

## Conferencia 2

# **Aguas naturales, minerales y mineromedicinales**

*Juan Reynerio Fagundo Castillo, Patricia González Hernández*

**Centro Nacional de Termalismo "Víctor Santamarina"**

## **Agua natural**

Antes de abordar las teorías que sustentan los procesos de disolución de los minerales, se debe discutir el concepto químico de agua natural. Según plantean algunos especialistas (Stum y Morgan, 1970), se entiende por agua natural un sistema de cierta complejidad, no homogéneo, que puede estar constituido por una fase acuosa, una gaseosa y una o más fases sólidas.

En general, las aguas subterráneas poseen una composición química que se origina como resultado de un proceso complejo de interacciones, donde primeramente, las aguas procedentes de las precipitaciones (lluvia o nieve), adquieren los gases que se producen en la zona del suelo por descomposición y respiración de la materia orgánica y luego, reaccionan con los minerales que subyacen en el medio rocoso.

La composición química de las aguas subterráneas, al cabo de un determinado tiempo, se encuentra en equilibrio químico-físico con el contenido de gases y de fases sólidas disueltas. Estos equilibrios dependen de la temperatura y de la presión del sistema y cualquier cambio en esas condiciones produce una variación en la composición química, que da lugar a una mayor disolución de los minerales o a la precipitación de éstos por recombinación iónica.

## **Propiedades del agua pura**

El agua natural constituye un sistema complejo y heterogéneo, formado por una fase acuosa, una gaseosa y una o varias fases sólidas, las cuales se encuentran interactuando entre sí mediante equilibrios químicos regidos por leyes termodinámicas, y en cuya composición química intervienen, además, otros factores (geológicos, hidrogeológicos, geomorfológicos, pedológicos, microbiológicos, climáticos y ambientales).

El agua natural en su conjunto constituye un recurso renovable que interviene en el ciclo hidrológico. Se ha demostrado que su cantidad global no varía, aunque sí su cantidad local y su calidad. Uno de los subsistemas del agua natural lo constituye el agua mineral, cuya composición es estable y es considerado un recurso mineral.

Las características del sistema de las aguas naturales en general, están relacionadas con la estructura y peculiaridades del agua pura.

El agua pura está constituida por moléculas, donde dos átomos de hidrógeno se encuentran unidos a uno de oxígeno ( $H_2O$ ), separados entre sí  $105^\circ$ . Esta estructura le confiere a la molécula de agua propiedades que la distinguen de otras moléculas de composición similar como el amoníaco ( $NH_3$ ) o el sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ), las cuales a temperatura y presión normales se encuentran en estado gaseoso, mientras el agua se encuentra en estado líquido.

Mediante rayos X se ha demostrado que el agua no aparece como una simple molécula como las anteriores, sino formado polímeros (dímeros y trímeros) que se encuentran sujetos a constante formación y destrucción. Estos polímeros se encuentran unidos mediante puentes de

hidrógeno y le confieren al agua una serie de peculiaridades propias, tales como:

- Alto calor específico (mayor que todos los líquidos). Esto hace que el agua oceánica, por ejemplo, demore en calentarse durante el día por la acción del Sol, mientras permanece con elevada temperatura hasta largas horas de la noche. También es responsable de la uniforme distribución del calor de los organismos de los seres vivos, cuya temperatura es regulada principalmente por la rápida eliminación del calor producido en las reacciones bioquímicas.
- Elevados puntos de congelación (0 °C) y de ebullición (100 °C), en relación con los compuestos de referencia de similar composición química.
- Alta densidad. El enfriamiento del agua va acompañado de una disminución de volumen hasta llegar a 4 °C en que alcanza la máxima densidad. Si se continúa la disminución de temperatura el agua aumenta su volumen. Estas características influyen marcadamente en los procesos de meteorización en los países de clima templado y polar, ya que el agua intersticial al congelarse y aumentar su volumen fragmentan las rocas facilitando la acción de la erosión química y mecánica.
- Elevado momento dipolo. Esto hace que parte de la molécula posea una carga parcial positiva y la otra una carga parcial negativa, lo que le confiere propiedades de dipolo y de disolvente universal de los minerales enlazados iónicamente.

Cuando un mineral se introduce en el agua, los dipolos de ésta tienden a separar los iones de carga contraria y disminuyen las fuerzas electrostáticas que tienden a unirlos en virtud de las propiedades del enlace iónico. En el caso del cristal de cloruro de sodio (NaCl), por ejemplo, los dipolos se intercalan de tal forma, que las cargas de signo contrario son capaces de atraerse cada vez menos. En el caso de otros iones más débilmente unidos, mediante enlaces de tipo iónico, como es el caso del cristal de calcita, este proceso es más lento, de ahí su pobre solubilidad en agua pura.

De la mineralización total del agua dependen muchas propiedades, tales como sus efectos osmóticos, densidad, viscosidad, etc., de gran significación bioquímica. Sin embargo, la mayoría de los efectos sobre el organismo se relacionan con su composición, esto es, el contenido de sus iones disueltos, entre los que figuran los cationes sodio, calcio, magnesio, potasio, litio, hierro, etc., y los aniones cloruro, sulfato, bicarbonato, fluoruro, yoduro, etc.

.Las bases teóricas que fundamentan el proceso de disolución de los minerales por las aguas naturales, se han desarrollado por diferentes investigadores (Hutchinson, 1957; Roques, 1964; Garrels y Christ, 1965; Stum y Morgan, 1970; Fagundo, 1996). En este trabajo se presentan algunos aspectos de esta teoría, por lo que para un conocimiento más amplio remitimos al lector a las obras citadas.

## **Aguas minerales y mineromedicinales**

Dentro de las aguas naturales deben destacarse las denominadas aguas minerales. Se distinguen del resto de las aguas naturales en que poseen prácticamente invariables su caudal, temperatura y composición química y bacteriológica. Cuando presentan reconocida acción terapéutica estas aguas se denominan mineromedicinales.

La Hidrología Médica se ocupa de las características y aplicación terapéutica de las aguas minero medicinales; la Hidroterapia estudia las aplicaciones tópicas del agua potable (no

mineral) con fines terapéuticos, mientras que la Talasoterapia se ocupa de las aguas marinas con fines terapéuticos.

La Hidrología Medica como tal se ocupa de la acción de las aguas mineromedicinales en toda su amplitud. Esta denominación es utilizada preferiblemente en los países mediterráneos y latinoamericanos, siendo más frecuente en Francia la denominación de Crenoterapia (el prefijo creno significa fuente o manantial), y en Alemania, Austria y los países bajos la de Balneoterapia.

Otro aspecto que debe quedar bien establecido es el concerniente a los conceptos y denominaciones de las aguas naturales y sus diferentes variantes (aguas minerales, mineromedicinales, potables, etc.). Atendiendo a su utilización se distinguen dos tipos: aguas potables o de consumo público y aguas minerales o mineromedicinales, utilizadas como agente terapéutico o con fines industriales.

Las aguas potables se utilizan para beber y pueden tener función nutritiva. No deben contener gérmenes patógenos, deben ser incoloras e inodoras y poseer temperaturas relativamente bajas y contenido de minerales disueltos por debajo de los máximos establecidos en la norma correspondiente (NC 93-02: 1985). Pueden considerarse dos tipos: directamente potables, que son aquellas cuyas condiciones físicas, químicas, y microbiológicas no sobrepasan ninguno de los límites establecidos y las sanitariamente tolerables, que son aquellas que sobrepasan algunos de los límites establecidos, pero no contienen productos tóxicos o radioactivos ni se detecta contaminación fecal o por gérmenes patógenos.

Las aguas minerales poseen una constancia probada en relación con la temperatura, el caudal, la microflora (saprofítica) y la composición química. Las normas de agua mineral establecen por lo general, que éstas deben poseer más de un gramo de minerales disueltos por Kg de agua o bien componentes especiales por cantidad superior a determinadas proporciones, también se establecen restricciones con relación a temperatura y no deben poseer gérmenes patógenos (NC 93-01-218, 1995).

Por ejemplo, la OMS en 1969, consideró como agua mineral natural la bacteriológicamente incontaminada, procedente de fuentes subterráneas, como un mínimo de mineralización de 1 g por Kg de agua o 250 mg de CO<sub>2</sub> libre, con propiedades favorables para la salud, según criterios admitidos por el Comité Coordinador de la FAO/OMS (1985).

Según Cadish (1964, en Urbani, 1991), un agua mineral es aquella con un residuo seco superior a 1g/l, o sin tener la cantidad de residuo tenga más de 1 mg/l de litio, 5 mg/l de hierro, 5 mg/l de estroncio, 1 mg/l de yodo, 2 mg/l de flúor, 1,2 mg/l de sílice, etc. Si no se dispone de la información sobre el residuo seco se puede utilizar el total de sólidos disueltos (igual a la suma de aniones y cationes), en exceso a 1g/l. Según Ninard (en Armijo-Valenzuela y San Martín, 1994) las aguas mineromedicinales son aquellas aguas minerales que administradas en determinados procesos patológicos cumplen una función terapéutica.

Otro concepto que se define también en las normas es el de agua de bebida envasada. En dichas normas se definen los distintos tipos de agua destinada para estos fines; así como los requisitos para su manipulación, elaboración, circulación y comercialización. La norma cubana (NC 2: 1996) establece los siguientes tipos:

Agua mineral natural. Agua que se diferencia claramente del agua potable y que se caracteriza por su contenido en determinadas sales minerales y sus proporciones relativas, así como la

presencia de elementos traza o de otros constituyentes útiles para el metabolismo humano, se obtiene directamente de fuentes naturales o perforadas de aguas subterráneas procedentes de estratos acuíferos. Su composición y la estabilidad de su flujo y temperatura son constantes, teniendo en cuenta los ciclos de las fluctuaciones naturales y se capta en condiciones que garantizan la pureza microbiológica original.

Agua mineral medicinal. Agua que por su composición y características propias puede ser utilizada con fines terapéuticos, desde el área de emergencia hasta el lugar de utilización, dada sus propiedades curativas demostradas por analogía de similares tipos de aguas existentes, por experiencia local, por estudios correspondientes o mediante ensayos clínicos y evolución de procesos específicos o de experiencia médica comprobada, y conservar después de ser envasada sus efectos beneficiosos para la salud humana.

### **Clasificación de las aguas minerales**

El criterio de clasificación de las aguas termales y minerales puede ser asumido desde diversos puntos de vista: físico, químico, físico-químico, bacteriológico y otros.

Con relación a la temperatura, pueden ser hipotermas (con temperaturas inferiores a 20 °C) y termales propiamente dichas (con temperaturas superiores a 20 °C).

Por lo general, se consideran termales en relación con la temperatura, aquellas aguas subterráneas que en su punto de emergencia poseen una temperatura mayor que la temperatura media anual. Esta diferencia deber ser superior a 5 °C.

Se han establecido muchas clasificaciones de las aguas termales. Así por ejemplo, se han empleado los prefijos hipo, meso e hiper con estos fines; así como clasificaciones más sencillas como la adoptada en Venezuela por Urbani (1991). Este especialista denominó agua fría a aquella que posee en la emergencia una temperatura menor o igual a la temperatura media anual; agua tibia con un intervalo desde la temperatura media anual hasta 37 °C; agua caliente cuando varía desde 37 a 60 °C, y agua muy caliente desde 60 a 100 °C.

De las clasificaciones basadas en las propiedades físicas de las aguas, son destacables las que consideran la temperatura de las mismas. Desde el punto de vista de la temperatura, la clasificación más sencilla es considerar aquella en que su aplicación no produce sensación de frío ni de calor que, con las variaciones de sensibilidad individual, se admite que es la comprendida entre 34 y 36 °C. Las aguas que presentan estas temperaturas se denominan mesotermas, considerándose hipertermas o hipotermas según que temperatura se halle por encima o por debajo de dicho margen.

Según Schoeller (1962), para clasificar las aguas en dependencia de su temperatura se hace necesario considerar la temperatura media anual del aire ( $T_{ma}$ ) o la temperatura del suelo ( $T_s$ ) en que brotan el manantial, de ello se obtiene la siguiente clasificación:

- **Hipertermas:**  $T > T_{ma} + 4\text{ °C}$  o  $T > T_s + 2\text{ °C}$ .
- **Ortotermas:**  $T = T_{ma} + 4\text{ °C}$  o  $T = T_s + 2\text{ °C}$ .
- **Hipotermas:**  $T < T_{ma}$  o  $T < T_s - 2\text{ °C}$ .

Desde el punto de vista *hidroterapéutico* y en relación con la llamada **Temperatura Indiferente del Organismo**, resulta de interés la clasificación que establece que las aguas mesotermas son aquellas con temperaturas entre 35 y 37 °C, hipertermas (más de 37 °C) e

hipotermiales (menos de 35 °C) Con frecuencia se encuentran clasificadas las aguas, por su temperatura, como sigue en (Armijo- Valenzuela y San Martín, 1994)

- **Frías:** menos de 20 °C.
- **Hipotermiales:** entre 20 y 35 °C.
- **Mesotermiales:** entre 35 y 45 °C.
- **Hipertermiales:** de más de 45 y hasta 50 °C.

Esta clasificación es considerada universal y resulta la más aceptada.

También ofrece considerable valor en terapéutica las clasificaciones basadas en los Valores de la Presión Osmótica o descenso crioscópico ( $\Delta$ ) de las aguas con relación a la de los fluidos orgánicos. Atendiendo a este criterio se establece la siguiente clasificación (Armijo-Valenzuela y San Martín, 1994)

- Aguas hipotónicas:  $\Delta$  inferior a **-0.55 °C**.
- Aguas isotónicas:  $\Delta$  entre **-0.55 y -0.58 °C**.
- Aguas hipertónicas:  $\Delta$  superior a **-0.58 °C**.

Atendiendo a la mineralización global o mineralización cuantitativa, se han dividido las aguas minerales, atendiendo al residuo seco a 180 °C, en: aguas oligominerales las de menos de 0,2 g/l; mediominerales las que contienen entre 0,2 y 1 g/l, y minerales si sobrepasan 1 g/l

Las clasificaciones de mayor aceptación en todo el mundo son las basadas en la mineralización predominante y especial que pueden contener las aguas. En todas ellas se considera la mineralización total, la predominante y también la especial, dándose carácter de predominante a aquellos gases, aniones o cationes que representan mas del 20 % de la masa iónica correspondiente, expresada en miliequivalentes (Armijo- Valenzuela y San Martín, 1994):

Siguiendo estas normas, que podemos considerar internacionales, podemos clasificar las aguas minerales como sigue:

– **Aguas con más de un gramo por litro de sustancias mineralizantes.**

1. **Sulfatadas:** con más de 1 g/l de sustancias mineralizantes, donde predomina el anión sulfato y están influidas fuertemente en sus propiedades terapéuticas por otros iones como sodio, magnesio, bicarbonato y cloruro.
2. **Cloruradas:** con más de 1 g/l de sustancias mineralizantes, donde el ion cloruro suele estar acompañado de sodio en proporción semejante. La composición de este tipo de agua refleja un origen profundo y la presencia de mares pretéritos. La ocurrencia de fallas y grietas facilita su ascenso a la superficie. Se subdividen en : fuentes (mar de 50 g/l), medianas (entre 10 y 50 g/l) y débiles (menos de 10 g/l)
3. **Bicarbonatadas:** con más de 1 g/l de sustancia mineralizante, donde el ion bicarbonato es acompañado de calcio, magnesio, sodio, cloruro y otros. Estas aguas cuando poseen gran

cantidad de ácidos libres ( $\text{CO}_2$  mayor de 250 mg/L), también se denominan **carbónicas o carbogaseosas**.

– **Aguas con mineralización inferior a un gramo por litro.**

Se conocen como aguas oligominerales. En ellas la mineralización es inferior a 1 g/l, aunque pueden poseer abundante cantidad de los microelementos: cobalto, vanadio, molibdeno, silicio, fósforo, germanio, etc.. Se admiten dos subgrupos, uno de débil mineralización (menos de 0.2 g/l) y otro de mediana mineralización (0.2-1 g/l), pero sin considerárseles factores mineralizantes especiales. En este último grupo, atendiendo a su temperatura, pueden admitirse dos grupos principales:

- **Acratopegas:** con menos de 20 °C.
- **Acratotermas:** con mas de 20 °C.
- **Aguas con componentes especiales reconocidos por su actividad biológica en determinadas proporciones**

Desde este punto de vista, se consideran también aguas minerales, aquellas que poseen determinados componentes de acción biológica reconocida, a partir de determinada concentración establecida en las normas: De acuerdo a la Norma Cubana de Agua Mineral ( N.C 93-01-218-1995), estas se clasifican como sigue:

- Sulfuradas o sulfhídricas: con más de 1 mg/l de sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ) o ion sulfhídrico ( $\text{SH}^-$ ). La proporción en que se encuentran estas dos especies depende del pH. A valores de pH inferiores de 7.5 prevalece el  $\text{H}_2\text{S}$ , mientras que a valores mayores es más abundante el  $\text{SH}^-$ .
- Carbogaseosas: con una cantidad de  $\text{CO}_2$  superior a 250 mg/l.
- Silícicas: con una cantidad de  $\text{SiO}_2$  superior a 50 mg/l.
- Arsénicas: con un contenido de As entre 0.2-0.3 mg/l.
- Bóricas: con un contenido de Ba superior a 4 mg/l.
- Fluóricas: con un contenido de  $\text{F}^-$  entre 1.0-2.0 mg/l.
- Brómicas: con un contenido de  $\text{Br}^-$  superior a 4 mg/l.
- Iodhídricas: con un contenido de  $\text{I}^-$  superior a 1 mg/l.
- Líticas: con un contenido de Li superior a 1 mg/l.
- Estróncicas: con un contenido de Sr superior a 10 mg/l.
- Báricas: con un contenido de Ba superior a 5 mg/l.
- Ferruginosas: con más de 5 g/l de sustancias mineralizantes, donde los iones de hierro se encuentran en su forma reducida y poseen una concentración superior a 5 g/l. Estas aguas se destacan por la apreciable coloración de la superficie de la roca por donde discurren.
- Radónicas: con contenidos de radón (Rn) mayor de 1.82 nCi/l

## **Grupos balneológicos de agua mineromedicinales**

Algunos especialistas han propuesto clasificaciones de las aguas mineromedicinales atendiendo a sus acciones terapéuticas. (Armijo y San Martín, 1974). Sin embargo, en muchos países se han establecido clasificaciones mixtas de aguas mineromedicinales, los cuales toman en cuenta tanto la composición química como las acciones terapéuticas de las mismas. (tabla 1).

Tabla1. Propiedades terapéuticas atribuibles a diferentes tipos de agua.

<b>TIPO DE AGUA</b>	<b>ACCIÓN TERAPÉUTICA</b>
Sulfuradas	Antialérgicas, desintoxicantes, antiflogísticas, antirreumáticas.
Cloruradas	Anticatarrales, antiinflamatorias
Sulfatadas	Colagogas, purgantes
Cálcicas	Antialérgicas, sedantes, antiinflamatorias
Ferruginosas	Antianémicas y reconstituyentes
Radiactivas	Equilibradoras, sedantes
Oligométalicas	Diuréticas

En Francia, teniendo en cuenta las características de sus recursos naturales han sido clasificadas de las siguiente maneras:

<b>GRUPOS</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
Aguas Sulfuradas	Presencia de sulfuro y sulfuro de hidrogeno
Aguas Sulfatadas	El anión sulfato es predominante
Aguas Cloruradas	El anión cloruro es predominante
Aguas Bicarbonatadas	El anión bicarbonato es predominante
Aguas Oligominerales	Son ligeramente mineralizadas (menos de 1 g/l)

Siguiendo criterios de especialistas búlgaros y rusos así como del propio país, se han clasificados las aguas por grupos balneológicos. En el Atlas Nacional de Cuba aparecen los siguientes grupos balneológicos:

### **Metodología de investigaciones hidrogeológicas para la caracterización y evaluación de los recursos de aguas minerales**

Se han desarrollado numerosos trabajos de tipo metodológico con el objetivo de caracterizar y evaluar los recursos de aguas minerales. Entre estos trabajos se pueden citar los siguientes: Goldberg y Yazvin; Frolov y Yazvin, 1969; Anonymous, 1975; 1981; Freze y Cherry, 1979; Shpak, 1980 y UNESCO/AHS,1983 (en Ford y Williams, 1989). De este corte metodológico, utilizando herramientas de la Geoquímica, se han realizado también algunos trabajos con el objetivo de caracterizar recursos termales (White, 1970; Fagundo et al., 1999).

Como objetivos generales de estos trabajos se pueden señalar los siguientes: prospección del recurso, caracterización, evaluación de su uso potencial, cálculo de reserva, captación y explotación.

Para satisfacer esos objetivos es necesario realizar un trabajo multidisciplinario con la participación de geólogos, hidrogeólogos, geomorfólogos, geoquímicos, geofísicos, químicos, entre otros. Por lo general, estos trabajos se realizan en dos etapas: una primera denominada de exploración orientativa y otra, más acabada, denominada de exploración detallada.

A continuación se relacionarán, de manera esquemática, las principales acciones que se llevan a cabo por los diferentes investigadores en el marco de sus especialidades, durante los trabajos de investigación en ambas etapas, con el objetivo de caracterizar y evaluar los recursos de aguas minerales.

### **Geología**

1. Análisis de la información geológica existente (literatura científica, informes de Empresas Geológicas, Cartas Geológicas, etc.).
  2. Estudio de las fotografías aéreas estereoscópicas y de satélite.
  3. Procesamiento de datos de archivo (elaboración de mapas geológicos locales y regionales).
  4. Realización de trabajos geológicos de campo.
  5. Toma de muestras de rocas representativas a lo largo de perfiles.
  6. Caracterización petrográfica y mineralógicas de las muestras.
  7. Elaboración de mapas regionales y locales de las características geológicas (litología, tectónica, etc.).
  8. Elaboración de mapas geológicos del yacimiento y manifestaciones termales.
1. Análisis de la información geológica existente (literatura científica, informes de Empresas Geológicas, Cartas Geológicas, informes geofísicos, etc.).
  2. Análisis de la información de satélite.
  3. Desarrollo de estudios de prospección mediante el empleo de diferentes tipos de métodos geofísicos (sondeo eléctrico, potenciométrico y gravimétricos; método espectral de rayos infrarrojos, métodos de satélite, etc.).
  4. Procesamiento de datos geofísicos mediante métodos de la estadística clásica y multivariada (métodos geomatemáticos).
  5. Elaboración de mapas.

### **Geomorfología**

1. Estudio de la información geográfica y geomorfológica existente (mapas, informes, etc.).
2. Estudio de fotografías aéreas estereoscópicas y determinación de morfoestructuras.
3. Estudio geomorfológico mediante recorridos a través de perfiles.
4. Estudio de suelos, cobertura vegetal, presencia de escarpes y otras formas del relieve.
5. Elaboración de mapas de ubicación geográfica de las fuentes.
6. Elaboración de mapas geomorfológicos (morfoestructurales).

## **Geoquímica**

1. Análisis de la información geológica e hidrogeológica existente (literatura científica, informes de Empresas Geológicas, Cartas Geológicas, etc.).
2. Muestreo, determinaciones de campo (temperatura, pH, Eh, O<sub>2</sub> disuelto, alcalinidad, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, etc.), toma y preservación de las muestras estables (otros gases, macro y micro sustituyentes), traslado de las muestras al laboratorio en el menor tiempo posible.
3. Procesamiento de datos hidroquímicos mediante métodos estadísticos univariados, bivariados y multivariados, así como métodos geoestadísticos.
4. Empleo de modelos hidrogeoquímicos y químico-físicos para determinar las características y tipos de recursos termales.
5. Determinación de las condiciones de las aguas, con respecto al equilibrio de los diferentes minerales constitutivos del material acuífero.
6. Elaboración de diagramas hidroquímicos, mapas de isocontenidos y otros mapas hidroquímicos.
7. Clasificación hidroquímica de las aguas presentes y determinación del origen de su composición química.
8. Empleo de geotermómetros para estimar la temperatura y profundidad de yacencia de los acuíferos profundos.
9. Estudio de la variación temporal de la composición química de las aguas mediante sistemas automatizados de control y mediciones y análisis químico sistemático.

## **Hidrogeología**

1. Análisis de la información geológica e hidrogeológica existente (literatura científica, informes de Empresas Geológicas, Cartas Geológicas, etc.).
2. Determinación de los horizontes acuíferos mediante perforación de pozos a diferentes niveles, toma de muestras y envío al laboratorio para su análisis.
3. Estimación de los espesores de cada horizonte acuífero.
4. Establecimiento de la permeabilidad, el caudal, la recarga y la potencia del recurso.
5. Estudio de la estabilidad de las aguas con respecto al ciclo hidrológico (régimen estático) y con respecto a la explotación continua a un determinado caudal (régimen dinámico).
6. Aplicación de trazadores (colorantes, sales, isótopos).
7. Análisis hidrográficos de manantiales mediante mediciones linnigráficas y aforos.
8. Procesamiento de datos hidrológicos e hidrogeológicos mediante métodos estadísticos (estadística clásica y multivariada), métodos geoestadísticos y modelos de flujo.
9. Análisis de series cronológicas, análisis correlatorio y espectral.
10. Determinación de las reservas del recurso, su uso potencial y explotación.
11. Establecimiento de los métodos de captación de los recursos termales presentes.

12. Establecimiento de las zonas de protección sanitaria.

## **Bibliografía**

Anonymous. "Study estimation and long-term use of industrial thermal and mineral water resources". Proceedings issue 99, VSEGINGEO, pp. 88, 1975.

Anonymous, "Actual problems of hydrogeology for industrial, thermal and mineral water development areas". Proceedings issue 142, VSEGINGEO, pp. 94, 1981.

Armiejo-Valenzuela M. y San Martín J. "Clasificación de las aguas mineromedicinales". En: Curas Balnearias y Climáticas. Talasoterapia y Helioterapia, Ed. Computense, Madrid, 219-223, 1994.

Enciclopedia Microsoft, 1999

Fagundo, J. R. (1996). "Química del agua kárstica"- En: "Hidroquímica del Karst". Ed. OSUNA, Universidad de Granada (España), 13-212.

Fagundo, J.R., M. Suárez, L. Sánchez, P. González. "Metodología para la caracterización geoquímica de sistemas hidrotermales. Aplicación al sistema San Diego de los Baños - Bermejales (Pinar del Río, Cuba)". Inédito, pp. 92, 1999.

FAO/OMS, Normas del CODEX para aguas minerales y para helados y mezclas de helados. FAO, ROMA, pp.9,1985.

Ford, D. and P. Williams. "Karst Geomorphology and Hydrology". ED. Unwin Hyman, London, pp. 601,1989.

Freeze R.A. and J.A. Cherry. Groundwater. Ed. Prentice-Hall, Englewood, Cliffs, Nueva York, pp. 604, 1979.

Frolov, N.M. and I.S.Yazvin. "prospecting, exploration and estimation of thermal water safe yield". VSEGINGEO, pp, 1969.

Garrels R.M. and Ch.L. Christ. "Solutions, Minerals and Equilibria". Ed. Harper and Row, Nueva York, pp. 450, 1965.

Goldberg, V.M. AND L.S.Yazvin. "Methodical recommendations on evaluating thermal water yield". VSEGINGEO, 1966.

Hutchinson G.E. "A treatise on Limnology. Geography, Physics and Chemistry", Ed. Willey and Sons, Nueva York, pp. 1 015, 1957.

N.C 2; 1996- Normas de Bebida Envasada. Especificaciones 5 pp. 1996.

N.C. 93-01-218 (1995). "Norma Cubana de Agua Mineral". Oficina Nacional de Normalización (La Habana, Cuba), 8 Págs.

N.C. 93-02 (1985). "Norma Cubana de Agua Potable". Oficina Nacional de Normalización (La Habana, Cuba), 8 Págs.

Roques H. "Contribution a l' etude statique et cinetique des systemes gaz carbonique-eau-carbonate", Ann. Speleol., 19 (2): 255-484, 1964.

Shpak, A.A. "Geological and industrial estimation of thermal water development areas". Soviet Geology, 6: 114-121, 1980.

Schoeller H. "Les eaux souterraines". Ed. Masson, Paris, 1962,

Stumm W.S. and J.J. Morgan. "Aquatic Chemistry. An Introduction Emphasizing Chemical Equilibrium in natural Water". Ed. Wiley-Interscience, Nueva York, London, Sydney, Toronto, pp. 583, 1970.

Urbani F. "Geotermia en Venezuela". Ed. GEOS, No. 31, 1-347, 1991.

White, D.E. "Geochemistry applied to discovery, evaluation and exploitation of geothermal resorces". Geothermics, Special Issue 2, Vol. 1, 58-80, 1970.