

CARACTERIZACION DE FUENTES MINERALES EN EL DISTRITO FISICO - GEOGRAFICO PINAR DEL RIO, CUBA.

M. Sc. Boris Peña Fortes⁽¹⁾, Dr. Juan R. Fagundo Castillo⁽¹⁾, M. Sc. Fernando R. Delgado Hernández⁽²⁾, Dr. Laureano Orbera Hernández⁽¹⁾.

(1) Centro Nacional de Termalismo "Víctor Santamarina" (CENTERVISA), Ave 243, No. 19815, Reparto Fontanar, Boyeros, Ciudad de La Habana, C. P.: 19500, Cuba. C. Elect. : termalis@infomed.sld.cu

(2) Facultad de Geografía, Universidad de La Habana, Edif. Julio A. Mella, Calle L, No. 353 entre 21 y 23, Vedado, Ciudad de La Habana, C. P.: 10400, Cuba, C. Elect. : fdo@geo.uh.cu

RESUMEN

El trabajo que se presenta se enmarca dentro de los estudios de caracterización y clasificación de las aguas minerales, que como parte de los objetivos de trabajo del Centro Nacional de Termalismo (CENTERVISA), se vienen desarrollando en el país. Es conocido que las aguas minerales constituyen, por lo general entidades únicas; esto es: su composición química es diferente en cada yacimiento, manifestación, etc. y la misma depende fundamentalmente de factores geológicos e hidrogeológicos. Dicha composición es estable en el tiempo y puede ser estudiada a través del uso de diferentes Métodos de Caracterización y Clasificación de las aguas.

Basado en lo anterior el trabajo se propone como objetivo fundamental, caracterizar las aguas minerales en un conjunto de fuentes minerales del Distrito Físico - Geográfico Pinar del Río, a partir de un análisis integrador, teniendo en cuenta criterios tales como: origen, propiedades químico - físicas (temperatura, mineralización global, mineralización predominante y especial) y su uso actual y perspectiva. Para ello se llevó a cabo una búsqueda bibliográfica que permitió la aplicación de diferentes métodos de caracterización, clasificación y representación de las aguas naturales y minerales, según criterios de diferentes autores, lo que dio como resultado la caracterización de las fuentes minerales del Distrito Físico - Geográfico Pinar del Río, el esclarecimiento del modo en que las aguas adquieren su composición química, destacándose el papel que en ello juegan los procesos geoquímicos de interacción agua-roca y de mezcla de aguas. A tales resultados se suman, la confección de una base de datos de concentraciones de macrocomponentes y tres mapas sobre las fuentes minerales estudiadas.

ABSTRACT

The present paper is about mineral waters researches in Pinar del Rio province, western part of Cuba. The authors present a regional analysis, emphasizing in methods of classification of mineral waters. They take into account different parameters like origin, chemical and physical properties (temperature, mineralization) and other like actual and perspective use. As a results there are presented the mechanisms by mean of which natural waters get their mineral composition.

Introducción.

La acción beneficiosa de las aguas y peloides de los balnearios del país se conoce desde hace muchos años de manera empírica, no obstante, no es hasta después de la creación del Instituto de Hidrología y Climatología Médicas en el año 1945, que se comenzaron a hacer investigaciones científicas

encaminadas a dilucidar los mecanismos y los efectos que determinan las causa de tales curas; así como a establecer las prácticas terapéuticas adecuadas y los antagonismos de los diferentes recursos naturales. A pesar de que con la creación de ese Instituto, se comenzaron a desarrollar en Cuba investigaciones encaminadas a la caracterización de los recursos termales y a su aplicación con fines terapéuticos, esta actividad quedó relegada en la década del 60 debido, entre otras causas, a la influencia de las corrientes occidentales imperantes con relación a la medicina convencional.

En años más recientes y debido sobre todo, a la escasez de recursos, la denominada medicina natural ha cobrado fuerzas y en particular, las investigaciones relacionadas con las aguas y peloides, especialmente, después de la creación del Centro Nacional de Termalismo “Dr. Víctor Santamarina” (CENTERVISA), perteneciente al Ministerio de Salud Pública (MINSAP), el cual tiene entre sus objetivos la dirección de las investigaciones multidisciplinarias en el campo del Termalismo.

Dentro del marco de las citadas investigaciones se realiza el presente estudio, con el cual se pretende compilar, organizar y evaluar todo un conjunto de informaciones y datos existentes sobre las principales fuentes minerales del Distrito Físico Geográfico Pinar del Río y llegar a criterios de caracterización y clasificación.

En Cuba los estudios hidroquímicos han sido realizados, solo dentro del marco de los trabajos de exploración hidrogeológica, para la caracterización de las fuentes termales y el estudio fuentes minerales en los diferentes yacimientos, manifestaciones, etc. Sin embargo, no se ha realizado hasta el presente un estudio de tipo hidrogeoquímico encaminado a esclarecer los procesos geoquímicos que tienen lugar en las citadas fuentes y su relación con las propiedades químico-físicas de las aguas presentes.

El Objetivo General de la investigación consiste en caracterizar las aguas en un conjunto de fuentes minerales del Distrito Físico Geográfico Pinar del Río, a partir de un análisis integrador, teniendo en cuenta criterios tales como: origen, propiedades químico-físicas (temperatura, mineralización global, mineralización predominante y especial) y su uso actual y prospectivo. Dicho estudio, caracterización y clasificación se realizará sobre la base de las ideas más actuales sobre la clasificación de aguas minerales, teniendo en cuenta criterios de varios autores.

En el territorio cubano y teniendo en cuenta la existencia de los principales factores del medio físico-geográfico que influyen en la formación de las aguas minerales; estructura geológica, relieve, clima e hidrografía, se originan condiciones que favorecen la ocurrencia de yacimientos de aguas minerales, los cuales están distribuidos a todo lo largo y ancho de la isla y que forman parte de diferentes ambientes geológicos de formación. Dichos yacimientos pueden ser estudiados, a partir de las características de las surgencias naturales (fuentes minerales) que en ellos existen. El estudio puede enfocarse tanto desde el

punto de vista de las condiciones concretas del origen de las aguas, como desde el punto de vista de los ambientes físico-geográficos en que estas brotan.

Fue elegida como área de estudio el Distrito Físico-Geográfico Pinar del Río, ya que el mismo constituye una de las regiones del país con mayor grado de estudio de las aguas minerales, lo cual aporta un importante volumen de información a procesar. Dentro del distrito e independientemente del grado de estudio que tuviera una zona dada, se decidió estudiar las fuentes minerales sin tener en cuenta la clasificación técnico-económica que los subdivide en yacimientos, manifestaciones, etc. y si la localización real de las mismas en un sector o área determinados.

Materiales y Métodos.

➤ Inventario de Fuentes Minerales en estudio.

Las fuentes minerales en estudio, están distribuidas de oeste a este, a lo largo de 150 Km, aproximadamente, desde el poblado de Arroyos de Mantua hasta el límite con la provincia La Habana y se enmarcan dentro de los sectores [5] que a continuación se reseñan: Sector Zequeira, Sector Los Portales, Sector Aguas Claras, Sector San Vicente, Sector Cueva de los Portales, Sector San Diego de los Baños, Sector Bermejales, Sector El Sitio, Sector Mil Cumbres, Sector Cajálbana, Sector Pan de Guajabón, Sector Rancho Lucas, Sector Cacarajícara, Sector Pozo Azul, Sector Rancho Mar, Sector Soroa y Sector Las Terrazas.

A partir de los datos obtenidos se elaboró un mapa del Distrito Físico-Geográfico Pinar del Río, donde se muestra la ubicación de los sectores contenedores de las fuentes minerales estudiadas. Los materiales gráficos del trabajo fueron confeccionados con ayuda del programa Mapinfo [10].

➤ Recopilación de la información analítica.

La información analítica base del estudio fue obtenida, fundamentalmente, a partir de los informes de exploración geológica para las aguas mineromedicinales en la Provincia de Pinar del Río [5, 7, 13, 14, 15]. La información obtenida no resultó homogénea, ya que dependía del estadio dentro de la investigación geológica del área en cuestión, así como del grado de profundidad alcanzado en la investigación realizada; no obstante se pudo obtener un total de 361 series de datos, con los que se procedió a realizar el estudio propuesto en el presente proyecto. Los datos iniciales fueron obtenidos en miligramos por litros. Con posterioridad la información inicial fue complementada con resultados analíticos derivados de estudios actuales realizados por el CENTERVISA

➤ **Procesamiento y corrección de los datos.**

Las Bases de Datos iniciales fueron creadas con el programa Hidrowin [2], el cual permitió además hacer la corrección de los mismos, a través del uso del módulo Reports (General), el cual calcula el Balance Iónico para cada una de las muestras. El propio programa permitió la conversión de los datos originales en miligramos por litros a otras unidades necesarias para el posterior procesamiento de los datos. Con posterioridad fueron creadas bases de datos, con ayuda del programa Excel [11], lo cual facilitó futuros tratamientos realizados.

➤ **Esquema de trabajo y métodos aplicados en la investigación.**

La Investigación realizada se organizó a partir del siguiente esquema:

- 1 Análisis sobre la distribución de los sectores dentro de las unidades de la Regionalización Físico-Geográfica y Paisajística en el Distrito Pinar del Río.
- 2 Caracterización de todas las fuentes minerales del Distrito Físico-Geográfico Pinar del Río y uso de diferentes Métodos de Clasificación de las aguas Minerales, a lo cual se adicionó:
 - Aplicación de Métodos de Reconocimiento de Patrones Hidrogeoquímicos.
- 3 Determinación del origen de la composición química de las aguas subterráneas mediante la aplicación de Modelos de Balance de Masas para cada sector.

A partir del estudio teórico-metodológico realizado, fueron seleccionados como criterios clasificatorios más válidos los siguientes:

- Clasificación de Castany (1971), para la clasificación de las aguas desde el punto de vista de su temperatura.
- Clasificación de Armijo Valenzuela y San Martín Bacaicoa (1994), para la clasificación de las aguas desde el punto de vista de su mineralización global o cuantitativa.
- Clasificación de Armijo Valenzuela y San Martín Bacaicoa (1994), para la clasificación de las aguas desde el punto de vista de su mineralización predominante y especial.
- Clasificación de Kurlov, para la clasificación de las aguas desde el punto de vista hidroquímico. En este caso el criterio clasificatorio fue apoyado por el uso de diagramas de Piper-Hill, para la representación de la composición química de las aguas [2]. El propio diagrama de Piper-Hill fue utilizado, dentro del análisis de cada sector, para llegar a conclusiones sobre el origen de las aguas, según lo planteado por Cerón García et al (1993) en [3].
- Clasificación de Korin (1994), para la clasificación de las aguas desde el punto de vista de sus usos.

Resultados y Discusión.

Del total de fuentes estudiadas en el Distrito Físico-Geográfico Pinar del Río (52 fuentes minerales en 17 sectores), a continuación y a modo de ejemplo, se brindan los resultados de la investigación en la fuente del sector Zequeira.

➤ Sector Zequeira.

El sector se localiza en el Municipio Mantua, 3 Km al este del poblado Arroyos de Mantua. Las coordenadas de su centro son: X: 155 200, Y: 284 600.

La estructura geológica del área es muy compleja y está enmarcada dentro de la Zona Estructuro-Formacional (ZEF) La Esperanza, en su parte más septentrional. El sector está enmarcado dentro de los depósitos de la Fm. Esperanza (J_3-K_1), representado por sedimentos terrígeno-carbonatados y carbonatado-terrigenos. Están presentes también, en el área sedimentos cuaternarios [4, 5, 9].

Hidrogeológicamente la manifestación se asocia con el complejo acuífero de la Fm. Esperanza, con un grado de acuosidad controlado por la tectónica y el consiguiente agrietamiento del macizo rocoso. La fuente más importante en el sector es la conocida con el nombre Azufre de Zequeira, cuyas aguas fueron muestreadas por primera vez por el Instituto de Hidrología y Climatología Médicas (Trelles, 1948) [15] y más recientemente, en el marco de los trabajos de prospección geológica realizados por la Empresa Geológica de Occidente. Actualmente la fuente muestra un caudal constante aproximado a 0.25 l/s y una temperatura de 24 °C [5].

El sector se ubica en un entorno antropizado, correspondiente con una llanura destinada fundamentalmente a cultivos varios y tabaco, dentro de la cual se encuentran diversos asentamientos poblacionales. El sector no cuenta en sus proximidades con valores naturales, factibles de ser explotados desde el punto de vista del turismo. El centro turístico más cercano es Laguna Grande, el cual dista a 75 Km [5]. Desde el punto de vista de la Regionalización Físico Geográfica del territorio cubano [5], el sector se ubica en la Región Llanura Norte de Pinar del Río y teniendo en cuenta los criterios de la Clasificación de las unidades de los Paisajes del territorio cubano [4], el sector clasifica como de Llanuras aluvio-marinas, formadas por depósitos arenosos y corteza de intemperismo caolinítica-ferralítica, con plantaciones de tabaco, pastos, sobre suelos Gley amarillento cuarcítico.

De acuerdo a su temperatura (Castany, 1971) [12], las aguas del sector clasifican como Aguas Hipotermales. Basados en la mineralización global o cuantitativa (Armijo Valenzuela M. y San Martín Bacaicoa J., 1994) [1], las aguas se consideran Aguas Mediominales. Desde el punto de vista hidroquímico y basado en los criterios dados por Kurlov, las aguas clasifican como Aguas Sulfatadas-Bicarbonatadas Cállicas y Cállico-Magnésicas, todo lo cual se ilustra mediante diagramas de Piper-Hill,

teniendo en cuenta la mineralización especial de las aguas (Armijo Valenzuela M. y San Martín Bacaicoa J., 1994) [1], las mismas resultan sulfuradas. El análisis del propio diagrama de Piper-Hill, sobre el origen de las aguas, da como resultado que las mismas se agrupan en el campo de las aguas de origen mixto. De acuerdo a su uso actual y prospectivo (Korin, 1994) [12], las aguas clasifican como de uso balneológico y terapéutico.

En términos del uso de Patrones Hidroquímicos, la composición química de las aguas corresponde al patrón de tipo 161-136, cuya expresión gráfica se representa mediante diagramas de Stiff. Aplicando los Modelos de Balance de Masas se obtiene que los principales procesos geoquímicos, que explican la composición química de las aguas del sector son los siguientes: disolución congruente de halita, calcita y dolomita, disolución incongruente de plagioclasa (albita) y oxidación de pirita, con reducción parcial de sulfato. Estos procesos son coherentes con la presencia mayoritaria de los minerales calcita y dolomita en las calizas de la región (Furet et al, 1998) [8] y de materiales terrígenos de tipo esquistos arenosos (Peláez et al, 1990) [14]. La fuente de sulfatos puede atribuirse, tanto a los materiales carbonatados (Embil, 1947) o a las formaciones polimetales, abundantes en esta región pinareña. Los procesos de reducción de sulfatos, lo cual origina presencia de H_2S , HS o azufre coloidal dependen del valor del pH y el ambiente reductor local, lo cual origina procesos biogeoquímicos.

Conclusiones.

1. En el distrito Físico-Geográfico Pinar del Río existe un gran potencial de aguas minerales. Dichas fuentes minerales, dependiendo de la información existente, pueden ser caracterizadas y clasificadas desde el punto de vista de sus parámetros físico-químicos más importantes.
2. Los métodos geoquímicos de reconocimiento de patrones y balance de masas constituyen herramientas útiles para interpretar el modo en que las aguas minerales adquieren su mineralización y composición química.
3. Excluyendo un grupo de fuentes, cuyo estudio es incompleto y teniendo en cuenta diferentes criterios clasificatorios, las fuentes de aguas minerales estudiadas clasifican, mayoritariamente, como aguas hipotermales, mediominales, sulfuradas, bicarbonatadas cálcicas, sulfatadas cálcicas y cálcico-sódicas, originadas, fundamentalmente, a partir de fluidos meteóricos fríos o calientes y con un uso predominantemente balneológico y terapéutico.
4. Del análisis de la distribución de las fuentes minerales en las diferentes unidades de paisaje, dentro del Distrito Físico-Geográfico Pinar del Río, se obtiene que la mayoría se concentran en la zona de mayor complejidad paisajística, lo cual coincide con la Región Físico-Geográfica Montañas de la Sierra del Rosario y cercanos o en la frontera entre dos unidades de paisaje, lo cual es coincidente con los criterios geólogo-estructurales utilizados en la subdivisión de dichas unidades.

5. Las fuentes se distribuyen dentro de unidades correspondientes a las Llanuras medianamente húmedas (1.2.) y a las Depresiones intermontañosas, colinas, alturas y montañas bajas húmedas (2.2.); a partir de lo cual se produce, a su vez, la distribución de los sectores en 7 unidades paisajísticas de menor orden.
6. En el estudio realizado se ha podido comprobar que la composición química de las aguas está determinada, fundamentalmente, por la litología y la estructura geológica.
7. El origen de la composición química de las aguas que drenan los macizos carbonatados se explica fundamentalmente por los procesos geoquímicos de disolución congruente de calcita, dolomita y halita; disolución incongruente de plagioclasas; oxidación de piritas, con reducción parcial de sulfatos y generación biogénica de CO₂.
8. En los acuíferos desarrollados en sedimentos constituidos por aluminosilicatos, la composición química de las aguas se explica por la ocurrencia, fundamentalmente, de procesos geoquímicos de disolución congruente de serpentina y halita, así como disolución incongruente de plagioclasas (albita y anortita), acompañados de oxidación de piritas, con reducción parcial de sulfatos y generación de CO₂; también se produce precipitación de cuarzo, principalmente en las aguas más profundas.
9. En las zonas más someras son más intensos los procesos de generación de CO₂ por oxidación la materia orgánica del suelo, mientras que en las zonas más profundas son más relevantes los procesos de oxidación de piritas y disolución incongruente de plagioclasas.

Bibliografía.

1. Armijo Valenzuela, M. y J. San Martín Bacaicoa (1994). **Clasificaciones de las aguas mineromedicinales**, en **Curas Balnearias y Climáticas: Talasoterapia y Helioterapia**. Editorial Complutense. Madrid, España. 218-223.
2. Calmbach, L. (1990-95). **HIDROWIN** (Versión 3.0). Institut de Minéralogie BFSH2. Lausanne, France.
3. Cerón García, J. C. y otros (1993). **Caracterización hidroquímica y análisis de los estados de equilibrio termodinámico en aguas termominerales de Alhama de Murcia, España**. Estudios Geológicos. Volumen 49 (1-2). Madrid, España.
4. Colectivo de autores (1988). **Nuevo Atlas Nacional de Cuba**. Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de Cuba, Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía e Instituto Geográfico Nacional de España. Ciudad de la Habana, Cuba.
5. Dirección Provincial de Planificación Física Pinar del Río. Departamento de Planeamiento Turístico. Empresa Geominera Pinar del Río. (1998). **Potencial de aguas minerales de la provincia Pinar del Río**. (documento inédito). Pinar del Río, Cuba.

6. Embil, J. (1947). **El ácido sulfhídrico de las aguas medicinales de San Diego de los Baños y su posible relación con las calizas fétidas de donde brotan**. Archivos del Instituto Nacional de Hidrología y Climatología Médicas, Año I, No 4, 17-20.
7. Empresa Geológica Pinar del Río. (1997). **Reporte de las investigaciones Hidrogeológicas en el yacimiento de Agua Mineral Natural: Los Portales**. Archivo Oficina Nacional de Recursos Minerales. Pinar del Río, Cuba. 50 p.
8. Fagundo, J.R. (1998), **Patrones hidrogeoquímicos y relaciones matemáticas en aguas naturales**. Ingeniería Hidráulica. La Habana (Cuba). Vol. XIX (2): 62-79.
9. Gutiérrez Domech, R. y M. Rivero Glean (1997). **Minigeografía de Cuba**. Editorial Científico-Técnica. Ciudad de la Habana, Cuba, 142 p.
10. MapInfo Corp. (1985-96). **MapInfo Professional** (Versión 4.1).
11. Microsoft Corp. (1985-97). **Excel for Windows**.
12. Morell Evangelista, I. (1995). **Origen del Termalismo Geotermómetros en Algunas peculiaridades hidrogeoquímicas de las Aguas Termales**. Memorias de las 3^{ras} Jornadas sobre Termalismo. Grupo Nacional de Termalismo. Santa Clara, Cuba.
13. Peláez García, R. y otros (1995). **Informe de cancelación P. D. Para la construcción de la fuente de agua mineral natural Aguas Claras, Pinar del Río**. Empresa Geológica Pinar del Río, MINBAS. Archivo Oficina Nacional de Recursos Minerales. Ciudad Habana, Cuba, 50 p.
14. Peláez, R. y otros (1986-90). **Informe para la Búsqueda detallada- Exploración orientativa de las aguas mineromedicinales San Diego-Bermejales**. Empresa Geológica Pinar del Río, MINBAS. Archivo Oficina Nacional de Recursos Minerales. Ciudad Habana, Cuba, 176 p.
15. Portuondo López, I. y otros (1998). **Factores de control de la composición química de las aguas subterráneas en una zona minera en el noroeste de Pinar del Río, Cuba**; en Memorias del 3^{er} Congreso Cubano de Geología y Minería. Palcograf: Artes Gráficas. Ciudad de la Habana, Cuba, 588-591.
16. Trelles, F. (1948). **Análisis de algunas aguas minero-medicinales cubanas estudiadas por este Instituto**. Archivos del Instituto Nacional de Hidrología y Climatología Médicas, Año II, No 2, 171-184.