sódicas. Los principales componentes medicinales son compuestos de azufre y bromo.

El conocimiento hidrogeológico de Cuba presenta numerosas lagunas, debido al insuficiente grado de estudio existente y a la complicada constitución geológica estructural, lo cual queda reflejado en el hecho de que no se han detectado aguas minerales en las rocas graníticas. Tampoco han sido evaluadas las rocas del complejo ofiolítico cu-

bano y, en menor medida, se encuentran en esta misma situación las rocas volcánicas y vulcanosedimentarias. Las rocas graníticas del centro del país constituyen una zona favorable para la localización de aguas minerales naturales.

El potencial de aguas minerales no se explota como cabría esperar, a la vista del auge actual del consumo de agua embotellada, por lo que puede afirmarse que este es un sector en pleno desarrollo económico y de gran potencial para la región del Caribe.

#### AGRADECIMIENTOS

A la Generalitat de Catalunya "Comissionat per Universitats i Recerca" por el soporte económico de la beca otorgada al autor del trabajo, para la realización de estudios de doctorado en la UPC. A los revisores Drs. Jordi Tritlla y Xavier Font y a los editores Drs. Joan C. Melgarejo y Joaquín A. Proenza, por sus oportunas críticas, que han permitido enriquecer este trabajo. A la Lic. Anna Mateu Guàrdia por la corrección del texto y al Lic. Salvador Fabregat por la colaboración en el procesamiento gráfico. Al Departamento de Geología y al fondo geológico del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Cuba, por facilitar la información disponible.

#### BIBLIOGRAFÍA

- Aller, A., Gómez, E., Martínez, O., Morán, A., 1996. Hidroquímica de las aguas minerales y mineromedicinales declaradas de utilidad pública en la provincia de León. *Tecnología del agua*, 152, 56-62.
- Álvarez, A., Moreno, M., 1996. Las aguas minerales y mineromedicinales en Cuba. In J. R. Fagundo, D. Pérez Franco, J.M. García, A. Alvarez, I. Morell (eds). *Contribución a la hidrogeología y el medio ambiente en Cuba*. Castellón, España, Universitat Jaume I Pub., 301-309.
- Anderson, K.E., 1966. *Water well handbook*. Missouri Water Well Driller Association. ed. Rolla, Missouri, 54 pp.
- Arnol, M., 1988. Equilibrio químico e isotópico entre sulfatos y sulfuros de los fluidos hidrotermales del campo geotérmico Los Azufres Michoacan. *Implicaciones sobre el origen del azufre*. *Revista de la UNAM*. México, 7(1), 97-105.
- Back, W., Landa, E.R., Meeks, L., 1995. Bottled water, spas, and early years of water chemistry. *Ground Water*, 33(4), 605-614.
- Baeza, J., Fernández, J.A., García, C., 1987. Las aguas minerales, los recursos geotérmicos y las estructuras subterráneas ante la quiebra de la unidad administrativa del subsuelo. *Hidrogeología y recursos hidráulicos*. En IV Simposio de hidrogeología. ed. AIH España. 293-299.

- Batista, J., Blanco, J., Rodríguez, R.L., 1996. Regularidades hidroquímicas del yacimiento de aguas mineromedicinales y termales Menéndez. *Minería y Geología*, 13(1), 43-51.
- Calado, C., 1984. Elementos estadísticos de aguas minerais e de mesa referentes a 1983. *Boletín de Minas*, 21(2), 287-320.
- Canal, L., 1992. Prospección preliminar y detallada de aguas de mesa. Trinidad. Trabajo de Diploma. Fondo geológico, ISMM, Moa, 68 pp.
- Carballoso, E.R., 1992. Evaluación de las aguas minerales naturales de mesa en Chaparra. Las Tunas. Trabajo de Diploma. Fondo geológico ISMM, Moa, 65 pp.
- Castany, G., 1971. Tratado práctico de las aguas subterráneas. Barcelona, Ed. Omega. 655 pp.
- Cervantes, P., Moreno, A.M., Machado, A., 1996. Niveles de exposición de las radiaciones ionizantes en el balneario Elguea de la República de Cuba. In J.R. Fagundo, D. Pérez Franco, J. M. García, A. Alvarez, I. Morell (eds). Contribución a la hidrogeología y al medio ambiente en Cuba. Castellón, España, Universitat Jaume I Pub., 311-317
- Cobiella, J., 1988. El vulcanismo Paléogeno cubano. Apuntes para un nuevo enfoque. *Revista Tecnología*, 18, 25-32.
- Contrera, C., 1991. Características hidrogeológicas de las aguas termominerales del yacimiento Menéndez. Trabajo de Diploma. ISMM. Moa. 54 pp.
- Corratge, R., 1980. Geología e hidrogeología de la parte Sur de la Sierra Canasta, Guantánamo. Trabajo de Diploma. ISMM, Moa, 51 pp.
- Custodio, E., 1983. Temperatura del agua. Aguas minerales y aguas termales. In Hidrología subterránea. Custodio, E. Llamas, M.R.(eds). Barcelona, Omega Pub., 1064-1077.
- Díaz de Villalvilla, L., 1985. Proposición para la división de la llamada Formación Tobas (Provincia de Cienfuegos, Villa Clara y Santi Spiritus). *Serie Geológica*, 1, 133-154.
- Fagundo, J.R., Valdés, J.J., Rodríguez, J.E., 1996. Hidroquímica del carst. Grupo de recursos hídricos y geología ambiental, Univ. Granada Pub., 212 pp.
- Fagundo, J.R., 1986. Algoritmo para el cálculo de parámetros e índices fisicoquímicos y geoquímicos de aguas altamente mineralizadas. *Revista CENIC*, 17(1-2), 72-76.
- Feiro, F., 1982. Hidrogeología general. La Habana. Cuba. Científico Técnico Pub., 406 pp.
- Fricke, M., 1993. Natural mineral waters, curative-medical waters and their protection. *Environmental Geology*, 22, 153-161.
- Gagua, G., Zarembo, S., Izquierdo, A., 1976. Sobre el nuevo mapa isoyético de Cuba. *Voluntad Hidráulica*, 37, 35-41.
- García, J.M., Blanca, A., 1996. Educación ambiental y medio ambiente. Contribución a la hidrogeología y el medio ambiente en Cuba. In J.R. Fagundo, D. Pérez Franco, J.M. García, A. Álvarez, I. Morell (eds). Contribución a la hidrogeología y el medio ambiente en Cuba. Castellón, España, Universitat Jaume I Pub., 255-268.
- George, L.D., 1994. Uses of Spring water. *Environmental Geology*, 24, 125-132.
- Green, M., Green, T., 1985: The best bottled waters in the world. New York, Simon and Schuster Pub., 172 pp.
- Iturralde-Vinent, M.A., 1996. Ophiolitas y arcos volcánicos de Cuba. IGCP Project 364, special Contribution N.1.
- Iturralde-Vinent, M.A., 1994. Cuban geology: a new plate-tectonic synthesis. *Journal of Petroleum Geology*, 17, 39-70.
- Klimentov, P., Kononov, V.M., 1978. Metodología de las investigaciones hidrogeológicas. Moscú, Mir Pub., 445 pp.
- López, M.M., Pulido, A., 1995. Los manantiales termominerales de Salar (Granada). Un sistema de flujo profundo ligado esencialmente a la descarga de Sierra Gorda. *Geogaceta*, 18, 134-142.
- López, M.M., Pulido, A., 1996. Observaciones hidrogeológicas e hidroquímicas sobre los manantiales termominerales de Alhama de Granada (Cordilleras Béticas. España). *Geogaceta*, 19, 134-142.
- Mayedo, M., 1992. Prospección preliminar y detallada de aguas minerales en el sector "Camalote", municipio Güaimaro, provincia Camagüey. Trabajo de diploma ISMM. Moa. Holguín. Cuba. 50 pp.
- Meyerhoff, A. A., Hatten, C. W., 1968. Diapiric structures in central Cuba. *AAPG. Mem.*, 8, 315-357.
- Mijailov, L., 1989. Hidrogeología. Moscú, Mir Pub., 285 pp.
- Millan, G., Somin, M., 1985. Contribución al conocimiento geológico de las metamorfitas del Escambray y Purial: reportes de investigación (2). Academia de Ciencias de Cuba, 1-74.
- Norma cubana 93-02. Agua potable 1985. Requisitos sanitarios y muestreo. 37 pp.
- Norma cubana 93-01-218. Aguas minerales 1995. Requisitos para la clasificación, evaluación, explotación y utilización. 40 pp.
- Núñez, A., Viña, N., Acevedo, M., Mateo, J. Iturralde, M., Graña, A., 1988. Cuevas y carsos. La Habana, Científico Técnica pub., 431 pp.
- Ojeda, M.M., 1992. Evaluación hidrogeológica del sector El Espejo. Agua natural de mesa, Santiago de Cuba. Trabajo de Diploma. Fondo geológico, ISMM. Moa. 76 pp.
- Pérez, M., 1995a. Características Geológicas e Hidrogeológicas de las aguas mineromedicinales de Cuba. Trabajo de Diploma. Fondo geológico, ISMM. Moa. 45 pp.
- Pérez, M., 1995b. Características geológicas e hidrogeológicas de las aguas de mesa de Cuba. Trabajo de Diploma. Fondo Geológico, ISMM. Moa. 43 pp.
- Pérez, M. Rodríguez, J., Castillo, O., 1983. Petrología de las rocas del macizo Daiquirí. *Minería y Geología*, 2, 99-130.
- Pinuagua, J.I., Almarza, J., Carrasco, A., Sánchez, J., 1995. Las aguas minerales y termales en la comunidad autónoma de Andalucía. VI Simposio de hidrología XX. AEHS, 33-47.
- Proenza, J.A., 1998. Cromitas podiformes en la faja ophiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba). Ejemplo del yacimiento Mercedes. Tesis Doctoral, Universitat de Barcelona, 349 pp.

- Prol-Ledesma, R. M., 1988. El calor interno de la tierra. México. Fondo de cultura económica. S. A. Pub., 99 pp.
- Puentes, F. M., 1989. Proyecto de búsqueda de aguas minero-medicinales San Diego - Bermejales. Trabajo de diploma ISMM. Moa. Holguín. Cuba 56 pp.
- Pulido, A., Tahiri, A., Vallejos, A., 1998. Hydrogeochemical characteristics of processes in the Temara aquifer in North-Western Morocco. *Water, Air and Soil Pollution*. 00, 1-15.
- Redondo, R., Yélamos, J. G., Yepes, J., 1984. Composición química de las aguas envasadas (minerales naturales y minero-medicinales) de la España Peninsular. VI Simposio de hidrología XX. AEHS, 17-31.
- Rodríguez, R.L., 1995: Regularidades geológicas e hidrogeológicas de las aguas mineromedicinales y naturales de Cuba. Fondo geológico, ISMM. Moa. Cuba. 18 pp.
- Rodríguez, R.L., Blanco, J., 1995. Regularidades geológicas e hidrogeológicas de las principales manifestaciones de aguas mineromedicinales del occidente del país. Fondo geológico ISMM, Moa. Cuba. 18 pp.
- Rodríguez, S., 1990. Características hidrogeológicas del yacimiento de aguas termominerales Elguea, relación entre sus condiciones hidrodinámicas e hidroquímicas. Cálculo de reserva. Trabajo de Diploma ISMM. Moa. Cuba. 76 pp.
- Rojas, J., 1996. Caracterización y valoración de las aguas subterráneas de la zona Monte Alto para su embotellamiento como agua mineral. In J. R. Fagundo, D. Pérez Franco, J. M. García, A. Álvarez, I. Morell. (eds.). *Contribución a la hidrogeología y el medio ambiente en Cuba*. Castellón, España, Universitat Jaume I Pub., 225-236.
- Rojas, J., 1992. Estudio hidrogeológico del yacimiento de aguas Termominerales La Fragua y La Aurora. Trabajo de Diploma ISMM. Moa. Holguín. Cuba. 50 pp.
- Serge Ikia-N. de., 1990. Metodología de las investigaciones de las aguas mineromedicinales del sector La Cuquita, Guama. Trabajo de Diploma ISMM. Moa. Holguín. Cuba. 88 pp.
- Suárez, S., 1991. Evaluación Geólogo hidrogeológica del sector I agua de mesa Guantánamo. Trabajo de Diploma. ISMM, Moa. 41 pp.
- Weyl, R., 1966. Geologie der Antillen. In H.J. Martini (ed.), Band 4, Beitrage zur, Regionalen Geologie der Erde. Berlin, Guebrüder Bornträger Pub., 1-140.
- Yélamos, J.G., Redondo, R., Yepes, J., 1987. Composición química de las aguas envasadas (minerales naturales y mineromedicinales) de la España Peninsular. VI Simposio de hidrología XX. AEHS. España. 17-31
- Zötl, J.G., 1995. Badgastein spa. Austria central Alps. *Environmental Geology*, 26, 240-245.