

Curso de Termalismo
(FUNDAMENTOS DEL TERMALISMO CON ÉNFASIS
EN LA HIDROQUÍMICA)

J.R. Fagundo, P. González, M. Suárez, L. Sánchez

Vicedirección de Termalismo

Centro Nacional de Medicina Natural y Tradicional

Ministerio de Salud Pública de Cuba

2000

Historia del desarrollo del Termalismo y Termalismo Moderno

Juan Reynerio Fagundo Castillo, Patricia González Hernández

Vicedirección de Termalismo

Centro Nacional de Medicina Natural y Tradicional

Historia del desarrollo del Termalismo.

Aunque se estima que el hombre primitivo de la edad de piedra, ya conocía de las propiedades beneficiosas a la salud de las aguas minerales, se considera que los primeros balnearios de aguas mineromedicinales que se conocen datan de hace 2000 a.n.e. Se han encontrado evidencias de esa época de la existencia en la ciudad india de Mojenjo-Daro (Enciclopedia Microsoft, 1999) y en la ciudad de Epidauros, en la Antigua Grecia (Larionov, 1979). También han aparecido instalaciones en la isla griega de Creta (entre 1700 y 1400 a.n.e.) y en la ciudad egipcia de Tel el-Amarna (1360 a.n.e.).

Entre los griegos las curas mediante baños de aguas medicinales alcanzaron gran difusión. La mayoría de los centros médicos disponían de manantiales que facilitaban las técnicas hidroterapéuticas (Armijo-Valenzuela, 1994). Entre ellos se destacaron los de Peloponeso, Cos, Pérgamo, Cnido, Rodas, etc. La medicina de la época logró alcanzar un gran desarrollo, estaban inspiradas en Asclepio, el dios griego de la medicina. Por aquella época ya se le confería propiedades terapéuticas al agua mineromedicinal, aunque primaban prácticas empíricas, de observación y tanteo, en forma similar a la forma en que lo llevaban a cabo los pueblos primitivos.

Las termas originales sólo disponían de agua fría y se aplicaba en tinas para baño. A finales del siglo V (a.n.e.) se empiezan a construir complejas instalaciones independientes, distribuidas en la ciudad, que brindaban piscinas con agua fría o templada y baños de vapor. En Grecia y en Roma los baños se convertían en complejos rituales y se acompañaban de ejercicios y masajes.

Las termas romanas más antiguas que se conservan hasta hoy son las de Stabiano en la ciudad de Pompeya. Fueron construidas en el siglo II (a.n.e.). El agua que abastecía las termas, en ocasiones se traía desde fuentes lejanas. Además, por aquella época se crearon en Roma muchas termas públicas, las cuales tenían una función social y política. Se convirtieron en lugares ideales para el recreo y la relación social, construyéndose en ellas verdaderas obras de arte (Enciclopedia Microsoft, 1999).

Durante la dominación romana, se expandieron por Europa sus hábitos y normas, incluyendo las termas, con lo cual se difundió la práctica de las curas balnearias.

La dominación de los bárbaros trajo como secuela, entre otras, la destrucción de gran parte de las termas romanas y una involución en la práctica de las curas termales.

La iglesia cristiana, por su parte, daba más prioridad a la limpieza espiritual que a la limpieza corporal y consideraba las termas romanas como un lugar de perversión. Durante toda la etapa medieval se hizo poco uso de las aguas mineromedicinales, incluso escaseaba el abasto de agua y las cañerías y fue habitual el poco aseo personal. En Escandinavia, donde el cristianismo tardó en

imponerse, cada casa contaba con una instalación denominada sauna, donde se aplicaban primero baños de agua templada y luego de agua helada.

Con la invasión de los árabes al sur de Europa, se reintegraron los baños públicos y las curas termales. Todas las ciudades importantes dispusieron al menos de un baño público. Entre estos se destaca El Baño Real de la Alambra en Granada.

Después de la reconquista de España por los reyes católicos y la expulsión de los musulmanes del territorio ibérico, se volvió a restringir la prácticas de las curas balnearias, relacionándose esas costumbres con actos herejes, moriscos y judeoconversos (Enciclopedia Microsoft, 1999)

En Constantinopla, durante la el imperio bizantino, se mantuvieron las costumbres romanas, las cuales perduraron y se reforzaron durante el dominio turco.

Las Cruzadas dieron también un florecimiento a las curas termales. Las aguas mineromedicinales fueron utilizadas para la cura de los heridos y combatir las enfermedades contraídas en Oriente (Armijo-Valenzuela, 1994).

El Renacimiento, que surge a partir del siglo XV, no trajo avances significativos en el campo de la balneoterapia, a pesar de los adelantos significativos que significó para la Medicina en general. Sin embargo, los nuevos descubrimientos geográficos pusieron de manifiesto el uso de las aguas termales por parte de los pobladores del Nuevo Mundo.

En los siglos VIII y XIX se produce una recuperación de la cultura clásica y se generaliza la costumbre del uso del agua termal y de los baños en general como una de las medidas higiénicas. Sin embargo, debido al hacinamiento de las personas en las grandes ciudades europeas, en el siglo XIX se produjo un brote de cólera, se puso de manifiesto la necesidad de construir baños privado y públicos como medida de higiene.

Actualmente la Hidrología Médica como rama de la Terapéutica, se ha nutrido de los avances de la ciencia y se apoya en otras disciplinas, tales como las Ciencias Naturales, la Química, la Física, la Fisiología, la Farmacia, etc. Hoy se conoce la composición química de las aguas, sus orígenes, sus funciones en el organismo, etc. Sin embargo, a pesar de que las curas termales han perdido en empirismo de antaño, las curas hidrotermales no ocupan hoy el lugar privilegiado que ocupaban en otras épocas, lo cual es debido al desarrollo de la Medicina en su conjunto, especialmente de la Cirugía y la terapéutica medicamentosa.

El Termalismo tradicional y el Termalismo moderno

El Termalismo actual está íntimamente vinculado con el Turismo de Salud, lo cual le da una nueva dimensión al Termalismo tradicional. Ya en el siglo XIX, las demandas del termalismo permitieron el desarrollo de un nuevo termalismo. Los balnearios aislados se convirtieron en verdaderas villas de agua, lo cual se debió a la aparición de hoteles de primera clase, restaurantes y cafeterías, salas de teatro, tiendas para la venta de souvenir, etc. En Francia, legiones de visitantes prestigiosos, tales como Napoleón III y la emperatriz Eugenia, contribuyeron al desarrollo de estas nueva modalidad en los balnearios, asociada al turismo.

El turismo constituye una actividad organizada a partir del tiempo libre del hombre, cuyo desarrollo provoca consecuencias de tipo político, culturales, de salud y socioeconómicas. Dentro de los objetivos del turismo actual se encuentra el denominado Turismo de Salud, y en particular, el Termalismo curativo.

El Termalismo como parte del Turismo de Salud, es visto no solo como forma de curar, sino de preservar la salud y lograr una mejor calidad de vida,

Las primitivas termas y balnearios fueron evolucionando, surgieron novedosas estaciones hidrotermales y centros SPA, y además de las curas por baños de agua templada y de vapor, se unieron nuevas ofertas a los turistas que acudían a esos centros; jabones y cosméticos producidos con microalgas, así como aguas de bebida envasadas generadas en el lugar, la presencia de un paisaje acogedor y un microclima agradable, apetecibles ofertas gastronómicas, manifestaciones artísticas y artesanales locales, etc.

Los actuales centros termales constituyen un conjunto de instalaciones que contemplan balnearios, piscinas, gimnasios, hoteles, restaurantes, teatros, tiendas par venta de productos, etc. Se encuentran ubicados en los alrededores de la fuente o fuentes termales, donde además, se organizan visitas a los lugares típicos, se practica el turismo ecológico y el senderismo, etc.

Las Agencias de Turismo y las Sociedades de Termalismo editan guías termales, donde se informa a los interesados acerca de la ubicación de los centros termales, ruta, forma de transportarse, su distribución por Regiones Termales, la composición y origen del agua, sus indicaciones y contraindicaciones terapéuticas, así como las instalaciones presentes y ofertas turísticas.

Turismo de salud.

Para el desarrollo de esta modalidad turística es necesario disponer de centros especializados donde se combinan los servicios médicos con vacaciones medio ambiente y salud. Entre los recursos naturales que se ofertan por el Termalismo moderno en el Turismo de Salud se encuentran los siguientes:

- ? Aguas mineromedicinales (Balneoterapia o Crenoterapia).
- ? Aguas minerales envasadas
- ? Aguas naturales en piscinas (Hidroterapia)
- ? Aguas naturales con CO₂ (Carboxiterapia)
- ? Peloides (Pelo terapia o Fango terapia)
- ? Microalgas (Productos Cosmecéuticos)
- ? Algas marinas (Algoterapia y Productos Cosmecéuticos)
- ? Arenas marinas (Arenoterapias)
- ? Salmueras en Salinas
- ? Aguas Madres
- ? Clima Terrestre (Climatoterapia o Aeroterapia)
- ? Clima Marino (Curas Oceánicas, Curas Litorales y Cruceros de Salud)
- ? Aerosoles Marinos (Aerosol terapia)
- ? Sol (Helioterapia)

Medicina Tradicional y otras terapias asociadas al Termalismo de Salud.

Medicina Tradicional:

- ? Fitoterapia
- ? Homeopatía
- ? Cosmiotría
- ? Medicina Bioenergética
- ? Acupuntura
- ? Yoga

Otras Terapias.

- ? Ejercicios Físicos (Cine balneoterapia)
- ? Gimnasia - Técnicas especiales terapéuticas con ejercicios (Quinesioterapia)
- ? Psicorrelajación
- ? Medio ambiente y Ecología
- ? Senderos Terapéuticos
- ? Saunas
- ? Salones de salud y Belleza
- ? Actividades recreativas y culturales
- ? Dieto terapia
- ? Terapias medicamentosas
- ? Otros tratamientos de la clínica moderna
- ? Deportes no competitivos dosificados (natación, baloncesto, golf, scuash, tenis, etc.)
- ? Ejercicios con música (Musico terapia)

Técnicas de Balneoterapias e Hidroterapias

- ? Bañeras
- ? Bañaderas
- ? Duchas Jet (Ascendente, descendente y circulares)
- ? Piscinas
- ? Baño de Vapor
- ? Sauna
- ? Hidromasaje
- ? Gases medicinales
- ? Etc.

Bibliografía

Armiejo-Valenzuela M.. Aguas carbónicas o aciduladas. En: Curas Balnearias y Climáticas. Talasoterapia y Helioterapia, Ed. Complutense, Madrid, 271-277, 1994d.

Enciclopedia Microsoft, 1999

Larinov A.K, "Hidrología recreativa", Ed. MIR (Moscú) pp. 240, 1979.

La Hidrología y el Ciclo del Agua en la naturaleza.

Clasificación de las aguas por su origen

Juan Reynerio Fagundo Castillo, Patricia González Hernández

Vicedirección de Termalismo

Centro Nacional de Medicina Natural y Tradicional

Introducción

El tema que se aborda en este capítulo es de gran importancia en el contexto de la Hidrología y las Ciencias del Ambiente. Su aplicación se vincula a la Gestión y Aprovechamiento de los Recursos Hídricos en su concepto más amplio, que incluye las aguas naturales y minerales.

La supervivencia del hombre depende del agua. Esta es imprescindible para la vida, siendo el componente inorgánico más abundante de los seres vivos. Constituye en el hombre el 86 % de su peso corporal durante la niñez y el 60 % en la edad adulta. Teniendo en cuenta los requerimientos para el abasto, la industria. La agricultura y otros usos, cada ser humano gasta alrededor de 500 litros de agua al día, puede afirmarse que la civilización moderna no puede existir sin la suficiente cantidad de agua (Larionov, 1979).

El agua cubre más del 70 % de la superficie del planeta, se encuentra distribuida en océanos, lagos, ríos, glaciares, en el aire y en el suelo. La reserva más importante se encuentra en el mar, donde cubre el 97.5 % de la superficie del planeta. Sin embargo, hasta el presente, la desalación del agua de mar es muy costosa. La mayor concentración de agua dulce se encuentra en los casquetes polares (2 %). El agua subterránea aprovechable hasta los 100 m de profundidad, sólo es el 0.5 % y el agua de los lagos y ríos accesibles del mundo el 0.02 % (Fernández, 1999).

Cuando escasea el agua o se utiliza indebidamente, esta puede ser destructiva. Los programas de riego mal concebidos echan a perder las tierras de cultivo, al igual que las sequías o la desertificación. Por otro lado, las prácticas erróneas de utilización de la tierra, tales como el pastoreo excesivo y la deforestación, pueden convertir el agua en un poderoso agente de erosión. Por último, los residuos industriales pueden transformar los ríos en cloacas y las precipitaciones ácidas que contienen las partículas que expulsa la industria, son capaces de destruir bosques enteros y la vida acuática en lagos y embalses.

Si bien el agua es un recurso renovable a escala global, a escala regional o local esto no se cumple y ocasionalmente pueden obtenerse déficit en el balance hídrico. Por otro lado, la calidad del agua en ese ciclo se deteriora, de ahí que cada día se acentúa lo que se ha denominado "la crisis del agua"

Esta situación que ya es crítica en algunos países de África, Europa y América, exige del conocimiento riguroso de estos recursos tanto en cantidad como en calidad, así como el desarrollo de políticas y acciones encaminadas a la gestión y aprovechamiento de los recursos hídricos.

El problema del agua ocupa un lugar destacado a nivel internacional. Se promueven a través del PNUD, ONUDI, FAO, UNESCO, OMS, PHI y otras organizaciones de Naciones Unidas, un gran número de programas y proyectos de investigación, así como recomendaciones a gobierno encaminadas a asegurar nuevas disponibilidades del recurso, que mitiguen su escasez en zonas críticas. En este marco es imprescindible conocer y evaluar la calidad de las aguas y precisar los efectos del vertimiento indiscriminado de residuales y otras acciones antropogénicas. El hombre que ha roto el equilibrio ecológico del planeta está, sin embargo, en condiciones de salvarlo poniendo su inteligencia y capacidad al servicio del desarrollo de tecnologías y acciones remediadoras.

En el caso del agua en particular cada país debe contribuir a este esfuerzo, creando sus propias tecnologías o asimilando otras ya existentes, desarrollando programas propios de monitoreo y control de la calidad, así como investigaciones encaminadas a optimizar métodos y elaborar procedimientos para evaluar, con más precisión, la calidad del agua. Esto permitirá detectar a tiempo la contaminación de los cuerpos receptores como resultado de la actividad del hombre y tomar las medidas oportunas, antes de que el mal no tenga remedio o su cura sea muy costosa.

La Hidrología y el Ciclo del Agua en la naturaleza

La Hidrología es la disciplina de la ciencia que estudia el agua en su más amplia acepción. Cuando el agua se utiliza con fines terapéutico entonces es objeto de estudio de otras disciplinas relacionadas: la Hidrología Médica, la Hidroterapia y la Talasoterapia (Armijo-Valenzuela y San Martín, 1994). Si el agua es empleada para estos fines es de origen subterráneo (agua mineral y mineromedicinal) la parte de la Hidrología Médica que se encarga de su estudio se conoce como Crenoterapia.

La Hidrología se subdivide a su vez atendiendo a diferentes criterios, siendo la más simple de las divisiones la que comprende la Hidrología Superficial y la Hidrología Subterránea o Hidrogeología, según se ocupen del estudio de las aguas superficiales o subterráneas respectivamente.

La Hidrología es una de las ciencias más antiguas que se conocen, ya que las primeras comunidades se asentaron en las proximidades de los ríos y lagos con el objetivo de utilizar el agua para el consumo de la población, el riego de los cultivos y la transportación. El primer problema de la Hidrología lo constituyó la transformación mecánica del agua, su traslado y distribución (Llamas, 1993).

Biswas (1972, en: Antigüedad, 1998) describe prácticas de gestión hidráulica por los sumarios y egipcios en el Oriente Cercano y por parte de los chinos en las orillas del Hwang-Ho. Las evidencias arqueológicas confirman que fueron construidas estructuras hidráulicas para el riego y otras actividades. Una presa fue construida en el Nilo hace alrededor de 4000 a.n.e. y posteriormente, se construyó un canal para conducir agua dulce entre El Cairo y Suez. Similares obras hidráulicas fueron construidas por los incas en Perú.

Tales de Mileto (640-584 a.n.e.) destacaron el papel que juega el agua en la formación de la Tierra, afirmando que fue la fuente de los demás elementos. Aristóteles (384-322 a.n.e.) contribuyó a los conocimientos hidrológicos y meteorológicos de su época. Acorde a sus criterios, los océanos constituían los embalses de la Tierra, de su evaporación se formaban las nubes, las cuales, al condensarse, producían a lluvia que originaban los ríos y éstos, a su vez,

alimentaban los océanos. Estas eran las primeras ideas, aunque simplistas, del actual ciclo hidrológico (Llamas, 1993).

En el siglo XV, Leonardo de Vinci (1452-1511) retomó estas ideas y trató de calcular los principales componentes del ciclo del agua, encontrando relaciones exactas entre el área, las velocidades y el caudal de los ríos.

Durante la Edad Media se creía que la escorrentía total era equivalente al volumen de agua de las precipitaciones y no fue hasta 1650, que el francés Perreault descubrió, en un estudio realizado en la cuenca del Sena, que el volumen de ese río representaba solamente la sexta parte del volumen anual de las precipitaciones.

Halley, astrónomo inglés (1656-1742), usó un pequeño recipiente para estimar la evaporación del Mar Mediterráneo y concluyó que esta era suficiente para alimentar los ríos de la cuenca.

Con el descubrimiento del barómetro (Torricelli) y el empleo del pluviómetro (Benedicto Castelli) en el siglo XVII, así como las mediciones de caudales de los ríos en el siglo XVIII (Pitrot, 1731 y Woltman, 1790), se crearon las bases científicas para la medición de los principales componentes del ciclo del agua (Llamas, 1993).

El ciclo hidrológico o ciclo del agua es un proceso continuo en el cual el agua es evaporada desde los océanos, se mueve hacia los continentes como humedad del aire y produce precipitación (Antigüedad, 1998). La precipitación que cae sobre los continentes y tierras firmes se distribuye por varios caminos. Una parte es retenida en el suelo y vuelve a la atmósfera por evaporación (conversión de agua líquida en vapor de agua), o puede pasar a la atmósfera en forma de vapor mediante respiración de las plantas (transpiración), la combinación de ambos fenómenos es llamada evapotranspiración. Otra porción se convierte en escorrentía superficial que alimenta los ríos. Finalmente, una parte entra en el suelo como infiltración (escorrentía subterránea). Esta porción puede pasar de nuevo a los ríos o pasar a profundidades mayores como agua subterránea. Las aguas superficiales y subterráneas se mueven hacia zonas de más baja altitud y finalmente descargan al mar desde donde, una porción puede volver a la atmósfera.

Según los cálculos de Lvovich (en Antigüedad, 1998), en la superficie de la Tierra cada año caen 520000 km³ de precipitación y la evapotranspiración es aproximadamente la misma cantidad. El balance hídrico puede expresarse matemáticamente mediante las siguientes expresiones:

$$P = ES + ED + ET$$

$$E = ES + ED$$

$$H = P - ED$$

Donde:

P: precipitación

E: escorrentía total

ES: escorrentía subterránea

ED: escorrentía directa o superficial

ET: evapotranspiración

H: humedad del suelo

En la tabla 1 se muestran los resultados de los cálculos de Lvovich a nivel continental:

Tabla 1. Resultados del balance hídrico a nivel planetario Lvovich (en Larionov, 1979)

Componente del Ciclo Hidrológico	Km ³
P	108400
E	38150
ES	12000
ED	26150
ET	70250
H	83250

Clasificación de las aguas por su origen

Las aguas naturales han sido clasificadas de formas distintas atendiendo a su origen, tipo de roca asociada, características químico-físicas, uso y otras propiedades. Sobre la base de su génesis (White, 1963), pueden agruparse de la siguiente manera:

- 1.1. Aguas meteóricas
- 1.2. Aguas de precipitación (lluvia, nieve o granizo)
- 1.3. Aguas superficiales (ríos, arroyos, lagos, embalses)
- 1.4. Aguas oceánicas
- 1.5. Aguas subterráneas
 - 1.5.1. Aguas de suelo
 - 1.5.2. Aguas acuíferas o freáticas (aguas subterráneas cercanas a la superficie)
 - 1.5.3. Aguas procedentes de acuíferos profundos
 - 1.5.4. Aguas de origen marino que penetran al acuífero por intrusión marina
2. Aguas connatas o fósiles
3. Aguas juveniles
 - 3.1. Aguas de origen volcánico (eruptivas)
 - 3.2. Aguas magmáticas

Las aguas meteóricas son todas aquellas que participan en ciclo hidrológico, mientras que las aguas juveniles se incorporan por primera vez al mismo, una vez que emergen del interior de la corteza terrestre.

Clasificación del agua por su uso

Las aguas superficiales y subterráneas, si se atiende al carácter de su utilización, se pueden clasificar en diez grupos (Ferro, 1982):

1. Suministro rural y urbano.
2. Regadío para la producción agraria.
3. Abastecimiento para los procesos industriales.
4. Producción de energía mecánica y eléctrica.

5. Agua para fines terapéuticos.
6. Consumo mediante embotellamiento.
7. Carga, descarga y transportación.
8. Conservación de la flora y fauna silvestre.
9. Reproducción y consumo de plantas y animales acuáticos.
10. Agua para fines recreativos y culturales.

Existe una clasificación que además de las diez consideraciones anteriores, relaciona los principales parámetros químico-físicos y bacteriológicos utilizados en el control de la calidad de las aguas (Gutiérrez, 1982). Para la mayoría de los usos que se le da al agua, existen normas establecidas por el Instituto Nacional de los Recursos Hidráulicos (INRH), y el Ministerio de Salud Pública (MINSAP), organismos encargados en Cuba de velar por la preservación de la calidad del agua natural. El MIMBAS controla la calidad de las aguas de los yacimientos minerales y el MINIL se ocupa de preservar la calidad de las aguas naturales y minerales embotelladas.

Clasificación hidroquímica

Los criterios químico-físicos de la clasificación de las aguas naturales en general, se basan en el contenido de los iones más abundantes.

En la literatura aparecen numerosas clasificaciones que responden a diferentes objetivos (García, 1988; Catalán, 1988). De su análisis se puede considerar como más ventajosas las siguientes:

1. Clasificación de Alekine.
2. Clasificación de Shchoukarev.
3. Clasificación de Kurlov
4. Clasificación de Palmer.
5. Clasificación de Schoeller.

De todas ellas, el método de clasificación más utilizado para la clasificación de las aguas minerales es el de Kurlov el cual toma en consideración los aniones y cationes que exceden el 20 % de meq/l, de lo cual se obtiene que:

? En relación con los aniones:

- Aguas bicarbonatadas.
- Aguas sulfatadas.
- Aguas cloruradas.
- Aguas bicarbonatadas sulfatadas.
- Aguas bicarbonatadas cloruradas.
- Aguas sulfatadas cloruradas.
- Aguas sulfatadas cloruradas bicarbonatadas.

? En relación con los cationes:

- Aguas cálcicas.
- Aguas magnésicas.
- Aguas sódicas.
- Aguas cálcicas magnésicas.

- Aguas cálcicas sódicas.
- Aguas magnésicas sódicas.
- Aguas cálcicas magnésicas sódicas.

Una variante del método de Kurlov se ha propuesto por Fagundo (1996) sobre la base de las relaciones estequiométricas entre $\text{Na}^+ + \text{K}^+ : \text{Ca}^{2+} : \text{Mg}^{2+} : \text{Cl}^- : \text{HCO}_3^- : \text{SO}_4^{2-}$. El método, por su importancia como método de reconocimiento de patrones, será discutido más adelante.

Hidrogeología

La Hidrogeología estudia las características de las aguas subterráneas. La ocurrencia de estas aguas está asociada a las formaciones geológicas más o menos permeables conocidas como acuífero, y su movimiento depende de las propiedades físicas de las rocas que lo componen. Este movimiento puede expresarse en términos de retención y rendimiento de agua (Keith Todd, 1970).

Algunos materiales como la arcilla, constituyen formaciones impermeables que pueden contener agua, pero son incapaces de transmitir cantidades significativas de la misma. Existen otras formaciones prácticamente impermeables que no contienen ni transmiten agua, como por ejemplo el granito (acuífogos).

La porción de roca o suelo no ocupada por materia mineral sólida, puede ser ocupada por el agua subterránea. Se caracteriza por su tamaño, forma y distribución.

La porosidad de un suelo o roca es una medida del contenido de espacios vacíos en relación con el volumen total. La misma depende del tipo de roca, tal como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 2. Porosidad de diferentes medios geológicos

Material	Permeabilidad (%)
Suelos	50 - 60
Arcilla	40 - 50
Limo	45 - 55
Arena	30 - 40
Grava y arena	20 - 35
Arenisca	10 - 20
Pizarra	1 - 10
Caliza	1 - 10

La porosidad original se debe a los procesos geológicos primitivos de las rocas ígneas y sedimentarias. Otros poros denominados secundarios, se han originado con posterioridad a la formación de la roca por agrietamiento, fisuración o disolución química. Atendiendo a su tamaño, estos poros o grietas pueden ser de dimensiones capilares o más grandes, pueden encontrarse aislados o constituyendo redes conectadas a través de conductos. El 90 % de los acuíferos aprovechables consisten en rocas no consolidadas, principalmente grava y arena.

Las areniscas y conglomerados son formas cementadas de arena y grava, y por esa razón su permeabilidad y rendimiento han sido reducidos por el cemento. Los mejores acuíferos en areniscas son aquéllos que se encuentran sólo parcialmente cementados. Los conglomerados poseen una distribución limitada y no son de gran importancia como acuíferos.

Las rocas cristalinas y metamórficas son prácticamente impermeables, por lo que no presentan propiedades acuíferas importantes. Los suelos arcillosos tampoco presentan estas propiedades, debido a su capacidad para retener y no transmitir el agua.

Las propiedades acuíferas de las calizas dependen de la densidad, porosidad y permeabilidad de estas rocas. Los acuíferos más importantes desarrollados en este tipo de medio, se caracterizan por presentar una apreciable porción de roca que ha sido disuelta o removida. Las oquedades dentro de las rocas pueden variar desde tamaños microscópicos hasta grandes cavernas, especialmente las de tipo carbonatadas por ser solubles y susceptibles de disolución química.

Menos frecuentemente se originan acuíferos importantes en el yeso y otras rocas solubles.

En el proceso de disolución del carbonato de calcio (CaCO_3) juega un importante papel el dióxido de carbono (CO_2) originado en el suelo mediante los procesos microbiológicos de descomposición de la materia orgánica. En este tipo de acuífero el agua circulante tiende a incrementar la permeabilidad al aumentar el espacio poroso y las grietas. Por lo general, en los terrenos calcáreos desarrollados recientemente, el drenaje subterráneo es abundante y se crean grandes embalses de aguas subterráneas.

Circulación del agua subterránea y tipos de acuíferos

La circulación del agua subterránea depende de la zona hidrogeológica por donde ésta se mueve. Aunque estas zonas han sido denominadas en forma distinta por diferentes especialistas, en general se pueden distinguir las siguientes: zona no saturada o de aireación; zona freática o saturada y zona de saturación y circulación profunda.

La zona de aireación se caracteriza por presentar espacios vacíos que pueden ser ocupados por aire o agua. Ha sido subdividida en zona de agua del suelo, zona intermedia y zona capilar, según se encuentre más cercana a la superficie del suelo, en un nivel más distante o próximo al nivel que limita la zona freática o de saturación.

El espesor de la zona de aireación depende del tipo de suelo y de la vegetación. Juega un importante papel en el desarrollo agrícola. En esta zona, una parte del agua que se infiltra humedece el suelo y es retenida por las raíces de las plantas que intervienen en el proceso de evapotranspiración. Otra parte logra infiltrarse hasta la zona freática.

En la zona saturada, el agua subterránea llena todos los intersticios de las rocas, la porosidad es una medida directa del contenido de agua por unidad de volumen.

Una parte de esta agua drena hacia horizontes acuíferos más profundos o en sentido vertical, hacia ríos, lagos o el mar. Otra parte puede ser extraída por el hombre con fines de abasto mediante bombeo.

La zona de saturación y circulación profunda, está asociada al drenaje profundo, y se caracteriza por el hecho de que las aguas presentan por lo general elevados contenidos de minerales y gases disueltos. Suelen presentar propiedades minero medicinales apropiadas para la cura de diferentes enfermedades. Emergen al exterior a través de manantiales o pozos perforados por el hombre.

Según la constitución de los materiales geológicos que limitan al acuífero, los mismos se denominan libres o confinados. Los acuíferos libres son aquéllos que sólo presentan una capa impermeable subyacente y en los bordes de la cuenca subterránea, no así en su parte superior. Se alimentan directamente de las precipitaciones. La composición química de las aguas que se mueven en este tipo de acuífero refleja las propiedades litológicas del mismo.

Los acuíferos confinados también denominados artesianos, presentan además una capa impermeable suprayacente que no permite su alimentación directa, sino a partir de una zona distante donde el materia acuífero queda expuesto a la infiltración de las precipitaciones. La composición química de las aguas que discurren en los acuíferos confinados es muy constante y no refleja las propiedades del material rocoso del sitio de muestreo, sino del material que forma parte de su zona de alimentación.

Otra característica de los acuíferos confinados, es que cuando el hombre abre un pozo en los mismos, el agua brota espontáneamente con un caudal prácticamente constante, debido a que el agua se encuentra sometida a una elevada presión hidrostática como consecuencia del confinamiento.

Origen de las aguas subterráneas

Las aguas minerales pueden ser de origen meteórico, fósil o juvenil.

Casi toda el agua subterránea se origina a partir de las aguas que participan en el ciclo hidrológico (aguas meteóricas). Constituyen el 95 % de las aguas minerales. Sin embargo, una cantidad relativamente menor de agua subterránea puede incorporarse a este ciclo cuando es extraída desde capas muy profundas, como es el caso de las aguas cónnatas. Esta agua procedentes de antiguos mares o lagos atrapadas en los intersticios de las rocas sedimentarias, pueden permanecer durante mucho tiempo sin tener contacto con el exterior. Otras aguas que participan en el ciclo hidrológico, una vez que brotan a través de las erupciones o del magma en las regiones volcánicas, son las aguas juveniles, tal como ya se ha señalado.

Los géiseres, término que significa salir a chorro, constituyen otra fuente de aguas juveniles. Están relacionadas con las regiones volcánicas, pero a diferencia de los volcanes, los géiseres expulsan vapor y agua caliente de una manera rítmica.

Las aguas meteóricas que son las más comunes, se infiltran por los huecos (poros) de los terrenos permeables y por las fisuras y cavernas de las rocas menos permeables, disolviendo los minerales constitutivos de las rocas, hasta alcanzar una mineralización relativamente estable. En el caso de rocas carbonatadas, la acción disolvente se favorece por la incorporación al agua, de CO₂ procedente de la atmósfera del suelo por donde estas se infiltran, por la ocurrencia de procesos generadores de este gas, como es el caso de los procesos de oxidación de pirita o por el aporte de tipo hidrotermal. Durante la infiltración del agua por acción de la gravedad de la Tierra, hacia las profundidades del terreno, estas tienen suficiente tiempo de contacto como para adquirir una elevada mineralización a expensas de la disolución de minerales menos solubles como los aluminosilicatos, lo cual se favorece con las elevadas temperaturas adquiridas en virtud del gradiente geotérmico. Las aguas que se infiltran a través del granito y otras rocas muy poco solubles, en forma similar a las anteriores, adquieren un contenido muy bajo en minerales disueltos a pesar su carácter mineral.

Las aguas minerales de origen meteórico, ascienden a la superficie desde acuíferos profundos, a través de las fisuras asociadas a las fallas o los pliegues de la corteza terrestre. Dentro de esta se destacan las denominadas aguas artesianas. Se conocieron por primera vez en el año 1126, en

una aldea de la provincia de Atois (Artesia), en ocasión en que se perforaba un pozo profundo. De pronto surgió un agua a presión que alcanzó a la superficie. Desde entonces el agua brota de manera interrumpida (Larinov, 1979).

El descubrimiento de la existencia de aguas artesianas o bajo presión fue un gran logro de la Hidrología. A finales del siglo XVIII y principios del XIX en Europa comenzó la búsqueda de este tipo de agua para ponerlas al servicio de la humanidad.

Hoy se sabe que esta agua se encuentra en cuencas confinadas y una vez perforadas por el hombre, se elevan hasta una altura que depende de la presión hidrostática a que se encuentran sometidas. Como resultado de la labor de búsqueda de los hidrogeólogos, hoy se conoce de la existencia de muchas cuencas artesianas.

En Siberia Occidental estas aguas ocupan una superficie de 3.5 millones de km². En la parte septentrional del Sahara, bajo las arenas del desierto, existe una cuenca artesiana de más de 700 mil km² con una potencia (espesor) que alcanza 500 m.

América Latina es rica en aguas artesianas. Se encuentran en los valles, las planicies y las cercanías de las montañas. Con estas zonas se relacionan los territorios de Chaco Pampas, de Llanos, de la porción Superior del Amazona, etc. Zonas áridas de América, donde apenas llueve, poseen grandes depósitos de aguas artesianas, como son los casos del desierto de Atakama (Chile) y la Sierra de la Baja California (México). En otras áreas desérticas como Sudán (África) o el desierto de Kara-Kumi (antigua URSS), existen grandes recursos de aguas almacenadas en cuencas artesianas.

Las cuencas artesianas de muchas capitales como Moscú, Leningrado, París, Madrid, etc., hoy abastecen de agua potable sus pobladores.

Una gran parte de las aguas minerales que se utilizan con fines terapéuticos en distintas regiones del mundo, también son de origen artesiano. Muchos manantiales mineromedicinales emergen en zonas plegadas de la corteza terrestre, por emisión espontánea en la zona de descarga del acuífero o a través de fallas.

Bibliografía

Antigüedad, I. "Evaluación y recuperación ambiental introducción a la Hidrogeología". En: Curso de Hidrogeología, Universidad del País Vasco (España), 1-28, 1998.

Armiejo-Valenzuela M. y San Martín J. (1994). "Aguas minerales. Conceptos generales. En: Curas Balnearias y Climáticas. Talasoterapia y Helioterapia", Ed. Complutense, Madrid, 11-16.

Catalán, J. "Química del Agua", Ed. CNIC, La Habana, pp. 422, 1988.

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

Fernández, A. "Aprovechamiento y gestión de Recursos Hídricos". Ed. CYTED (Argentina), pp. 78 1999.

Ferro F. "Hidrología General", Ed. Científico-Técnica, Ciudad de la Habana, pp. 406, 1982.

García J.M. "El control de la contaminación de las aguas: monitoreo y estudios intensivos". Tesis C. Dr. Ciencias Técnicas, Ciudad de La Habana, pp. 116, 1988.

Gutiérrez J. "Clasificación y representación gráfica de las aguas naturales", Ed. Instituto de Hidroeconomía, La Habana, pp. 27, 1982.

Keith Todd D. "Groundwater Hydrology." Ed. John Wiley and Sons Inc. (Copyright Ed. Revolucionarias, Inst. Del Libro, La Habana), pp 336, 1970.

Larinov A.K, "Hidrología recreativa", Ed. MIR (Moscú) pp. 240, 1979.

Llamas J. "Hidrología General". (1993) Ed. Universidad del País Vasco (España), pp 635.

White D.E., J.H. Hemm and G.A. Waring. "Chemical composition of subsurface waters." In: Data Geochemistry, 6 th Ed. Geological Survey Professional Paper 400-F, pp. 67, 1963.

Aguas naturales, minerales y mineromedicinales

Juan Reynerio Fagundo Castillo

Vicedirección de Termalismo

Centro Nacional de Medicina Natural y Tradicional

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° . 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 formados 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 fragmenta 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 medicinal; 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 Médica 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 CO₂ 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.

En relación a la temperatura, pueden ser hipo termales (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 meso termales, considerándose hiper termales o hipo termales 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 (Tma) o la temperatura del suelo (Ts) en que brota el manantial, de ello se obtiene la siguiente clasificación:

? **Hiper termales:** $T > T_{ma} + 4\text{ °C}$ o $T > T_s + 2\text{ °C}$.

? **Orto termales:** $T = T_{ma} + 4\text{ °C}$ o $T = T_s + 2\text{ °C}$.

? **Hipo termales:** $T < T_{ma}$ 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 meso termales son aquellas con temperaturas entre 35 y 37 °C, hiper termales (más de 37 °C) e hipo termales (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.

? **Hipo termales:** entre 20 y 35 °C.

? **Meso termales:** entre 35 y 45 °C.

? **Hiper termales:** 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 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: ? **inferior a -0.55 °C.**

? Aguas isotónicas: ? **entre -0.55 y -0.58 °C.**

? Aguas hipertónicas: ? **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; medio minerales 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 más del 20 % de la masa iónica correspondiente, expresada en mili equivalentes (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 (CO₂ 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 micro elementos: 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 más 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 (H_2S) o ion sulfhidrilo (SH). La proporción en que se encuentran estas dos especies depende del pH. A valores de pH inferiores de 7.5 prevalece el H_2S , mientras que a valores mayores es más abundante el SH .
- Carbogaseosas : con una cantidad de CO_2 superior a 250 mg/l.
- Silícicas: con una cantidad de 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 F entre 1.0-2.0 mg/l.
- Brómicas: con un contenido de Br^- superior a 4 mg/l.
- Yodhídricas: con un contenido de 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 sustancia mineralizante, 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.

TIPO DE AGUA	ACCIÓN TERAPÉUTICA
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 siguientes maneras:

GRUPOS	CARACTERÍSTICAS
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 objetivo general 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 de nominada 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 mineralógica 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, O₂ disuelto, alcalinidad, CO₂, H₂S, 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. Complutense, 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 RM. 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.

Propiedades físico-químicas de las aguas minerales y origen de su composición.

Juan Reynerio Fagundo Castillo

Vicedirección de Termalismo

Centro Nacional de Medicina Natural y Tradicional

Factores que determinan la composición y evolución química de las aguas naturales y minerales

Las aguas naturales adquieren su composición química mediante un proceso complejo, donde intervienen factores de tipo químico-físico, geológico, hidrogeológico, geomorfológico, pedológico, climático, antrópico y otros (Fagundo, 1990).

Se debe esperar que la infiltración por percolación de las precipitaciones en rocas salinas, origine aguas superficiales y subsuperficiales (acuíferas) de tipo cloruradas alcalinas; en los depósitos de yeso o anhidrita, sulfatadas cálcicas; en las calizas y dolomías, bicarbonatadas cálcicas o cálcico-magnesianas; en las secuencias con abundante pirita, aguas con alto contenido de ion sulfato; en los granitos y otras rocas insolubles ácidas, aguas del tipo alcalinas o alcalino-térreas según el catión dominante, mientras que en las rocas ultrabásicas, éstas son bicarbonatadas magnesianas.

Sin embargo, en el caso de las aguas minerales, su composición por lo general no refleja las propiedades del material acuífero de la zona de alimentación, sino más bien, las características del propio acuífero confinado, de las capas confinantes y de los flujos hidrotermales.

Los principios químico-físicos están regidos por las leyes termodinámicas que controlan la disolución de los minerales, estos factores desempeñan un papel importante en la forma en que las aguas naturales adquieren su composición química. Entre estos se destacan: la solubilidad de los minerales, el contenido de gases disueltos, las condiciones del sistema (abierto o cerrado) en que la disolución tiene lugar, el pH, el potencial redox, el efecto salino o de fuerza iónica, el efecto de ion común y otros que se han discutido en este trabajo.

Los factores geológicos se relacionan con la litología (composición de los minerales de las rocas), el estado de yacencia de las secuencias estratigráficas, la tectónica, el agrietamiento, la textura y porosidad de las rocas, etc. La litología determina, por lo general, las facies hidroquímicas dominantes en una región determinada, es decir, el tipo de agua. Así por ejemplo, en los terrenos cársicos carbonatados las aguas suelen ser del tipo bicarbonatadas cálcicas. Los aspectos vinculados al agrietamiento y porosidad de las rocas influyen de manera determinante en el estado de división de las partículas, mientras más pequeña sea ésta, poseerá mayor superficie y se facilitará la disolución del mineral. Las aguas que drenan a través de rocas calcáreas, muy trituradas por los procesos tectónicos, adquieren un contenido mayor de calcita disuelta que aquéllas que drenan a través de calizas más compactas.

Los factores hidrogeológicos están relacionados con la permeabilidad del acuífero, el tipo de flujo, su velocidad, así como la zona por donde se mueve el agua. Todos estos aspectos inciden

en el tiempo de contacto entre el agua y el mineral, por ejemplo, si el flujo tiene lugar en condiciones difusas a través de las rocas, el tiempo de interacción del agua con los minerales es más lento y, por tanto, la cantidad de minerales disueltos es mayor que si las condiciones de flujo son de tipo turbulentas a través de grietas más o menos amplias.

El contenido de CO₂, la dureza y otras propiedades químico-físicas de las aguas naturales difieren de acuerdo con la forma en que se mueve el agua y la zona hidrogeológica que ocupa.

En la zona de alimentación del acuífero (visto el movimiento en sentido horizontal) o en la zona de aireación (visto en sentido vertical), el contenido de CO₂ de las aguas es relativamente elevado, puesto que en estos lugares tienen lugar los intensos procesos de descomposición bacteriana de la materia orgánica. El pH en esta zona suele no ser elevado y la dureza pequeña.

En la zona de conducción del acuífero el nivel de CO₂ suele ser menor, porque una parte del gas es consumido, como consecuencia de la interacción del agua con los minerales del medio rocoso. El agua en esta zona adquiere una mayor mineralización y un pH más elevado. Esta evolución se hace más evidente si, por ejemplo, se muestrea un perfil de pozos desde la zona de alimentación hasta la de emisión del acuífero. A medida que el agua se aleja de la zona de alimentación decrece el CO₂ y aumentan el pH, así como el contenido de calcita disuelta.

En la zona saturada, las aguas adquieren una mayor mineralización. Sin embargo, como resultado de los procesos de mezcla de aguas, éstas pueden hacerse agresivas nuevamente y continuar disolviendo minerales.

En la zona de circulación profunda, las aguas se caracterizan por presentar elevados contenidos de CaCO₃, CaSO₄ y NaCl disueltos. En ocasiones aún poseen cantidades elevadas de CO₂ y H₂S, y en los manantiales por donde emergen precipita el exceso de calcita y yeso. Además, las aguas poseen, por lo general, una temperatura más elevada y estable que las de tipo meteórica, la circulación es más lenta y su caudal menor, el tiempo de interacción con los minerales es mayor. En estas condiciones pueden cambiar su típico patrón hidrogeoquímico.

En un trabajo desarrollado en Australia por Chebotarev (en Freeze y Cherry, 1980), en el cual fueron muestreadas más de 10 000 aguas de pozos, se llegó a la conclusión de que en la naturaleza, las aguas subterráneas tienden a evolucionar hacia la composición del agua de mar. El observó que esta evolución química en cuanto a los aniones dominantes, sigue aproximadamente las regularidades siguientes:



Estos cambios ocurren en la medida que el agua se mueve desde zonas de grandes caudales, a través de zonas intermedias, hasta zonas donde los flujos son escasos y el agua es vieja desde el punto de vista geológico.

En las regiones montañosas de Cuba, la evolución química de las aguas sigue una tendencia similar a la observada por esos investigadores y alcanzan, por lo general, las facies ricas en SO₄²⁻

Las aguas naturales con elevados contenidos de cloruro (Cl⁻) se suelen encontrar en regiones llanas que presentan gran agrietamiento o fallas, donde los horizontes acuíferos someros se ponen en contacto con otros más profundos. También en algunos pozos artesianos, que se han abierto a grandes profundidades durante los trabajos de prospección geológica o de búsqueda petrolífera; así como en las zonas litorales donde las aguas del acuífero cársico se mezclan con las de mar y como resultado de este proceso se incrementa la solubilidad de los minerales carbonatados (efecto de mezcla de agua y efecto salino o de fuerza iónica).

Los factores de tipo geomorfológico también influyen en la composición química de las aguas, en especial, el escarpe de los macizos, el tipo de vegetación, el grado de erosión de los terrenos y la naturaleza de las propias formas del relieve. A pesar de que las formas de adsorción (dolinas, sumideros, etc.), se pueden considerar el resultado de los procesos cárnicos, una vez creadas esas formas, éstas facilitan o limitan la ulterior acción de corrosión química sobre el medio, lo cual se refleja en la composición química de las aguas.

Otros factores que también influyen sobre la composición química de las aguas naturales son los de tipo pedológicos, los cuales están asociados al tipo de suelo que yace sobre las secuencias estratigráficas. El suelo puede ser el resultado del intemperismo de la roca o tratarse de una cobertura de origen fluvial, pluvial o glacial; su espesor puede variar desde un grosor apreciable hasta llegar a ser muy escaso o ausente. De sus características y condiciones pedoclimáticas depende la actividad microbiológica asociada, así como de la producción de gases y ácidos disponibles, que luego son arrastrados por las lluvias o las nieves al fundirse, haciendo posible la disolución de los minerales que forman parte del paquete de rocas subyacentes. En el caso de un macizo desnudo, el agua de las precipitaciones puede adquirir el CO_2 directamente de la atmósfera, pero en una proporción menor que la que se produce en el suelo.

La microflora del suelo está compuesta de poblaciones de algas, actinomicetos, bacterias nitrificantes, desnitrificantes, desintegrantes de la celulosa, sulfobacterias y productoras de pigmentos, hongos y protozoos. Los factores climáticos intervienen de forma activa en la dinámica de la meteorización mecánica y química de los macizos, al permitir en el primer caso la fragmentación, traslado y acarreo de los minerales lejos del lugar de origen, así como facilitar en el segundo caso, la disolución de los minerales de las rocas. Mientras más intensa sea la acción mecánica, más facilitar al agua su acción corrosiva.

Los elementos del clima más determinantes en el modo en que las aguas adquieren su composición química son: la temperatura, humedad relativa, intensidad y duración de las precipitaciones, intensidad y duración de las radiaciones, velocidad del aire, entre otros.

Por último, se debe destacar el papel que desempeña el factor antrópico en la composición química de las aguas.

Patrones hidrogeoquímicos y control de la composición química de las aguas naturales

A pesar de que las aguas naturales adquieren su composición química mediante un proceso complejo como el que se acaba de analizar en el epígrafe anterior, donde intervienen diferentes factores, en un sitio determinado o área con cierta homogeneidad, muchos de éstos se hacen constantes y en esas condiciones, la composición química absoluta del agua varía dentro de cierto rango como consecuencia del régimen de lluvia: en los períodos lluviosos la mineralización es más pequeña que en los períodos secos. Sin embargo, la composición química relativa varía poco, especialmente en el caso de las aguas minerales, las cuales en todo momento mantienen su tipo hidroquímico y poseen por lo general, un mismo patrón hidrogeoquímico (Fagundo, 1998). Las aguas subterráneas menos profundas pueden tener una mayor variación, por tanto su composición puede expresarse mediante varios patrones, mientras que las más profundas, especialmente las de tipo hidrotermal, suelen presentar un solo patrón, excepto en algunos casos en que estas fuentes son explotadas por encima de lo permisible (Yusa, 1955).

Reconocimiento de patrones hidrogeoquímicos.

Los métodos de reconocimiento de patrones constituyen una herramienta prometedora para el análisis de los tipos de aguas presentes en un sistema natural, sus posibles cambios y sus orígenes. Entre estos métodos, el propuesto por Fagundo (1998) ha mostrado gran utilidad para la interpretación de los procesos geoquímicos que tienen lugar en el medio acuático y para el control de la calidad de las aguas.

Mediante estos métodos, se seleccionan como patrones aquellas aguas teóricas, cuya composición (concentración de los componentes mayoritarios), al expresarse en tantos por diez de meq/L, para aniones y cationes por separado, da lugar a una combinación de números enteros ente 1 y 8. Según esta notación, cada patrón se expresa mediante un juego de seis números enteros (tres para los aniones y tres para los cationes), ordenados según la secuencia: $\text{Na}^+ + \text{K}^+ : \text{Ca}^{2+} : \text{Mg}^{2+} - \text{Cl}^- : \text{HCO}_3^- : \text{SO}_4^{2-}$.

Las aguas naturales se clasifican según su composición nombrándose sólo los componentes que sobrepasen el 20 por ciento (tanto por diez = 2) y en orden decreciente de concentración, nombrando primero los aniones y luego los cationes, por ejemplo:

Patrón	Tipo de agua	Representación
181 – 181	bicarbonatada cálcica	$\text{HCO}_3^- - \text{Ca}$
631 – 532	clorurada bicarbonatada sulfatada sódica cálcica	$\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} - \text{Na} > \text{Ca}$

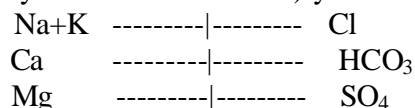
La clasificación del tipo de agua se hace siguiendo el método de Kurlov (Fagundo, 1996), el cual considera en la denominación del tipo de agua aquellos componentes con una concentración superior al 20 %.

Como puede verse en la tabla 1.5.1 diferentes patrones pueden corresponder a un mismo tipo de agua, existiendo $15 \times 15 = 225$ tipos de aguas y $27 \times 27 = 729$ patrones en total.

Tabla. 1 Tipos de agua y patrones hidrogeoquímicos.

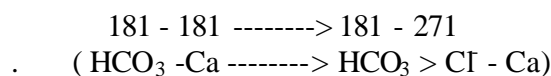
No	Anión	Cación	Combinaciones numéricas
1	HCO_3^-	Ca^{2+}	181
2	Cl^-	Mg^{2+}	811
3	SO_4^{2-}	Na^+	118
4	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+$	271 361 541
5	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$	172 163 154
6	$\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+}$	721 631 541
7	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$	712 613 514
8	$\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$	$\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$	127 136 145
9	$\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$	$\text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$	217 316 415
10	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$	352
11	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$	253
12	$\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$	532
13	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$	523
14	$\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$	$\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+$	235
15	$\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$	$\text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+}$	325

La representación gráfica de estos patrones se realiza mediante diagramas de Stiff (1951) el cual consiste en tres ejes de coordenadas paralelos, con origen en el centro y divididos en diez unidades. Sobre estos ejes se sitúan los seis puntos correspondientes a la concentración de cada ion (cationes a la izquierda y aniones a la derecha) y se unen los puntos mediante rectas.

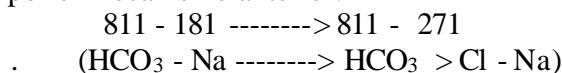


Del análisis de estos patrones, se puede establecer relaciones entre aguas de diferentes muestras y además se pueden inferir cualitativamente los procesos geoquímicos que pueden estar presentes. A continuación se señalarán algunos ejemplos.

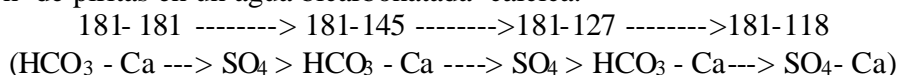
1. En la reconcentración de Cl por evapotranspiración o efecto termal, la evolución pudiera ser del tipo:



2. Disolución de aluminosilicatos (reacción favorecida por las altas temperaturas) y reconcentración de Cl por el mecanismo anterior:

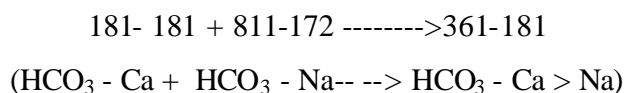


3. Oxidación de piritas en un agua bicarbonatada cálcica.



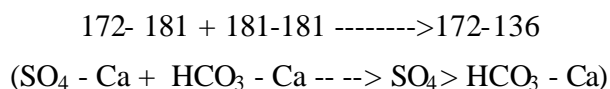
4. Formación de aguas $\text{HCO}_3 - \text{Ca} > \text{Na}$ por procesos de mezcla:

Los patrones 361-181 y 361-127, correspondientes a aguas bicarbonatadas cálcicas sódicas pueden ser originados por mezclas de aguas bicarbonatadas cálcicas y bicarbonatadas sódicas:



5. Formación de aguas $\text{SO}_4 > \text{HCO}_3 - \text{Ca}$ por procesos de mezcla:

Los patrones 172-136, 172-127 y 172-136, característicos de aguas sulfatadas bicarbonatadas sódicas, pueden originarse a partir de una mezcla de aguas sulfatadas cálcicas y bicarbonatadas cálcicas:



El uso de relaciones matemáticas entre la concentración iónica y la conductividad eléctrica de las aguas naturales, se ha propuesto sobre la base de un modelo de adquisición de la composición química, similar al que ocurre en un reactor de laboratorio donde se hace pasar una corriente de CO_2 a un agua y se coloca un mineral carbonatado (Fagundo, 1985, 1990a; Fagundo y Pajón, 1987; Fagundo, 1996).

En este proceso cinético, la velocidad de disolución del mineral depende de su composición en la roca (litología). La concentración de los principales iones que resultan de este proceso se incrementa en el tiempo y sigue una función exponencial. Una función matemática similar presenta la conductividad eléctrica.

Si se grafica la relación entre la concentración de cada ion y la conductividad eléctrica se obtiene una línea recta que pasa por el origen de coordenadas, cuya pendiente depende de la litología (Fagundo, 1990 b). Por ejemplo, en el caso de una caliza pura constituida prácticamente por mineral calcita, la pendiente correspondiente a los iones HCO_3^- y Ca^{2+} son similares entre sí y sus magnitudes son mucho mayores que las del ion Mg^{2+} . En una dolomía constituida por cantidades más o menos similares de calcita y dolomita, la pendiente correspondiente al ion HCO_3^- es del mismo orden que en el caso anterior, sin embargo, las pendientes correspondientes a los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} son en este caso similares entre sí y mucho menor que la del HCO_3^- .

Si se determinan las concentraciones iónicas al multiplicar las conductividades eléctricas, en cada momento en que se hizo el experimento, por las correspondientes relaciones matemáticas obtenidas, se encuentra que no existen grandes diferencias entre la composición química real y la obtenida por estos modelos matemáticos.

Basado en estos principios se elaboró un sistema automatizado (Alvarez et al, 1990) capaz de determinar en forma rápida los modelos de correlación matemática entre la concentración iónica y la conductividad eléctrica, con el objetivo del ulterior control de la composición química de las aguas mediante mediciones en el campo con conductímetros portátiles. En general, cuando uno de los factores es dominante en el modo de adquisición de la composición química de las aguas, las relaciones entre las concentraciones iónicas y la conductividad eléctrica son de tipo lineal. Si más de un factor posee un peso semejante en este proceso, las ecuaciones de segundo grado ajustan mejor. En este último caso se observa, por lo general, más de un patrón hidrogeoquímico.

En el caso de aguas subterráneas que se encuentran estratificadas como resultado de mezcla con el mar o con otro horizonte acuífero, como sucede en los acuíferos carbonatados litorales y en aguas de mezcla en general, la evolución ocurre según una serie de patrones hidrogeoquímicos en los que se va incrementando, de manera progresiva, el contenido de los iones Cl^- , Na^+ y K^+ y en menor medida Mg^{2+} y SO_4^{2-} , así como decreciendo el de los iones HCO_3^- y Ca^{2+} . La actividad del hombre, especialmente la sobreexplotación de los acuíferos para el abasto o el regadío altera los patrones hidrogeoquímicos naturales.

Para controlar la composición química de estas aguas mediante mediciones de conductividad eléctrica y el empleo de ecuaciones de correlación matemática, es necesario procesar los datos por tipos de patrones hidrogeoquímicos, sobre la base de los cambios en sus relaciones iónicas, para lo cual dan buenos resultados los denominados métodos de reconocimiento de patrones. Estos métodos son especialmente útiles para la comparación y control de la composición química de las aguas minerales, ya que las mismas se caracterizan por presentar un sólo patrón hidrogeoquímico. Si en el procesamiento de los datos hidroquímicos de una fuente de posible origen termal se obtiene más de un patrón, se puede sospechar en un proceso de mezcla y desechar la hipótesis de que el agua es mineral.

Variación espacial y temporal de la composición química de las aguas naturales

Los cambios temporales en la composición química de las aguas naturales se han clasificado en función de la escala de tiempo como: cambios seculares (producidos en el orden del tiempo geológico) y cambios a corto plazo (Paces, 1980). A cada una de estas categorías le corresponden a su vez, cambios de tipo periódico, abrupto y sistemático.

Los cambios seculares se refieren a la evolución del agua oceánica en el orden del tiempo geológico. Como ejemplo de este tipo de cambio se puede considerar la variación de la relación

iónica r Mg^{2+}/Ca^{2+} , experimentada en los sedimentos carbonatados durante los últimos 2 000 millones de años.

En realidad los cambios de la composición química de las aguas a corto plazo son más estudiados, por su posible medición.

Los cambios periódicos se observan a menudo como respuesta a la radiación solar y pueden ser de tipo diurno o estacional, como ejemplo del primer caso se puede considerar las variaciones que se producen en el intervalo de 24 h en las magnitudes del contenido de CO_2 , las concentraciones de los iones HCO_3^- y Ca^{2+} . Estos cambios son inducidos por los organismos fotosintéticos cuya respiración durante la noche incrementan el CO_2 , mientras que por el día esta actividad disminuye y causa una variación en el equilibrio de los carbonatos.

Los cambios estacionales de la composición de un agua están determinados por las variaciones en la temperatura y el régimen de precipitación en las diferentes estaciones del año. En Cuba se distinguen en la práctica dos períodos: el seco, que se extiende desde noviembre a abril y el lluvioso, de mayo a octubre.

Los cambios abruptos en la composición química de las aguas naturales son causados, por lo general, por la transición de un agua de un medio ambiente a otro, cuyas propiedades químico-físicas y biológicas son muy diferentes.

Por ultimo, los cambios sistemáticos son de tipo continuo y no periódico, que se manifiestan en la variación de la masa disuelta desde un estado inicial hasta otro final.

La composición química espacial de las aguas en una región determinada, sólo da una información parcial del funcionamiento de ese medio. La variación a lo largo de uno o más años hidrológicos, así como durante los períodos de intensas lluvias, ofrece mucho más información. Las determinaciones conjuntas a lo largo del tiempo de la composición química de las aguas y el caudal en los manantiales y pozos, así como el registro simultáneo de los elementos del clima, ofrece la oportunidad de correlacionar las respuestas hídrica y química en relación con las precipitaciones, lo cual permite conocer cómo está organizado interiormente el sistema rocoso, y brinda la posibilidad de discernir acerca de su carácter minero medicinal o no

La variación estacional de la dureza, la mineralización y la conductividad se ha utilizado por muchos investigadores para interpretar la forma en que se mueven las aguas en el medio. Shuster y White (1971) propusieron el empleo del coeficiente de variación de la dureza en lugar de la dureza misma, como un índice para determinar si las aguas se mueven en forma difusa o a través de conductos. Las aguas que discurren por fisuras y conductos abiertos poseen un mayor coeficiente de variación (por encima del 5 %), puesto que en esas condiciones se produce un mayor efecto del clima en la fluctuación de la dureza.

Como las aguas minerales se caracterizan por presentar una composición química estable, el coeficiente de variación de la mineralización o la conductividad puede ser un valioso indicador para evaluar el grado de fluctuación de su composición como consecuencia de los cambios en el régimen de precipitación y las condiciones de alimentación y estructuración del sistema. Aunque no se ha determinado la magnitud de este tipo de estadígrafo (coeficiente de variación) para discernir entre un agua mineral y otra no mineral, este valor siempre será inferior al 5 %.

En Cuba, como se ha señalado anteriormente, además del coeficiente de variación de la dureza se ha empleado la temperatura y la conductividad eléctrica, para distinguir la forma en que tiene lugar el escurrimiento del agua a través de los macizos carbonatados (Fagundo et al, 1981; 1986). Estos estadígrafos han sido incluidos también en el sistema informático SACAN (Tillán et al,

1996) para establecer cuándo un agua cumple lo establecido en las normas de agua mineral. Se puede tomar como criterio que los coeficientes de variación de la mineralización, de la conductividad eléctrica y de los contenidos de los iones mayoritarios (mayor de un 20 % de meq/l) no deban exceder el 5 %.

Otro criterio para la caracterización del tipo de agua ha sido establecido por Bakalowicz (1979). El mismo utiliza como criterio la frecuencia de distribución de la conductividad eléctrica, la cual puede ser de tipo uní modal en aquellos acuíferos cuyas aguas se mueven a través de flujos difusos, o plúri modal, cuando las aguas se mueven a través de conductos o sistemas mixtos. Este método ha sido empleado por Fagundo et al (1997) para distinguir aguas superficiales o subsuperficiales de aquellas que proceden del drenaje profundo en la Sierra del Rosario.

Principios químico físicos

Disolución congruente e incongruente de los minerales

Cuando los productos de una reacción de disolución son todas especies iónicas, se dice que la disolución es congruente. Cuando por el contrario, la disolución de un mineral da lugar a especies iónicas y moléculas no solubles, se dice que la disolución es incongruente. Este último es el caso de muchos aluminosilicatos. En presencia de CO₂ y elevadas temperaturas el agua disuelve este tipo de mineral y libera sodio, bicarbonato y sílice en el seno de la solución, mientras deposita el mineral arcilloso caolinita. Este proceso ocurre corrientemente como resultado del intemperismo de las rocas graníticas.

En el proceso de disolución de los carbonatos se suelen producir disoluciones incongruentes cuando están presentes calcita y dolomita o calcita (Picknett, 1972; Wigley, 1973a) y yeso (Wigley, 1973b). Las aguas en estos casos pueden disolver secuencial o sucesivamente estos minerales.

Donde coexistan calcita y dolomita a bajas temperaturas, cuando el agua se encuentre saturada respecto a la dolomita, será sobresaturada respecto a la calcita, precipitando este último mineral a medida que se disuelve el primero; en este caso el agua disuelve incongruentemente a la dolomita. Si por el contrario, este proceso ocurre a una temperatura superior a 10 °C, se producirá la disolución de la dolomita en forma incongruente.

Si el proceso de disolución de ambos minerales tiene lugar secuencial mente, entonces puede ocurrir la disolución incongruente, con independencia de la temperatura del agua.

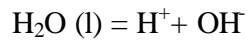
El pH del agua

Un agua pura disuelve con facilidad sólo aquellos minerales solubles como los de tipo salino o los sulfatos. En la mayoría de los casos, sin embargo, la solubilidad de un mineral se incrementa considerablemente en presencia de ácidos; por ejemplo, en un litro de agua a 25 °C, sólo se disuelven 12 mg de calcita. En presencia de un ácido fuerte, sin embargo, la solubilidad aumenta de 25 000 a 30 000 veces.

La medida del grado de acidez del agua es el pH, el cual se define como el logaritmo inverso de la actividad del ion hidrógeno o hidronio (H⁺ o H₃O⁺), que resulta de la ionización de un ácido cualquiera; se expresa en moles por litro, aunque al medirse en equipos electrónicos con electrodos de referencia, la acidez se expresa en unidades de pH, por lo general entre 0 y 14, esta se calcula de la manera siguiente:

$$\text{pH} = - \log (\text{H}^+)$$

Aunque el agua pura está constituida fundamentalmente por moléculas de H₂O, una pequeña porción de la misma se compone de H⁺ y OH⁻. Esta proporción está controlada por la reacción de disolución:



la cual para una temperatura dada se encuentra en equilibrio dinámico.

En el agua pura $(\text{H}^+) = (\text{OH}^-) = 10^{-7}$, por lo que teóricamente su pH debe ser 7. En la realidad, a causa de que ésta se encuentra en contacto con la atmósfera, es capaz de disolver CO₂ y adquirir un pH inferior a ese valor.

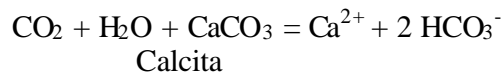
El valor del pH de muchas aguas naturales que interactúan con los minerales varía en un estrecho intervalo, por lo general entre 6 y 9, lo cual entre otras causas se debe a la gran distribución de las rocas carbonatadas y al carácter ácido-básico de las mismas, a través del sistema de equilibrios químicos que se establecen entre CO₂, HCO₃⁻ y CO₃²⁻

Algunos manantiales calientes de origen volcánico poseen una elevada acidez, por la presencia de ácido clorhídrico (HCl) y dióxido de sílice (SiO₂). Ácidos libres también pueden pasar al agua como resultado del vertimiento de aguas residuales.

El agua de las precipitaciones al pasar por la zona del suelo, donde es abundante el CO₂, adquiere un pH relativamente bajo, del orden de 4,5. Luego por interacción con las rocas carbonatadas éste tiende a elevarse hasta cerca de 7. Cuando esta interacción se produce durante un tiempo prolongado el agua incrementa su contenido de iones HCO₃⁻ y adquiere, además, iones CO₃²⁻. En esas condiciones el pH puede alcanzar un valor cercano a 8,4. Por lo general, en los arroyos y ríos de las regiones húmedas no cársicas el pH varía entre 5 y 6,5; mientras que en las regiones cársicas húmedas este valor suele estar comprendido entre 7 y 8. Las aguas marinas tienden a poseer un pH cercano a 8. Las aguas minerales pueden poseer valores de pH ácidos, neutros o básicos de acuerdo a las características hidrogeológicas presentes.

Equilibrio de los carbonatos

La disolución de los minerales constitutivos de las rocas carbonatadas comprende una serie de procesos físicos y químicos donde intervienen estados gaseosos, líquidos y sólidos a través de interfases aire-agua-roca y un sistema de equilibrios químicos. Para el caso de la calcita, éstos se pueden resumir de la manera siguiente:



Lo más común en la naturaleza es que este proceso ocurra en presencia de otros minerales, principalmente dolomita, yeso y halita.

Sistemas abierto y cerrado respecto al CO₂

Si en el proceso de disolución de los minerales carbonatados por las aguas naturales existe un suministro abundante de CO₂, que puede considerarse constante durante la reacción, éste procede rápidamente hasta la saturación. En este caso la reacción tiene lugar en condiciones de sistema abierto respecto al CO₂. Si por el contrario, la disolución de los carbonatos por las aguas naturales se produce en virtud del suministro inicial de CO₂, que luego no se repone en el transcurso de la reacción, ésta se produce en condiciones de sistema cerrado respecto al CO₂.

En la naturaleza tienden a primar, tanto las condiciones de disolución de los carbonatos en sistema abierto como cerrado, o más bien de tipo intermedio entre sistema abierto y cerrado.

Como ejemplos de disolución de carbonatos en la naturaleza, los cuales tienden a semejar las condiciones de sistema abierto se pueden citar:

1. Cuando el agua procedente de las precipitaciones se infiltra lentamente en un suelo de origen carbonatado con buen drenaje y abundantes oquedades aireadas, adquiere un elevado contenido de CO_2 y la difusión del gas en el agua se produce como si el suministro del mismo fuera constante. Si en esas condiciones el agua interactúa con rocas carbonatadas subyacentes, evoluciona adquiriendo un elevado contenido de Ca^{2+} , Mg^{2+} y HCO_3^- . En esas condiciones el pH se va incrementando a medida que avanza la disolución de los carbonatos hasta alcanzar un valor cercano a 8.
2. La disolución en lagos, presas y estanques, donde el CO_2 se toma directamente de la atmósfera y se utiliza por las aguas para disolver las paredes rocosas.

Como ejemplos de disolución de carbonatos en la naturaleza, los cuales tienden a producirse en condiciones de sistema cerrado respecto al CO_2 se pueden considerar los siguientes:

1. La disolución de las calizas en la zona de circulación profunda. A esta región pueden llegar las aguas subterráneas, con un contenido aún elevado de CO_2 . En esas condiciones, las aguas continúan disolviendo los carbonatos y otras rocas solubles sin el aporte de nuevos suministros de gas.
2. Cuando un agua procedente de las precipitaciones se pone en contacto con un determinado contenido de CO_2 en la zona del suelo, luego se infiltra a través de una cobertura de tipo fluvial y, por último avanza las secuencias carbonatadas. El agua en esas condiciones disuelve la roca y consume el CO_2 que originalmente adquirió en la zona del suelo, sin recibir apenas aportes nuevos de este gas.

Efecto de ion común y efecto salino

Cuando un agua natural pasa por un terreno donde existen minerales con iones comunes a los que ésta lleva disuelto en su seno, disminuye su capacidad para disolver esos minerales.

Si se compara la solubilidad de los minerales en agua pura con la de un agua que contiene iones no comunes al proceso de disolución de ese mineral, se demuestra que la salinidad incrementa la solubilidad del mismo. Esto se debe a que, como consecuencia del incremento de la concentración, aumenta la fuerza iónica y se produce una disminución del coeficiente de actividad. Este fenómeno se denomina efecto salino o de fuerza iónica.

Potencial de oxidación-reducción

Muchas reacciones químicas que tienen lugar en el medio acuático y en especial en el sistema de las aguas subterráneas, implica transferencia de electrones entre constituyentes disueltos, gases o sólidos. Como resultados de estas transferencias se producen cambios en los estados de oxidación-reducción de los reaccionantes y los productos.

Los elementos de valencia múltiples son susceptibles de intervenir en las reacciones de oxidación-reducción, mediante las cuales una molécula se reduce (oxidante) al tomar los electrones que le cede la otra (reductora), la cual se oxida. La reacción también es capaz de proceder en dirección contraria, de modo que este proceso se puede representar mediante la ecuación de equilibrio siguiente:



La fortaleza de una reacción de oxidación-reducción se mide por el potencial redox (Eh).

El potencial de oxidación-reducción se mide en voltios, a través de mili voltímetros de campo es posible obtener este valor en las aguas naturales.

Aunque las soluciones acuosas no contienen electrones libres, también es conveniente expresar el proceso de oxidación-reducción mediante un par redox, como si estas reacciones se produjeran por separado. Además, se suele utilizar la magnitud pE para describir la actividad relativa de los electrones. Por definición:

$$pE = - \log (e)$$

El pE es una magnitud adimensional análoga a la expresión pH, utilizada para describir la actividad del protón o ion hidrógeno. El pE de una solución mide su tendencia oxidante o reductora.

Intercambio iónico y adsorción

Los materiales geológicos porosos están compuestos de un porcentaje apreciable de partículas de tamaño coloidal que tienen la capacidad de intercambiar iones adsorbidos en su superficie.

Como resultado del proceso de intemperismo de las rocas por los agentes exógenos se originan los suelos, constituidos por minerales de tipo arcilloso. Estos minerales se subdividen en cinco grupos: caolinita, montmorillonita, illita, clorita y vermiculita; los cuales se caracterizan por presentar tamaños de partículas del orden de los coloides, que originan procesos de intercambio iónico entre las arcillas de la zona del suelo y las aguas que discurren a través de las mismas.

Bibliografía

- Álvarez E., I. Vinardell, J.R. Fagundo y otros. "Evolución química y relaciones empíricas en aguas naturales". II- Sistema automatizado para el monitoreo de la aguas, Voluntad Hidráulica, 83: 15-25, 1990.
- Bakalowicz M. "Contribution de la Geochimie des eaux a la connaissance e l'aquifere karstique et de la karstification", These D. Univ. Pierre et Marie Curie, Paris, pp. 269, 1979.
- Fagundo J.R., J.J. Valdés , J.M. Pajón y J.J. Rodríguez. "Comportamiento químico-físico de las aguas de la cuenca del río Cuyaguaje", Ingeniería Hidráulica, 2 (3): 251-274, 1981.
- Fagundo. J.R. "Caracterización de acuíferos mediante relaciones entre contenidos iónicos y parámetros químico físicos", Revista CENIC Ciencias Químicas, 16 (2): 321-236, 1985.
- Fagundo J.R., J.J. Valdés, J.J. Rodríguez y otros. "Estudio preliminar sobre el proceso de denudación cársica en el polígono cubano-polaco del Pan de Guajaibón", Voluntad Hidráulica, 70/71: 11-15, 1986.
- Fagundo J.R. y J.J. Pajón. "Contribución al estudio de las relaciones lineales entre contenidos iónicos y parámetros químico-físicos. Efecto de la litología", Ingeniería Hidráulica, 6 (1): 12-29, 1987.
- Fagundo J.R. "Evolución química y relaciones empíricas en aguas naturales. Efecto de los factores geológicos, hidrogeológicos y ambientales", Hidrogeología, 5: 33-46, 1990a.
- Fagundo J.R. "Evolución química y relaciones empíricas en aguas naturales. 1- Estudio mediante simulación química del efecto de la litología", Voluntad Hidráulica, 82: 28-37, 1990b.

- Fagundo, J. R. (1996). "Química del agua kárstica en": Hidroquímica del Karst. Ed. OSUNA, Universidad de Granada (España), 13-212.
- Fagundo J.R., J.E. Rodríguez, V. Ferrera y P. González. "Geoquímica de acuíferos cársicos de la Sierra del Rosario, Pinar del Río, Cuba". En: Investigaciones Hidrogeológicas en Cuba. Ed. D.M. Arellano, M.A. Gómez-Martín e I. Antigüedad, Ed. Univ. del País Vasco, 135-149, 1997.
- Fagundo, J.R. (1998), "Patrones hidrogeoquímicos y relaciones matemáticas en aguas naturales". Ingeniería Hidráulica. La Habana (Cuba). Vol XIX (2): 62-79.
- Freeze R.A. and J.A. Cherry. Groundwater. Ed. Prentice-Hall, Englewood, Cliffs, Nueva York, pp. 604, 1980.
- Paces T.: "Kinetics of water systems", Geological Survey of Praga, pp. 85-108, 1980.
- Picknett R.G. "The pH of calcite solutions with and without magnesium present, and the implications with regards to rejuvenated aggressiveness", Trans. Cave. Res. Group G. Brit. 14: 141-149, 1972.
- Shuster E.T. and W.B. White. "Seasonal fluctuation in chemistry of limestone spring: a possible mean for characterising carbonate aquifers", J. Hydrology, 14: 93-128, 1971.
- Stiff, H.H. (1951), "The interpretation of chemical water analysis by means of patterns". Jour. Petroleum Technology (USA), 3 (10): 15-17.
- Tillán G., I. Vinardell, J.R. Fagundo, V. Ferrera, P. González y L. Sánchez. "SACAN: sistema automatizado para la caracterización de aguas naturales". En: Contribución a la Hidrogeología y el Medio Ambiente. Ed. J.R. Fagundo, D. Pérez Franco, J.M. García, A. Álvarez Nodarse, I. Morell, 113-121, 1996.
- Wigley T.M.L. "The incongruent solution of dolomite, Geochim. Cosmochim". Acta, 73: 1 397-1 402, 1973 a.
- Wigley T.M.L. "Chemical evolution of the system calcite-gypsum-water", Can. J. Earth Sci., 10 (2): 306-315, 1973 b.
- Yusa, Y. (1955). "Changes in the hydrothermal system of Beppu (Japan) due to exploitation". Publicaciones News Actualités No. 4, International Society of Hydrothermal Technics. Bad Driburg (Alemania), 22-24.

Peloides

Luis Sánchez Rodríguez, Juan Reynerio Fagundo Castillo

Vicedirección de Termalismo

Centro Nacional de Medicina Natural y Tradicional

Peloides

Concepto

El empleo de sedimentos con fines terapéuticos se remonta a la más lejana antigüedad. Las propiedades curativas de estos productos naturales no debieron pasar inadvertidos al hombre primitivo que en continua relación con la naturaleza, tomaba de ella todo lo que contribuía a mejorar sus condiciones de vida. Ya en tiempos recogidos por la historia se describe, en papiros de la duodécima dinastía egipcia, la utilización de los barros de las márgenes del Río Nilo; como remedio curativo en aplicaciones sobre el cuerpo y exponiéndolo al sol.

En épocas más recientes, Plinio el Viejo utilizaba sedimentos marinos y de ríos calentándolos para su uso. Galeno recomendaba las fricciones con arcilla tibia para el tratamiento de inflamaciones. Juan de Dondis, en 1370 sugería la aplicación de barro sobre los miembros que presentaran afecciones subcutáneas. Miguel de Savonarola preconizaba fricciones con barro para mejorar los problemas articulares y Margarita de Valois describía en su libro Heptameron, los baños de barro aplicados en el balneario de Canterest a principios del siglo XVI.

Sin embargo, el concepto de peloide es relativamente moderno, ya que fue en 1933 que el Comité Internacional de Medidas aceptó este término general para los sedimentos naturales de uso terapéutico, y la Sociedad Internacional de Hidrología Médica en 1949 lo definió como: los productos naturales consistentes en la mezcla de un agua mineral, comprendida el agua de mar y la de los lagos salado, con materia orgánica o inorgánica, resultantes de procesos geológicos o biológicos, o a la vez geológicos y biológicos, utilizados en terapéutica en forma de aplicaciones locales o baños.

Propiedades físico-químicas

Desde el punto de vista físico-químico se puede considerar un peloide como un sistema, entendiéndose por tal, la porción específica de materia que contiene cantidades definidas de una o más sustancias dadas, ordenadas en una o más fases.

Este sistema resulta heterogéneo por estar compuesto por fases sólidas y líquidas, aclarando que se utiliza aquí el concepto de fase como el de cualquier parte homogénea y físicamente distinta de un sistema, separada de las otras partes del mismo por superficies límites definidas.

En el sistema heterogéneo que forma un peloide están presentes fases sólidas de origen orgánico e inorgánico y una fase líquida formada por una solución de solutos orgánicos e inorgánicos cuyo disolvente y principal componente del sistema es el agua considerada como especie química y de la cual ya se ha hecho referencia. En este caso, dadas sus peculiares características que se reflejan en sus propiedades físico-químicas, le proporciona a los peloides sus cualidades más notables,

actuando las sustancias sólidas como modificadoras o coadyuvantes para conseguir una aplicación determinada

La fase sólida orgánica tiene su origen en los restos animales y vegetales transformados etapas, biodegradando la lignina, la celulosa y las proteínas. Mediante este mecanismo por la meso fauna y los microorganismos del suelo, que llevan la descomposición a las últimas se liberan en condiciones normales de aireación CO_2 , H_2O , NH_4^+ y sales minerales. Este proceso se le denomina mineralización.

Además, existe una pequeña proporción de materia orgánica que permanece estable frente a los microorganismos y que se engloban bajo la denominación genérica de sustancias húmicas o humus.

La mayor parte de la materia orgánica en los peloides se encuentra asociada en un complejo arcillohúmico, donde se plantea que la unión se realiza por mecanismos físicos de adsorción sobre óxidos hidratados, o mediante enlaces de tipo químico.

En la fase sólida inorgánica se destaca como componente normalmente mayoritario a la arcilla, la cual presenta como sus principales propiedades físico-químicas la capacidad de retención de agua, la plasticidad y la capacidad de intercambio iónico, todo lo cual le confiere al peloide, algunas de sus propiedades en su aplicación terapéutica, pues la combinación en este caso de agua mineromedicinal con una fase sólida de peculiares características lo hace un material en alto grado especial, ya que a este producto natural se le atribuyen efectos mecánicos, térmicos y químicos que están dados precisamente por la combinación de estas fases en un producto único

El análisis químico completo de un peloide es un desafío para cualquier analista teniendo en cuenta que están presentes fases sólidas y líquidas complejas, y que no sólo es necesario conocer la composición de las mismas, sino que en este caso además se hace importante, dada las aplicaciones terapéuticas, determinar otras propiedades físico-mecánicas de interés práctico para precisar la calidad y poder comparar las fuentes o yacimientos de este recurso natural

A continuación se presentan las principales características de los diferentes tipos de peloides, según aparecen resumidas en San Martín (1994).

Tabla 1. Características físicas de los peloides

Denominación	Componentes			
	Sólido	Líquido	Temperatura	Maduración
Fangos o lodos	mineral	Sulfuradas Sulfuradas Cloruradas	Hipertermal Meso termal Hipotermal	In situ En tanques
limos	mineral	Agua de mar o lago salado	Hipotermal	In situ
turbas	Orgánico	Alcalinas Sulfuradas Agua de mar	Hipertermal Meso termal Hipotermal	Aire libre Recinto cerrado
Biogleas (tipo baregina) o Muffe	Orgánico	Sulfuradas	Hipertermal	In situ
Otras biogleas	Orgánico	No sulfuradas	Hipertermal Mesotermal Hipotermal	In situ
Sapropeli	Mixto	Alcalinas Sulfuradas	Hipotermal	In situ

Requisitos de calidad

Para la explotación de los peloides con fines terapéuticos es necesario que los mismos cumplan con determinados requisitos físicos y fisicoquímicos.

En la Norma Cubana de Peloides (NC XX- 1998) se establecen los requerimientos físicos de calidad (Tab. 2).

Tabla 2. Requerimientos físicos de calidad de los peloides según la NC XX- 1998

Aspecto	Masa compacta más o menos homogénea según sea su complejo coloidal hidrófilo que favorece la mezcla de los componentes sólidos y líquidos
Color	Variable, dependiente de la composición y, en gran parte, del contenido en sulfuro de hierro.
Olor	Variable por la mayor o menor riqueza en sulfuro de hidrógeno, ya que a falta de este componente pueden existir o no otros olores.
Sabor	Salado, amargo, alcalino, metálico o estíptico y otros, dependiendo esencialmente del componente líquido del peloide.
Plasticidad y adhesividad	Capacidad de adaptación a las partes del cuerpo humano a aplicar, por el carácter coloidal e inversa al contenido acuoso.

En la Norma Cubana de Peloides (NC XX- 1998) se establecen los requerimientos físico - químicos de calidad que se especifican en la tabla 3.

Tabla 3. Requerimientos físico - químicos de calidad que establece la NC XX- 1998

a) Para fangos y limos	
Componente sólidos	
pH	6-8
Potencial Redox (mv)	< - 100
Humedad (%)	40-70
Masa relativa (g/kg)	1,2-1,6
Impurezas mecánicas (%) (fracción de 0.25mm)	< 10
Contenido de H ₂ S (g/kg)	> 0,5
Componente líquido	
Mineralización (g/l)	> 12
Sulfato (g/l)	> 1
Cloruro (g/l)	> 6
Calcio (g/l)	> 0,1
Magnesio (g/l)	> 0,5
Sodio (g/l)	10
Potasio (g/l)	0,1
b) Para turba	
Componente sólidos	
pH	< 6
Humedad (%)	> 65
Componente orgánico (%)	> 20
Impurezas mecánicas (fracción de 0.25mm)	> 10
Contenido de ácido húmico	

Contaminantes

La presencia de los siguientes contaminantes no deberá ser discernible en los peloides, para su aplicación en Pelo terapia: mercurio, níquel, cromo, cobre, manganeso, zinc, plomo, arsénico, selenio, vanadio, berilio y nitritos.

Requisitos microbiológicos

En la tabla 4 se muestran los requisitos higiénico sanitarios que establece la Norma Cubana para peloides y las aguas asociados a estos para su aplicación terapéutica

Tabla 4. Requerimientos microbiológicos establecidos en la NC XX- 1998

Para las muestras de los peloides	
Coliformes fecales	< 0,2 NMP/gps
Estreptococos fecales	< 0,2 NMP/gps
Clostridium perfringens	< 0,2 NMP/gps
Pseudomonas aeruginosa	ausencia
Staphylococcus aureus	ausencia
Salmonella	ausencia
Conteo de mohos y levaduras	< 10 UFC/g
Para las muestras de agua	
Coliformes fecales	< 2 NMP/100 ml
Estreptococos fecales	< 2 NMP/100 ml
Clostridium perfringens	< 3 NMP/100 ml
Pseudomonas aeuroginosa	< 2 NMP/100 ml

Bibliografía.

- San Martín, J. "Peloides en general Características físicas, efectos biológicos e indicaciones terapéuticas En: Curas Balnearias y Climáticas, Talasoterapia y Helioterapia. Ed. Editorial, Complutense (Madrid, España) 313-331, 1994.
- NC: XX- 1998. Norma Cubana. Peloides. Especificaciones. Oficina Nacional de Normalización (NC), 9 pp, 19998.

Análisis químico y calidad de las aguas minerales

Luis Sánchez Rodríguez, Juan Reynerio Fagundo. Patricia González, Margaret Suárez.

Vicedirección de Termalismo

Centro Nacional de Medicina Natural y Tradicional

Principios generales de los análisis químicos de las aguas

La determinación de las propiedades químico-físicas de un agua natural o mineral, constituye una herramienta imprescindible para los hidrólogos, hidrogeólogos, carsólogos, geomorfólogos, ingenieros sanitarios y otros especialistas relacionados con el agua.

La primera fase de todo trabajo hidrogeoquímico, comprende el estudio bibliográfico y visitas de reconocimiento en el área objeto de estudio. En esta etapa también se toman muestras, las cuales se analizan con fines de orientación.

Para la aplicación de los métodos hidrogeoquímicos en el estudio de la disolución hídrica, es necesario tomar en cuenta el balance hídrico y parámetros geoquímicos que caractericen a cada sistema, relacionando el volumen de infiltración y circulación del agua con la composición química de la misma en el área de descarga del acuífero. Con ese objetivo, en la segunda fase del trabajo se seleccionan los puntos o estaciones de observación sistemática y se instalan los equipos de registro o medición necesarios para el control de las precipitaciones, los caudales y el quimismo de las aguas.

La composición química de las aguas meteóricas está controlada por los equilibrios químicos de los carbonatos y varía al cabo del tiempo. Por esta razón, los análisis químicos y las mediciones de pH, así como la conductividad eléctrica deben hacerse “in situ”. En muchos países, lamentablemente se acostumbra a hacer los análisis y mediciones en el laboratorio, muchas veces hasta semanas después de tomada la muestra, cuando éstas en la práctica, carecen de valor para interpretar los fenómenos de la naturaleza.

En el caso de las aguas minerales, estos equilibrios químicos son más sensibles, de ahí que debido a la mala manipulación de las muestras, se produzcan cambios en el estado de los equilibrios y la composición química que se obtiene en el laboratorio, en muchas ocasiones, dista mucho de la que posee realmente el agua en la fuente mineromedicinal.

Otra práctica inadecuada consiste en tomar la muestra dejando una cámara de aire, lo cual favorece el escape del CO₂ y el H₂S disueltos en el agua hacia la fase gaseosa, donde estos gases son más solubles. Esto da lugar a la recombinación de iones y a la precipitación de minerales (con disminución en la conductividad eléctrica) y al aumento del pH.

Los cambios en la composición química de las muestras resultan usualmente de la pérdida de CO₂, pérdida de calcio por precipitación de CaCO₃, oxidación de H₂S a sulfato (SO₄²⁻), precipitación de dióxido de silicio (SiO₂) en forma de cuarzo o calcedonia; así como oxidación y precipitación de hierro y manganeso.

Entre los componentes que prácticamente no se afectan por el almacenamiento de la muestra se encuentran el sulfato (siempre que no haya H₂S pues es ese caso éste, al oxidarse, incrementaría el contenido de SO₄²⁻), litio, sodio, potasio, fluoruro, bromuro, yoduro y boro. Otros micro constituyentes, sin embargo, tienden al cabo del tiempo a adherirse a las paredes del frasco acusando una concentración menor a la real. Por tal razón se suele preservar parte de la muestra, mediante tratamiento con un ácido mineral como el ácido nítrico y conservación en frío antes de enviar al laboratorio.

La precisión de los análisis químicos se controla mediante diferentes métodos, entre éstos la diferencia entre aniones y cationes que no debe exceder de un cierto valor. También se suele emplear la ecuación de balance:

$$e = \frac{\text{Suma de cationes} - \text{Suma de aniones}}{\text{Suma de cationes} + \text{Suma de aniones}} \cdot 200$$

donde, e: Error, en %.

En aquellos casos en que el error calculado por la ecuación anterior sea superior al 10 %, se debe repetir el análisis o desechar la muestra.

Otro método útil para calcular el error del análisis consiste en la comparación entre la conductividad eléctrica real y la teórica, calculada mediante la ecuación:

$$\log CE_T = \log CiSi - 0,03 \log Ci$$

donde, CE_T: Conductividad eléctrica teórica a 25 °C.

Si: Conductividad específica equivalente de cada ion i a dilución infinita y 25 °C.

Ci: Concentración de cada ion i, en mili equivalente por litro (meq/l).

Para calcular el error del análisis se puede emplear la fórmula:

$$e = \frac{CE_T - CE_R}{CE_R} \cdot 100$$

donde:

CE_R: Conductividad eléctrica real a 25 °C.

Las determinaciones se consideran precisas cuando el porcentaje de error es menor de 5. En el caso de los análisis de campo, no se conocen los contenidos de los iones Na⁺ y K⁺, se calcula por diferencia entre los aniones y el resto de los cationes, y se puede tomar Na⁺ + K⁺ = Na⁺, teniendo en cuenta que en las aguas naturales Na⁺ >> K⁺.

Hoy día, también se incluyen en las marchas analíticas aquellos indicadores de la actividad del hombre en el medio ambiente, especialmente los componentes de los ciclos del nitrógeno (NH₄⁺, NO₃⁻, NO₂⁻) y el fósforo (ortofosfato y fosfato total); la demanda química de oxígeno (DQO) y otras técnicas empleadas en la caracterización de aguas residuales.

Otros métodos de medición empleados en los estudios hidroquímicos son los llevados a cabo con equipos electrónicos portátiles o sistemas automatizados de registro o adquisición de datos, que

miden uno o varios indicadores como: temperatura, pH, conductividad eléctrica, potencial redox, oxígeno disuelto; así como algunos iones mediante sensores y electrodos selectivos.

Análisis químico de las aguas minerales

El análisis de un agua mineromedicinal tiene que incluir necesariamente, los valores cuantitativos de los parámetros físico-químicos y la concentración de las sustancias presentes, magnitudes necesarias para poder clasificarla inequívocamente en un grupo definido (Armijo-Castro, 1994a).

Es por esto que se debe realizar un correcto análisis de los componentes de dichas aguas teniendo en cuenta primeramente una adecuada toma de muestra (se deben tomar entre 2 y 2.5 l y las mismas deben llevarse rápidamente al laboratorio para que se inicien los exámenes en las primeras veinticuatro horas después de la toma) y finalmente la utilización de una técnica analítica apropiada.

El análisis cuantitativo se compone de:

1. Determinaciones organolépticas: color, olor, sabor, turbidez.
2. Determinaciones físico-químicas en la fuente: conductividad, pH, potencial redox, temperatura.
3. Determinación de sustancias ionizadas:
 - ✍ Elementos mayoritarios indispensables: cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos, calcio, magnesio, sodio.
 - ✍ Otros elementos mayoritarios: nitratos, potasio.
 - ✍ Elementos traza: hierro, litio, fluoruros, azufre reducido (sulfuros y sulfhidratos).
4. Determinación de gases: anhídrido carbónico, sulfuro de hidrógeno y oxígeno disuelto.
5. Determinación de elementos no ionizados: sílice.
6. Determinaciones auxiliares: residuo seco, dureza, alcalinidad, acidez.
7. Determinación, de ser necesario, de la radioactividad.

Las técnicas más utilizadas para realizar estos análisis son:

A) Análisis gravimétrico:

En este análisis el elemento, radical o compuesto que se desea determinar, se aísla del resto de los constituyentes en forma de un compuesto poco soluble de composición definida, que se separa, por filtración, determinándose el peso de la sustancia aislada o de algún derivado formado por la calcinación. La exactitud de un análisis gravimétrico depende de la insolubilidad del precipitado, de la calidad de las técnicas de separación y de la pureza del precipitado.

B) Análisis volumétrico:

En este tipo de análisis cuantitativo, una disolución valorada reacciona directa o indirectamente con la sustancia que se trata de determinar. Como resulta fácil la medida de un volumen de líquido, los métodos volumétricos son más sencillos y rápidos y permiten trabajar con muestras más pequeñas. Las reacciones del análisis volumétrico deben ser de oxidación-reducción, neutralización, precipitación o formación de complejos y además

deben ser cuantitativas, estequiométricas, rápidas y con un procedimiento fácil de manifestar el punto de equivalencia.

C) Conductimetría:

En este tipo de volumetrías se miden las variaciones de la conductividad de la disolución a valorar, como función del volumen de reactivo añadido.

D) Potenciometrías:

Una potenciometría es una volumetría en la que el punto de equivalencia se determina por medio de una medida de potenciales.

Las volumetrías en las que se produce un cambio capaz de traducirse en una variación del potencial de la disolución pueden realizarse por vía potenciométrica, utilizando un electrodo de referencia como potencial patrón y un electrodo indicador para captar el potencial de la disolución. La exactitud de las potenciometrías depende principalmente de la calidad de los dos tipos de electrodos.

E) Nefelometría:

La nefelometría se basa en medir la intensidad de la luz dispersada cuando un haz luminoso atraviesa un sistema disperso que contiene partículas de pequeño tamaño. La nefelometría se utiliza en la determinación de sustancias susceptibles de formar suspensiones estables y con partículas de tamaño parecido.

F) Espectrofotometría:

La espectrofotometría, también llamada absorciometría o colorimetría, consiste en determinar la absorción que sufre un rayo luminoso al atravesar una disolución o un gas. Comprende los métodos que se refieren a la medida de la absorción de la luz ordinaria y de la ultravioleta; donde de la intensidad de la absorción producida se deduce la concentración de la disolución.

Estos métodos se aplican a la determinación de compuestos coloreados o incoloros, cuando estos últimos se convierten en coloreados por reacción con un reactivo adecuado.

G) Espectrometría de llama:

Esta técnica está basada en que al colocar en una llama una solución, el agua se evapora disociándose los solutos en forma de átomos o radicales. Estos productos excitados por aporte energético de la llama, emiten una radiación de frecuencia característica, al retornar al estado fundamental. La intensidad de la radiación emitida es proporcional a la concentración del elemento en la solución.

La determinación suele realizarse mediante lectura directa de las soluciones del agua problema, comparada con una curva de calibración calculada con tres o cuatro soluciones patrón. El método es sólo aplicable a ciertos cationes.

H) Espectrofotometría de absorción atómica:

Cuando los átomos de un cierto elemento se excitan por la acción de la energía que les proporciona una llama, de manera semejante a lo que ocurre con la fotometría de llama, los mismos pueden absorber una radiación de frecuencia bien definida y propia del elemento.

Este elemento, dispersado en forma de vapor de llama, de manera que sus átomos estén disociados, absorbe una radiación incidente de manera proporcional a la concentración del elemento en la muestra.

D) Electrodo selectivos:

Los electrodos selectivos para iones constituyen la base de una técnica analítica que proporciona mediciones directas, tanto de cationes como de aniones, así como de ciertos gases en disolución como el anhídrido carbónico, el oxígeno o el amoníaco.

El fundamento de esta técnica se basa en que la diferencia de potencial existente entre un electrodo selectivo y un electrodo de referencia colocados en una solución diluida es una función de la concentración de los iones correspondientes al electrodo específico.

J) Cromatografía iónica:

La cromatografía iónica es un método físico de separación en la que los componentes de una mezcla se distribuyen entre dos fases, una de las cuales constituye una fase estacionaria de gran desarrollo superficial y la otra es un fluido (fase móvil) que pasa a través o a lo largo del lecho estacionario.

En la cromatografía iónica se utilizan resinas de intercambio iónico como fases estacionarias, en las que los iones se separan sobre la base a sus afinidades relativas en relación con el intercambiador, siendo detectadas a la salida de la columna por un sistema de detección adecuado, normalmente el de conductividad con supresión de eluyente. La fase estacionaria se dispone dentro de una columna de relleno añadiéndose la fase móvil mediante una bomba. La migración de los componentes se va produciendo hasta que éstos emergen ya separados de la fase estacionaria.

Representación gráfica de la composición química de las aguas minerales

La representación gráfica de los datos hidroquímicos constituye una herramienta de trabajo muy eficiente en la interpretación de las propiedades de un agua, así como para hacer comparaciones. También permite ver con facilidad el comportamiento y evolución de un agua en un territorio determinado y a través del tiempo (Fagundo, 1996).

Para la representación gráfica de los análisis de las aguas mineromedicinales son muchos los métodos propuestos, pero ninguno alcanza el ideal de expresar de manera clara y rotunda la mineralización total y la concentración porcentual en mili equivalentes de los diferentes iones, parámetros indispensables para clasificar un agua (Armijo-Castro, 1994b).

Entre los métodos gráficos más utilizados se destacan los siguientes: diagrama de barra, diagrama circular, diagrama de Stiff, diagrama triangular, diagrama vertical.

Los diagramas de barras o de columna se han empleado ampliamente por su sencillez. La composición química se puede expresar en mg/l, meq/l o % meq/l. La forma más común consiste en presentar en la columna de la derecha los tantos por ciento de los mili equivalentes de aniones en el orden Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- de arriba hacia abajo y en la columna de la izquierda, Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} .

El diagrama circular expresa la composición mediante un círculo, cuyos ángulos son proporcionales a las concentraciones y sus radios o diámetros al total de sólidos disueltos, mientras que la suma de los aniones y de los cationes es igual a 180° . Constituye uno de los métodos más útiles para expresar la composición química en el mapa de una zona.

El diagrama de Stiff emplea un sistema de ejes horizontales paralelos y un eje vertical. En cada uno de estos se coloca un ion determinado. Una forma adecuada consiste en colocar en los ejes de la izquierda las concentraciones (meq/l) de los iones $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Ca^{2+} y Mg^{2+} de arriba hacia abajo y, en el mismo orden, en los ejes de la derecha, los iones Cl^- , $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$, así como SO_4^{2-} .

Este método permite apreciar y comparar en forma rápida los diferentes tipos de agua, cuando éstas se encuentran en cantidades limitadas. Es especialmente útil cuando se quieren apreciar cambios en el comportamiento de un agua en determinado tiempo, por características climáticas, hidrogeológicas o efectos antrópicos.

Los mapas hidrogeoquímicos ofrecen una valiosa información sobre las relaciones existentes entre el quimismo de las aguas y las condiciones geológicas, así como físico-geográficas, cuando se superponen en el mismo, la litología presente, la red de drenaje y los diagramas (circulares o de Stiff) con la composición química de las aguas.

Otro método gráfico utilizado para la representación de la composición química de un agua es el de tipo triangular. El más sencillo consiste en el empleo de dos triángulos equiláteros, uno para los aniones y otro para los cationes, donde cada vértice representa 100 % de un ion particular. Schoeller ha propuesto el uso de un triángulo único, en el cual sobre los ejes se representa la concentración (% meq/l) de Cl^- y Na^+ ; $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ y Ca^{2+} ; SO_4^{2-} y Mg^{2+} . Las concentraciones aniónicas determinan un punto y las catiónicas otro. El agua queda definida por el eje que une ambos puntos.

Los diagramas triangulares de Hill y Piper tienen como ventaja en relación a los anteriores, que permiten representar un gran número de muestras en un sólo gráfico. En éstos, los triángulos de aniones y cationes ocupan los ángulos inferiores izquierdo y derecho con sus bases alineadas. La parte central del diagrama posee forma de rombo y sobre éste se proyectan los puntos de cada uno de los triángulos por medio de una recta paralela al borde superior del rombo. La intersección de estas dos rectas representa la composición del agua con respecto a una determinada agrupación de aniones y cationes.

Se debe destacar las posibilidades que ofrecen los diagramas de tipo vertical en la representación gráfica de la composición química de un grupo numeroso de muestras. En estos diagramas se coloca en el eje de ordenadas la concentración (en mg/l, meq/L o % meq/L) y en el eje de las abscisas los distintos iones presentes. El más usado de estos es la variante propuesta por Schoeller, en la cual la composición química se expresa en unidades logarítmicas.

Recientemente se ha propuesto por Defrancesco (1991) un tipo de diagrama circular en el cual se representa en una escala logarítmica tanto macro como micro constituyentes y en la misma gráfica se representa la composición de la muestra estudiada y la del patrón de agua potable, mineral o de bebida envasada según la norma correspondiente (Tillán et. al, 1996).

Bibliografía

Armijo-Castro F. (1994a). "Análisis y técnicas analíticas de las aguas mineromedicinales". En: Curas Balnearias y Climáticas. Talasoterapia y Helioterapia, Ed. Complutense, Madrid, 119-129.

Armijo-Castro F. (1994b). "Expresión de resultados del análisis de aguas mineromedicinales. En: Curas Balnearias y Climáticas. Talasoterapia y Helioterapia", Ed. Complutense, Madrid, 133-139.

Defrancesco F. (1991). "Aqua. Appunti introduttivi alla scienza, alla tecnica, alla difesa delle acque naturali". Ed. TEMI, Trento (Italia), 187 Págs.

Dioxian Y. "Some characteristic of groundwater protection in karst area", 19 th Congress of Int. Association of Hydrologists, 19 (2) 135-142, 1987.

Expósito J.L. y R. Barea. "Resultados obtenidos en el cálculo de zona de protección sanitaria alrededor del pozo *Lobatón* sobre la base de métodos geofísicos". En: Libro Resumen XXIX Congreso de la Sociedad Internacional de Técnicas Hidrotermales, La Habana, 1993, 69, 1993.

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

Fritz F. and A. Pavicic. Hydrogeological aspect of protection of the karst spring Jadro in Croatia, 19 th Congress of Int. Association of Hydrologists, 19 (2): 161-167, 1987.

García J.M. y O. Beato. Muestreo de las Aguas. Recomendaciones Técnicas Generales, Ed. Inst. Hidroeconomía, La Habana, pp. 25, 1979.

García J.M. "El control de la contaminación de las aguas: monitoreo y estudios intensivos", Tesis C. Dr. Ciencias Técnicas, Ciudad de La Habana, pp. 116, 1988.

González A. y S. Jiménez. "La protección sanitaria a los acuíferos cársicos cubanos: un problema actual". I Parte, Voluntad Hidráulica, 77: 3-18, 1988.

Iraola S. y R. Lugo. "Diferentes modelos matemáticos para el cálculo de las zonas de protección sanitaria". En: Libro Resumen XXIX Congreso de la Sociedad Internacional de Técnicas Hidrotermales, La Habana, 1993, 69, 1993.

Kullman E. "Protection of groundwaters in fissure karst rock environments", 19 th Congress of Int. Association of Hydrologists, 19 (2) 234-239, 1987.

Ruz Pina I., M. Campo Cordero y H. González. "Protección de los yacimientos de aguas mineromedicinales y de mesa. Experiencia en Cuba". En: Libro Resumen XXIX Congreso de la Sociedad Internacional de Técnicas Hidrotermales, La Habana, 1993, 61, 1993.

Tillán G., I. Vinardell, J.R. Fagundo, V. Ferrera, P. González y L. Sánchez. "SACAN: sistema automatizado para la caracterización de aguas naturales". En: Contribución a la Hidrogeología y el Medio Ambiente. Ed. J.R. Fagundo, D. Pérez Franco, J.M. García, A. Alvarez Nodarse, I. Morell, 113-121, 1996.

Papel del agua mineral en el organismo y características terapéuticas de las aguas minerales.

Margaret Suárez Muñoz, Juan Reynerio Fagundo Castillo

Vicedirección de Termalismo

Centro Nacional de Medicina Natural y Tradicional

Importancia del agua como alimento y como fármaco

El agua es imprescindible para la vida, siendo el componente inorgánico más abundante de los seres vivos. En el hombre llega a constituir más del 60 % del peso corporal, y en algunos animales, como por ejemplo la medusa, el 98 %. Sin el agua no es posible la realización de los procesos metabólicos de las células.

El agua interviene químicamente en estos procesos y fuera de las células, actúa como medio de transporte en la circulación sanguínea. Constituye además uno de los elementos que regulan la temperatura del cuerpo. La evaporación del agua juega el papel más importante para disipar el calor corporal.

El agua constituye el vehículo que relaciona entre sí, todos los tejidos y las diferentes partes del organismo. El agua transporta directamente o en suspensión las sustancias que el organismo asimila y acumula, y sus propiedades físicas y químicas son responsables de su acción bioquímica como fármaco y como alimento.

Balance del agua en el organismo

Las reservas de agua del organismo son relativamente escasas y es necesario una compensación entre el agua ingerida en los alimentos (líquidos y sólidos) y el agua aportada por los procesos bioquímicos de oxidación-reducción (a través de la cadena de respiración y otros), y entre el agua eliminada del organismo por la orina y las heces. En la siguiente tabla se ilustra este balance hídrico.

	Ingresos (ml/kg)			Egresos (ml/kg)	
Tipo	Obligatorios	Facultativos	Lugar	Obligatorios	Facultativos
Líquidos	650	1000	Orina	500	1000
Sólidos	650		Piel	500	
Agua de oxidación	300		Pulmones	400	
			Heces	150	
Totales	1550	1000		1550	1000
Total General		1250			1250

La eliminación diaria de orina es de unos 1500 ml, de los cuales 500 ml son obligatorios (mínimo de agua con la cual el riñón puede excretar la carga de soluto diaria). El resto es variable y depende de la disponibilidad de agua.

En condiciones normales, por respiración se pierden 900 ml de agua (12 ml/kg de peso corporal): de ellos 500 ml por la piel y 400 por los pulmones, ambos como vapor de agua. Por heces fecales la pérdida diaria es mínima, unos 150 ml.

Para mantener el balance hídrico, la pérdida básica de agua diaria (2500 ml) se debe compensar a partir del suministro de agua pura y de los alimentos. La regulación de este equilibrio se consigue en el organismo, en lo esencial, gracias a dos sistemas de regulación: la sensación de sed, que insita a ingerir más líquido y la actividad renal, que elimina agua en forma de orina.

Distribución del agua en el cuerpo

Para estudiar el agua y las sustancias en el organismo es preciso distinguir tres grandes espacios: el espacio intracelular, es decir, la totalidad de líquido interior de las células; el espacio extracelular, que a su vez se subdivide en agua del plasma sanguíneo y el líquido intersticial; y finalmente, el espacio transcelular, que es limitado por el tracto digestivo (ver tabla)

Distribución del agua en el cuerpo

Agua Total	Agua intracelular (40 %)
del cuerpo	Plasma sanguíneo (4%)
(60%)	Agua extracelular
	Agua intersticial (16 %)

Entre estos distintos espacios no existe una diferencia rigurosa y una cantidad considerable de líquido es desplazado de un lugar a otro.

El agua del cuerpo no se encuentra como agua pura, sino que están disueltos en ella una serie de sustancias: unas de carácter orgánico como glucosa y aminoácidos (principales nutrientes), y otras inorgánicas como cloruro, bicarbonato y sodio. Las primeras están constituidas por moléculas y las segundas por iones (electrolitos) disociados.

El paso del solvente a través de las membranas del organismo está regulado por las propiedades osmóticas: cuando el agua se encuentra más mineralizada, el soluto obstaculiza la tendencia del solvente a penetrar a través de la membrana.

Siguiendo las leyes de la difusión de los líquidos, las partículas se mueven en forma espontánea de uno a otro lugar del cuerpo humano, desde regiones de mayor concentración a otras de menor concentración, cuando las membranas son permeables a los solutos. Esto ocurre con las moléculas orgánicas que se difunden espontáneamente a través de las membranas del organismo. El movimiento de las partículas contrario a la difusión, esto es, desde regiones de menor concentración a regiones de mayor concentración, se denomina transporte activo y requiere un suministro de energía adicional.

Las membranas celulares, tanto en los animales como en los vegetales, son membranas semipermeables y juegan un papel de extraordinaria importancia en la nutrición.

Algunas membranas como el endotelio vascular, es permeable a prácticamente todos los electrolitos, por lo cual estos pasan libremente del plasma al intersticio extracelular. No sucede lo

mismo con la membrana celular, que es impermeable a los electrolitos, y sólo mediante un transporte activo pueden ser atravesados por estos.

Metabolismo mineral

El metabolismo de los iones se denomina también metabolismo mineral, se diferencia del de otras sustancias como los carbohidratos, proteínas y grasas, en que aquellos no se consumen en el organismo, pero sí se asimilan con los alimentos y se eliminan en los productos de desecho (orine y heces). Su entrada como alimento puede regularse dentro de límites amplios. Sin embargo, la mayor parte de los animales han desarrollado la capacidad de mantener prácticamente invariable la concentración iónica de los líquidos del cuerpo (Karlson, 1962).

El organismo tiene necesidad de mantener no sólo un volumen determinado de agua, sino también una concentración adecuada de solutos en ellos, de manera que la presión osmótica se mantenga dentro de límites adecuados. Por otra parte, los diferentes electrolitos se encuentran distribuidos en el organismo de una manera desigual, el Na^+ se presenta en el líquido extracelular, sobre todo en el espacio intersticial; el K^+ , por el contrario, en el espacio intracelular (aunque la concentración de K^+ en las células es inferior a la del Na^+ extracelular). El Cl^- , digerido en los alimentos como NaCl , o directamente de las aguas naturales, constituye el principal anión del plasma. Es necesaria su presencia para la producción de HCl en el estómago (ver tabla)

Composición de los electrolitos del plasma

Catión	Concentración(meq) /l	Anión	Concentración (meq)/l
Na^+	142	Cl^-	101
K^+	4	HCO_3^-	27
Ca^{2+}	5	HPO_4^{2-}	2
Mg^{2+}	2	SO_4^{2-}	1
		Prot.	16
		Ac. Org.	6
	153		153

Componentes esenciales para la alimentación presentes en las aguas minerales

Las sustancias minerales necesarios para la alimentación. presentes en el agua y los alimentos y sus principales propiedades se describen a continuación (Armijo y San Martín, 1994):

Aniones: fosfato, cloruro, ioduro, fluoruro

Cationes: sodio, potasio, calcio, magnesio, hierro, cinc, cobre, manganeso, cobalto

La mayoría de las sustancias minerales se encuentran en cantidades mínimas (oligominerales). Por lo general, los alimentos los contienen, pero en ocasiones, debido a los problemas de adsorción, sólo pasan al organismo una cantidad insuficiente de los mismos. Las aguas minerales pueden ofrecer una vía de suministro de estos elementos en forma iónica.

A continuación se hará un breve resumen de las principales propiedades de los componentes mayoritarios de las aguas mineromedicinales.

El sodio está presente en todas las aguas mineromedicinales, siendo el catión predominante en muchas de ellas. Su acción en el organismo es significativa, teniendo en cuenta que se encuentra repartido en todos los tejidos y espacios extracelulares. Se admite que todas las funciones orgánicas requieren una cierta cantidad de sodio. En forma iónica interviene en un gran número

de procesos biológicos, siendo significativa su acción reguladora del volumen de líquido extracelular y en los procesos osmóticos; también en el mantenimiento del equilibrio ácido-básico del medio y es activador de múltiples procesos enzimáticos.

El potasio está presente en todas las aguas, aunque en menor proporción que el sodio. Constituye el principal catión intracelular y participa en el proceso de transmisión del impulso nervioso, la contracción celular, etc.

El litio también es frecuente en las aguas minerales, pero en más baja concentración. Sus propiedades terapéuticas son similares a las del sodio. Posee además acción antiasmática y se discute su capacidad disolvente del ácido úrico.

El calcio es uno de los componentes esenciales de las aguas minerales, especialmente en las de baja mineralización. Su presencia en el organismo es indispensable, ya que interviene en las funciones del sistema nervioso, el corazón, músculo, coagulación sanguínea y en la constitución de los huesos.

El magnesio, como el calcio, es frecuente en las aguas, especialmente en terrenos donde afloran rocas ultrabásicas. En el organismo es un catión que ocupa el espacio intracelular; interviene en el sistema nervioso central, y es activador de los sistemas enzimáticos que catalizan la fosforilación oxidativa y en la liberación energética.

El estroncio, el bario y el berilio suelen ser acompañantes del calcio, encontrándose en el agua en proporciones muy bajas.

El hierro es otro componente importante del agua a pesar de su baja concentración. Solamente de 5 a 10 mg/l de ion ferroso bastan para conferirle al agua propiedades benéficas contra la anemia y la clorosis. El hierro es uno de los componentes esenciales de las células sanguíneas (hematíes) y es utilizado por el organismo como tónico y reparador de las pérdidas de hierro.

El manganeso suele acompañar al hierro en las aguas minerales, aunque en proporciones aún más pequeñas.

En algunas aguas minerales también aparecen a niveles de trazas muchos elementos, tales como aluminio, plata, plomo, bismuto, cinc, cadmio, vanadio, etc., los cuales son considerados oligoelementos que en su conjunto pueden ejercer acciones directas o indirectas importantes sobre el organismo.

Entre los aniones de destacan en el agua los halógenos (cloruro, fluoruro, bromuro, ioduro), los compuestos del azufre (sulfato, sulfuro de hidrógeno y azufre coloidal) y los compuestos del carbono (bicarbonato, carbonato y dióxido de carbono). Los compuestos del nitrógeno están, por lo general, asociados a la contaminación y no poseen una acción farmacológica destacada.

El cloruro se encuentra prácticamente en todas las aguas, siendo el anión extracelular más importante. Por lo general se encuentra asociado al sodio. Junto al bicarbonato interviene de manera destacada en el balance de los líquidos intersticial y plasmático.

La principal acción del fluoruro es la de formación del esmalte dental y tejido óseo. Es esencial su presencia en las aguas para evitar las caries dentales, y su carencia en las aguas potables es compensada con el suministro de una adecuada cantidad en los acueductos. También posee propiedades antisépticas.

El bromuro es sedante a nivel cerebral.

El yoduro se comporta como estimulador o refrenador de los efectos relacionados con la tiroides. Además posee propiedades antisépticas y sedantes. Su acción terapéutica ha sido empleada en afecciones de los aparatos respiratorio y circulatorio, así como de enfermedades parasitarias.

El azufre, en sus diferentes formas iónicas, constituye uno de los componentes esenciales de las aguas mineromedicinales. Su acción terapéutica depende de si se encuentra en su forma oxidada (sulfato) o reducida (sulfuro). Los sulfatos estimulan las secreciones del aparato digestivo. La ingestión de aguas minerales del tipo sulfatadas sódicas, magnésicas o mixtas, tiene manifiesta acción purgante., por lo que son útiles para el tratamiento del estreñimiento, mientras que las de tipo sulfatadas cálcicas se pueden utilizar como aguas de bebida de acción diurética.

Los sulfuros tienen acciones metabólicas, vasculares y tróficas en diversos tejidos, en particular, del sistema respiratorio y del aparato locomotor. El azufre puede ser absorbido por vía digestiva, respiratoria y tópica. Su acción es beneficiosa en relación a las afecciones respiratorias, dermatosis y procesos reumáticos.

Los carbonatos, bicarbonatos y el dióxido de carbono están presentes en todas las aguas naturales. Sus proporciones relativas dependen del pH y la temperatura. Sus efectos en el organismo, principalmente sobre el aparato digestivo, son esencialmente de tipo antiácido o alcalinizante. También poseen propiedades beneficiosas sobre las alteraciones hepática, trastornos metabólicos y afecciones de las vías urinarias.

Las aguas del tipo carbogaseas (con concentraciones del CO₂ superiores a 250 mg/L) se suelen usar como aguas de mesa. El CO₂ libre se comporta como un excitante ligero de la mucosa que reviste el aparato digestivo, atenúa la sensibilidad gustativa y estimula la secreción del jugo gástrico, favoreciendo la digestión de los alimentos.

El silicio es un elemento que aparece en el agua en forma de sílice libre, coloidal o anión silícico, pudiéndose encontrar en concentraciones apreciables en algunas aguas de origen profundo. Su carencia en el organismo crea alteraciones en el crecimiento del tejido óseo y del tejido conjuntivo.

Entre los gases disueltos en las aguas juega un importante papel el radón. Las aguas radónicas tienen acción esencialmente sedante sobre el organismo y reguladora del sistema nervioso vegetativo.

Por último, se debe señalar el papel que ejerce la presencia de sustancias orgánicas, especialmente las de tipo húmicas (ácidos húmicos y fúlvicos) en las aguas. Su contenido es mayor en algunas fuentes naturales ricas en flora autóctona, residuos vegetales, algas, etc.

La materia orgánica más organizada como flora hidrotermal, está integrada por un conjunto de especies macro y microscópicas que requieren condiciones específicas de pH, temperatura, luminosidad del agua, etc. Entre estos microorganismos figuran: algas verdes (clorofíceas); algas azules (cenofíceas); diatomeas; sulfobacterias (que oxidan el H₂S, S⁻ y SO₃²⁻ y liberan azufre); ferrobacterias (utilizan el hierro en las aguas ferruginosas para satisfacer sus necesidades vitales); manganobacterias (requieren manganeso); halofitas (aguas cloruradas) y flora termófila (aguas con temperaturas superiores a 40 °C).

Papel de la balneoterapia en la Medicina

La Terapia es la parte de la medicina que se ocupa del tratamiento de las enfermedades, ya sea por procedimientos farmacológicos o quirúrgicos. Si se utilizan agentes físicos se ocupa la Terapéutica Física, si se utilizan agentes químicos y drogas, la Farmacología, etc.

Los agentes terapéuticos son de diversa naturaleza, origen, forma de preparación, etc. Se considera medicamentos químicos aquellos en cuya composición intervienen una o más sustancias químicas y algún excipiente. Desde esta óptica, las aguas mineromedicinales pueden considerarse medicamentos químicos, ya que las mismas constituyen soluciones de diferentes sales en agua, Estas soluciones de origen natural según Sollmam (en Armijo y San Martín, 1994) están dotadas de peculiares propiedades que le confieren actividad terapéutica y pueden justificar su acción medicamentosa, Por lo tanto, desde este punto de vista se puede establecer que las aguas mineromedicinales son agentes terapéuticos. Así la OMS admitió en 1969 como agua mineral natural toda agua no contaminada bacteriológicamente que procedente de una fuente subterránea natural o perforada, contiene una determinada mineralización y puede inducir efectos favorables par la salud debiendo estar así reconocido por la autoridad pertinente del país de origen.

Se debe destacar que las aguas minerales constituyen entidades individuales, ya que la composición química de cada yacimiento es, por lo general, diferente. Los productos naturales que poseen son constantes y su variación durante el ciclo hidrológico no debe exceder del 20 % de la composición media. Lo más importante en dichas aguas es su acción terapéutica, la cual debe quedar demostrada mediante estudios farmacológicos farmacocinéticos y clínicos debidamente controlados.

Desde este punto de vista, se concede un papel más determinante a los efectos terapéuticos, que a la composición química y características físicas o físico-químicas, de manera que el simple análisis de las aguas por diferentes procesos, no siempre permite deducir acciones terapéuticas determinadas que permitan de manera fiable enjuiciar los posibles efectos de una cura balneológica,. Además, se debe destacar, que las acciones terapéuticas de las aguas minerales sólo se producen en el propio balneario, al pie del manantial, pues en ese lugar es donde el agua conserva sus propiedades.

Debido a que las aguas minerales, al brotar de la fuente poseen, por lo general, gases disueltos y temperaturas elevadas, se producen recombinaciones iónicas, precipitación con la consiguiente pérdida de mineralización, cambios de pH y de potencial redox, etc., lo cual pueda dar lugar a sensibles alteraciones y pérdida de sus propiedades terapéuticas.

En la actualidad, las investigaciones relacionadas con la acción terapéutica de las aguas mineromedicinales, se realizan principalmente en los Centros Termales y van dirigidas a relacionar la composición química y la acción de las aguas sobre el organismo o sobre algún órgano determinado, así como al estudio de las propiedades farmacocinéticas de estas aguas, con el fin de conocer la absorción y distribución y eliminación de las mismas por el organismo. En este tipo de estudio se evalúa el papel de las vías de administración de las aguas y sus gases acompañantes (oral, respiratoria, tópica, etc.) sobre la adsorción y distribución, las cuales son amplias por constituir el agua el componente mayoritario del organismo. Si bien algunos componentes del agua poseen una acción terapéutica selectiva, tal como el yodo sobre la tiroides, el arsénico sobre la piel y el azufre sobre las arterias, otros componentes presentan una acción más genera. La principal vía de eliminación es la renal, lo que justifica la utilización de las aguas minerales como diurético.

Aunque algunos componentes de las aguas minerales pueden ejercer directamente sus efectos farmacológicos específicos, varios o todos los componentes disueltos de las mismas, pueden producir interacciones, así como efectos cinegéticos o antagónicos que no pueden inferirse a partir de la simple composición química. Se puede dar el caso que aguas de composición

semejante puedan tener efectos terapéuticos diferentes y que aguas con composición diferente puedan producir un efecto terapéutico similar.

Además de la acción específica de los elementos constitutivos de las aguas minerales, es preciso tener en consideración los procedimientos y técnicas de aplicación; los factores climáticos, así como aspectos de tipo paisajístico y de confort. En la actualidad se da cada vez más peso a los factores de tipo estresante que incluye, además de las aguas, el medio ambiente circundante, una dieta adecuada y condiciones que garanticen el reposo, el sueño y alejamiento de las actividades cotidianas. Con esta concepción se construyen los modernos Centros SPA, que algunos consideran como lugares más propicios para personas sanas que aspiran a una mayor calidad de vida, y los prefieren en lugar de los antiguos balnearios, sanatorios o curo centros concebidos como centros de rehabilitación para personas enfermas.

Características químico-físicas y terapéutica de las aguas mineromedicinales

Aguas cloruradas

Constituyen un grupo importante de aguas mineromedicinales y se consideran como tales, las que poseen un RS o TSS superior a 1 g/l y el anión predominante, el Cl, es el único que posee una concentración superior al 20 % meq/l. Atendiendo a la clasificación hidroquímica de Kurlov se pueden subdividir en los siguientes tipos:

Tipo de agua	RS o TSS	Concentración iónica					
		Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺
1	> 1g/l	>20 % meq/l					>20 % meq/l
2	> 1g/l	>20 % meq/l			>20 % meq/l		
3	> 1g/l	>20 % meq/l				>20 % meq/l	
4	> 1g/l	>20 % meq/l			>20 % meq/l	>20 % meq/l	>20 % meq/l
5	> 1g/l	>20 % meq/l	>20 % meq/l				>20 % meq/l
6	> 1g/l	>20 % meq/l	>20 % meq/l		>20 % meq/l		
7	> 1g/l	>20 % meq/l	>20 % meq/l			>20 % meq/l	
8	> 1g/l	>20 % meq/l	>20 % meq/l		>20 % meq/l	>20 % meq/l	>20 % meq/l
9	> 1g/l	>20 % meq/l		>20 % meq/l			>20 % meq/l
10	> 1g/l	>20 % meq/l		>20 % meq/l	>20 % meq/l		
11	> 1g/l	>20 % meq/l		>20 % meq/l		>20 % meq/l	
12	> 1g/l	>20 % meq/l		>20 % meq/l	>20 % meq/l	>20 % meq/l	>20 % meq/l

1) Clorurada sódica, 2) clorurada cálcica, 3) clorurada magnésica, 4) clorurada mixta, 5) clorurada bicarbonatada sódica, 6) clorurada bicarbonatada cálcica, 7) clorurada bicarbonatada magnésica, 8) clorurada bicarbonatada mixta, 9) clorurada sulfatada sódica, 10) clorurada sulfatada cálcica, 11) clorurada sulfatada magnésica, 12) clorurada sulfatada mixta.

Nota: también se denominan mixtas cuando dos cationes poseen más de >20 % meq/l.

Las más comunes e importantes desde el punto de vista terapéutico son las cloruradas sódicas, cuya concentración debe ser de una magnitud proporcional (igual o superior) a 393 MG/l Cl⁻ (20 % meq/l) y 607 MG/l de Na^T, ya que los meq de Cl⁻ y Na^T son 23 y 35.5 respectivamente.

Desde el punto de vista cuantitativo, según Colore (en: Armijo-Valenzuela, 1994), estas aguas se subdividen en:

Fuertes: contienen más de 50 g/l de RSC o TSS.

Medias: contienen entre 10 y 50 g/l de RSC o TSS.

Débiles: contienen menos de 10 g/l de RSC o TSS.

Cazaux (en: Armijo-Valenzuela, 1994), establece dos grupos:

Altamente mineralizadas y frías

Baja mineralización y calientes

Shoeller ha considerado 6 grupos de aguas cloruradas atendiendo a su contenido en este anión.

Los hidrólogos alemanes denominan a las aguas cloruradas sódicas con mineralización superior a 14 g/l (5.5 g/l de Na^+ y 8.5 g/l de Cl^-).

Por su origen las aguas cloruradas pueden ser terrestres o marinas.

Las aguas cloruradas terrestres de elevada mineralización se originan por disolución de halita (NaCl), siendo este mineral más abundante en las rocas sedimentarias. En el caso de las aguas cloruradas sódicas hiper termales de baja mineralización, el origen suele ser profundo y por lo general, están relacionadas con la presencia de fallas o material volcánico. Las de alta concentración y temperaturas frías están relacionadas con antiguos mares atrapados (aguas connatas).

Las aguas cloruradas sódicas marinas, a diferencia de las terrestres, poseen una mineralización bastante estable, siendo su valor medio del orden de 35 g/l. Esta composición varía según la latitud, por el aporte de ríos, la dinámica de las corrientes marinas y otras causas. Así por ejemplo, en el Mar Báltico la mineralización es de 15 g/l mientras que en el Mar Caspio es de 400 g/l. Se acercan más a la media el mar del Océano Atlántico (32 g/l) y el del Mediterráneo (36 g/l).

Los componentes mayoritarios del agua de mar son: Cl^- , Na^+ , SO_4^{2-} , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , HCO_3^- , Br^- , siguiéndole en ese orden Sr^{2+} , I^- , F^- y SiO_2 .

En la tabla 1 se presenta la composición de los componentes mayoritarios del agua de mar, reportada por varios investigadores.

Tabla 1. Composición química del agua de mar (meq/l)

Ion	Stumm and Morgan (1981)	Lloyd and Heathcote (1985)	Giménez (1994)	Boluda et al. (1997)	Drever (1982)	Fagundo et al (1999)
Cl	545.18	535.21	535.21	552.68	540.07	550.00
HCO ₃	2.33	2.33	2.30	2.38	2.33	3.05
SO ₄	56.50	56.25	56.45	58.96	56.46	60.00
Na	468.26	556.52	478.26	458.91	467.83	469.04
K	10.23	9.74	9.74	9.30	10.23	14.00
Ca	20.60	20.00	20.00	22.25	20.55	20.00
Mg	107.50	112.50	108.32	125.17	107.50	110.00

En la tabla 2 se muestran los componentes minoritarios presentes en el agua de mar.

Tabla 2. Composición química de los componentes minoritarios en el agua de mar (Drever, 1982)

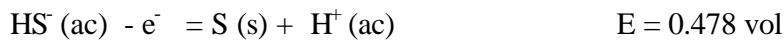
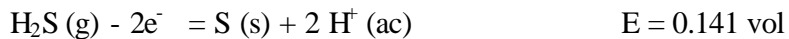
Componente	(?g/kg) (1)	Componente	(?g/kg) (1)
F	1300	As	4
Br	67000	Se	0,2
I	60000	Ru	120
B	4500	Y	0,003
NO ₃	5-2000	Zn	2
PO ₄	1-50	Nb	0,01
O ₂	100-6000	Mo	10
Corg (C)	300-2000	Ag	0,04
Sr	8800	Cd	0,05
Li	180	Sn	0,01
Be	0,0006	Sb	0,2
Ga	0,03	Cs	0,4
Sc	2	Ba	10
Ti	1	W	0,1
V	2	Au	0,003
Cr	0,3	Hg	0,03
Mn	0,2	Tl	0,01
Fe	2	Pb	0,03
Co	0,05	Bi	0,02
Ni	0,5	Rd	0,0000007
Cu	0,5	U	3,3
Zn	2	Ge	0,05
SiO ₂	500-10000	Tierras raras	0,003 -0,00005

Aguas que contienen azufre como componente principal

En las aguas minerales el azufre puede encontrarse en diversas formas: sulfuro de hidrógeno (H₂S), sulfhidrato (HS⁻) y sulfuros (S²⁻) con valencia -2; azufre coloidal con valencia 0 y sulfatos, con valencia + 6.

El sulfuro de hidrógeno es un gas inflamable y venenoso, de olor característico a huevos podridos que se hace perceptible en el aire a la concentración de 10 µg/L. La máxima concentración tolerable es de 20 g/L, siendo extraordinariamente tóxico a concentraciones mayores.

El H₂S es un agente reductor y es oxidado a azufre según las siguientes ecuaciones de oxidación-reducción:



De estas ecuaciones se deduce que el sulfuro de hidrógeno se oxida fácilmente. En las aguas minerales los agentes oxidantes pueden ser el oxígeno del aire, el hierro férrico y los nitritos. La proporción en que los diferentes compuestos de azufre reducido, así como otros compuestos de azufre que se encuentra en las aguas dependerá de los valores de pH y del potencial redox (Eh) existente, tal como se aprecia en la siguiente figura.

Aguas sulfuradas

Las aguas sulfuradas o sulfhídricas, también denominadas incorrectamente como sulfurosas, son aquellas que poseen más de 1 mg/L de azufre bivalente. A pH <7 la especie predominante es H₂S (más común en las aguas minerales), entre 7 y 11 el HS⁻ y a pH > 11 el S²⁻.

En las aguas sulfhídricas suele encontrarse materia orgánica soluble y materia organizada propia de una flora autótrofa, entre ellas algunas clases de algas que forman conglomerados lentos denominados “biogleas”. También se encuentran microorganismos aerobios que consumen azufre, denominados “sulfurarias”, las cuales son bacterias saprofitas autótrofas..

Se distinguen varios tipos de aguas sulfhídricas, las que se denominan sulfurado sódicas, sulfurado cálcicas y sulfurado mixtas (sulfurado cloruradas, sulfurado arsenicales, etc.).

Las principales acciones terapéuticas de estas aguas son las siguientes: antirreumática, antialérgica, desintoxicante, antiflogística, antiinflamatoria y antiácida. Se utilizan en las siguientes afecciones: reumatológicas, de la piel, de las vías respiratorias y otorringolaringológicas, odonto-estomatológicas, procesos ginecológicos y otros. (San Martín y Armijo, 1994). La administración de estas aguas puede ser por vía oral, inhalatoria y tópica.

Aguas sulfatadas

Las aguas sulfatadas son aquellas que poseen una concentración mayor de 1 g/L de minerales totales disueltos, siendo el SO₄²⁻ el ion predominante. Si otros iones tales como el Cl⁻ o HCO₃⁻ están presentes en concentraciones superiores a 20 % meq/L, se denominan sulfatadas mixtas. Según los cationes más abundantes, pueden ser sulfatadas sódicas, magnésicas, cálcicas o mixtas.

Todas las aguas sulfatadas se comportan como purgantes, siendo esta acción más abundante en las sulfatadas sódicas y magnésicas que en las sulfatadas cálcicas. En las aguas sulfatadas en general, se destaca también la acción colagoga y en menor medida poseen acción hidrocolerética (San Martín y Armijo, 1994).

Las aguas sulfatadas cálcicas pueden utilizarse como diuréticas por su bajo contenido de sodio. También poseen efectos neurovegetativos y pueden utilizarse en diferentes cuadros alérgicos.

Las aguas sulfatadas mixtas (cloruradas o bicarbonatadas), son también colagogas, pero no suelen ser diuréticas. Se utilizan preferentemente en afecciones del aparato digestivo (gastritis, afecciones hepato biliares, insuficiencias hepáticas, etc.).

La vía de administración puede ser oral o en forma de baños (tópica).

Aguas bicarbonatadas

Se consideran aguas bicarbonatadas, las que con un residuo seco superior a 1 g /L tienen como anión predominante el HCO_3^- . En dependencia del catión presente se denominan aguas bicarbonatadas sódicas, cálcicas o magnésicas. Si además del HCO_3^- están presentes Cl^- o SO_4^{2-} con concentraciones mayores de 20 meq / L se consideran bicarbonatadas mixtas.

Por lo general estas aguas poseen un pH neutro o ligeramente ácido, cuando contienen relativamente altas cantidades de CO_2 , abundante en muchas de estas aguas. Cuando este contenido gaseoso es elevado se denominan entonces carbogaseosas.

Las aguas bicarbonatadas sódicas son por lo general hiper termales por su origen profundo, mientras que las cálcicas, magnésicas y mixtas frías suelen ser más superficiales y alcanzan su mineralización en su interacción con rocas sedimentarias.

Aguas bicarbonatadas sódicas

La acción principal de estas aguas es de tipo digestiva. Se utilizan fundamentalmente en bebidas, en tomas de 100 a 200 ml antes del desayuno, almuerzo y comida, hasta alcanzar una dosis total de 1000 a 1500 ml por día.

En general, estas aguas se comportan como antiácidas, actuando como neutralizantes de la acidez gástrica y por su poder buffer también favorecen la acción de los fermentos pancreáticos y el poder saponificante de la bilis. Poseen además acción colecistocinética. Son favorables para el tratamiento de los trastornos hepato-pancreáticos.

Su acción alcalinizante de la orina puede favorecer la eliminación de sedimentos y pequeños cálculos uréticos, también poseen acción beneficiosa en las alteraciones intestinales, tales como procesos disépticos, alteraciones del tono y motilidad (Armijo, 1994).

Aguas bicarbonatadas cálcicas

En estas aguas el contenido de HCO_3^- suele ser bajo debido a la escasa solubilidad del CaCO_3 y en general, suelen ser de baja mineralización, mediana alcalinidad y escaso poder tapón.

Administradas por vía oral se comportan como antiácidas en el estómago, aunque con un menor poder neutralizante de la acción gástrica. En el intestino los iones calcio y magnesio son adsorbidos y localmente ejercen efectos sedantes y antiseoretos.; en el hígado pueden facilitar la salida de la bilis al intestino; sobre la sangre son alcalinizantes; sobre el sistema neurovegetativo se comportan como ligeramente depresoras.

Estas aguas se utilizan fundamentalmente como aguas de mesa por ser de agradable ingestión y facilitar las funciones digestivas. Son también utilizadas en determinadas alteraciones metabólicas, en particular diabéticas, procesos gastroentéricos, colitis, afecciones disépticas y como cura de diuresis en inflamación de las vías urinarias, calculosis, etc. (Armijo, 1994).

Aguas bicarbonatadas mixtas

Se trata de aguas bicarbonatadas que contienen más de un catión con concentraciones superiores a 20 % meq/L.

Las aguas frías de este tipo, con un contenido relativamente alto de CO_2 , se utilizan preferentemente en las afecciones digestivas, hepáticas y renales, empleándose las hiper termales en procesos osteoarticulares, reumatismos crónicos, etc. Estas aguas se comportan como antiflogísticas y anticatarrales, pudiéndose utilizar por vía oral o tópica (Armijo, 1994).

Aguas bicarbonatadas sulfatadas

Al ser el bicarbonato y el sulfato los aniones más abundantes en estas aguas (más de 20 % meq/L), su acción está determinada por las características terapéutica de ambos aniones. Da ahí que estas aguas, administradas por vía oral, producen en el estómago una acción semejante a la ejercida por las aguas alcalinas (menos intensa debido a su menor alcalinidad) y poseen acción neutralizante frente a la acidez gástrica y a la actividad péptica (Armijo, 1994). Debido a esas acciones, son utilizadas como aguas de bebida para procesos dispepticos, colecistitis crónicas, discinesias biliares, etc.

Aguas bicarbonatadas cloruradas

Debido al carácter contrario de las acciones del bicarbonato y el cloruro, estas aguas poseerán acciones terapéutica propias en dependencia del contenido relativo de ambos iones. Administradas por vía oral producen efectos colagogos y facilitan la excreción de colesterol y ácidos biliares. Las que poseen altas temperaturas pueden utilizarse por vía tópica (duchas o chorros) y son favorables en afecciones reumáticas, postraumáticas, etc.

Aguas carbónicas

Estas aguas se denominan también carbogaseosas o aciduladas. Se caracterizan por poseer elevados contenidos de CO₂, el cual debe sobrepasar cierto límite. De acuerdo a algunos especialistas esa concentración debe ser mayor de 1 g/L (Salzuflen, 1958; en Armijo, 1994). En el Código Alimentario Español se considera ese límite 250 mg/L.

El CO₂ libre le confiere a las aguas minerales un peculiar sabor “ácido” y su temperatura es por lo general baja, ya que si esta es elevada se escapa a la atmósfera con facilidad y el agua no alcanza tan alta concentración.

Las aguas bicarbonatadas carbogaseosas se utilizan principalmente como “aguas de mesa”, las cuales son ingeridas con las comidas, estimulando las mucosas con que hacen contacto. En el estómago excita la secreción de jugo gástrico, estimula la motilidad y produce vaso dilatación. En los primeros sectores del intestino producen también una acción estimulante del peristaltismo y secreción, facilitando la salida de bilis del mismo. Con fines terapéuticos se utilizan en dispepsias hipoclorhídricas y en cuadros de hipotonía gástrica (Armijo, 1994).

En baños, estas aguas pueden utilizarse cuando la concentración de CO₂ mínimas de 300 mg/l (por lo general estas fuentes poseen concentraciones del orden de 1 g/L o más). En algunos sitios se suele añadir CO₂ industrial en concentraciones de hasta 3 g/L. Por la acción de los baños carbogaseosos sobre el organismo se estimulan de los receptores cutáneos, produciéndose un descenso de la temperatura alrededor de 33 °C. Este hecho produce vaso dilatación y descenso de la temperatura corporal.

La acción de las aguas carbogaseosas por vía tópica es dependiente del contenido de gas y de la temperatura del baño. Los baños hipergaseados de 28-32 °C hipertensores, mientras isotérmicos ligeramente gaseados son hipertensores, acción que se acentúa si la temperatura se eleva de 35 a 38 °C.

Los baños carbogaseosos también ejercen acción diurética y la vaso dilatación a nivel renal, lo cual produce mejoría de la circulación general. Se emplean en la cura de la arteriopatías obliterantes y con menor relevancia se han obtenido efectos favorables en el tratamiento de procesos ateromatosos periféricos y en la insuficiencia vascular cerebral. También han sido útiles estos baños en casos de hipertensión arterial y de arterosclerosis moderada; así como en

tratamiento de manifestaciones reumáticas, alteraciones metabólicas (gota), dismenorreas, salpingitis y diversas ginecopatías. En todos estos últimos casos se requiere que la temperatura del agua se encuentre por encima de 37 °C. Por el contrario, los baños por debajo de 33 °C pueden utilizarse el tratamiento de hipertensión arterial, estados de depresión nerviosa, diabetes, etc.

Aguas ferruginosas

Son aguas minerales que contienen hierro en una concentración superior a la mínima establecida en las normas y regulaciones. En algunos casos este límite es de 1 mg/ mientras que en otros casos alcanza hasta 10 mg/. Estas aguas son fundamentalmente bicarbonatadas o sulfatadas.

La aguas minerales ferruginosas bicarbonatadas tienen un pH cercano a 7, son frías y su transparencia se suele perder por la pérdida del CO₂, lo cual que favorece la oxidación del Fe²⁺ a Fe³⁺ que es más insoluble y precipita. Las aguas sulfatadas son ácidas y suelen contener mayor cantidad de hierro y arsénico.

La acción terapéutica más destacada en estas aguas está asociada a su contenido de hierro. En el intestino delgado (principalmente en el duodeno), el ion ferroso disuelto en las aguas es adsorbido y pasa a la sangre, en donde se une a la transferrina que lo transporta en forma férrica a la medula ósea para que sea incorporado a la hemoglobulina. Otros componentes presentes en este tipo de agua, tales como cobre, manganeso, cobalto, arsénico, etc., también le confieren a ésta propiedades favorables.

La administración de estas aguas puede ser por vía oral o a través de baños. En el primer caso, benefician a las personas con estados anémicos debidos a un insuficiente aporte de hierro o mayor exigencia orgánica; así como a estados anémicos debido a deficiente absorción del hierro por el aparato digestivo. En estos casos el tratamiento balneario puede ser complementado con la terapéutica medicamentosa.

Las aguas ferruginosas, especialmente las arsenicales, se utilizan también en balneación para el tratamiento de afecciones cutáneas.

Aguas oligominerales

Se trata de aguas de baja mineralización que pueden ser frías o calientes y que se caracterizan por presentar un gran número de iones. Entre los cationes se destacan: sodio, calcio, magnesio, potasio, manganeso, hierro, cobre, cinc, etc., y entre los aniones: cloruro, sulfato, bicarbonato, fluoruro, bromuro, yoduro, etc. Por sus propiedades terapéuticas, las que poseen una temperatura superior a 35 °C suelen utilizarse en aplicaciones tópicas, en el tratamiento de afecciones reumáticas y procesos del aparato locomotor que requieren de rehabilitación hidroterápica. Las aguas que poseen temperaturas más bajas que ese límite se utilizan preferentemente por vía oral, como diuréticas y aguas de mesa (San Martín, 1994).

Bibliografía

Armiejo-Valenzuela M. "Bases biológicas de la acción de las curas balnearias". En: Curas Balnearias y Climáticas. Talasoterapia y Helioterapia, Ed. Complutense, Madrid, 161-176, 1994a.

Armiejo-Valenzuela M.. "Aguas cloruradas sódicas". En: Curas Balnearias y Climáticas. Talasoterapia y Helioterapia, Ed. Complutense, Madrid, 227-240, 1994b.

Armiejo-Valenzuela M. "Aguas bicarbonatadas". En: Curas Balnearias y Climáticas. Talasoterapia y Helioterapia, Ed. Complutense, Madrid, 261-267, 1994c.

Armiejo-Valenzuela M. Aguas carbónicas o aciduladas. En: Curas Balnearias y Climáticas. Talasoterapia y Helioterapia, Ed. Complutense, Madrid, 271-277, 1994d.

Armiejo-Valenzuela M. y San Martín J. "Aguas minerales. Conceptos generales. En: Curas Balnearias y Climáticas. Talasoterapia y Helioterapia," Ed. Complutense, Madrid, 11-16, 1994a.

Armiejo-Valenzuela M. y San Martín J. "Interés de las curas balnearias en la terapéutica actual". En: Curas Balnearias y Climáticas. Talasoterapia y Helioterapia, Ed. Complutense, Madrid, 185-193, 1994b.

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

Karlson R. "Manual de Bioquímica". Ed. Arin S.A., Barcelona, 99 385, 1962.

San Martín J. "Aguas oligominerales o de débil mineralización". En: Curas Balnearias y Climáticas. Talasoterapia y Helioterapia, Ed. Complutense, Madrid, 305-312, 1994.

San Martín J. y M. Armiejo-Castro. "El azufre en las aguas mineromedicinales: aguas sulfatadas y aguas sulfuradas". En: Curas Balnearias y Climáticas. Talasoterapia y Helioterapia, Ed. Complutense, Madrid, 243-256, 1994.

San Martín J. y M. Armiejo-Valenzuela. "Las curas balnearias como agente terapéutico". En: Curas Balnearias y Climáticas. Talasoterapia y Helioterapia, Ed. Complutense, Madrid, 29-32, 1994

El Agua de mar y la Talasoterapia

Juan Reynerio Fagundo Castillo

Patricia González Hernández

Vicedirección de Termalismo

Centro Nacional de Medicina Natural y Tradicional

El agua de mar y la Talasoterapia.

Talasoterapia procedente de los términos griegos talaso, que significa mar y terapia, curación, se ocupa de la utilización terapéutica de las aguas marinas (San Martín 1995; San Martín y Armijo-Valenzuela, 1994). En esa terapia intervienen tanto la acción del agua de mar como la del clima marítimo. A esta disciplina de la Medicina se le ha llamado también Terapia Marina.

El agua de mar ha sido utilizada con fines terapéuticos desde la antigua Grecia. Al igual que la Crenoterapia, tuvo épocas de auge y decadencia, estas últimas coincidentes con la Edad Media.

En el presente siglo se han creado numerosos Centros de Talasoterapia, a los cuales asisten personas sanas y enfermas y encuentran mejoría.

Entre los factores beneficiosos a la salud considerados en la Talasoterapia, se encuentran; las propiedades físicas y químicas del agua de mar, el clima, etc.

Desde el punto de vista terapéutico son importantes: la temperatura del agua y su relativa estabilidad; la densidad y composición química; el papel de las corrientes marinas, las mareas y las olas (especialmente estas últimas, que actúan como masaje sobre los bañistas); las radiaciones solares; así como las algas marinas y otros recursos relacionados.

La temperatura del agua varía con la latitud y la profundidad. En el Ártico puede tener en la superficie durante el verano cerca de 3 °C, mientras que el Mar Báltico y el Mar del Norte, entre 14-18 °C y en el Mediterráneo entre 22-27 °C. En Cuba, son comunes temperaturas medias del orden de 25 °C. En las zonas más profundas del océano las aguas pueden poseer unos 3 °C.

Según algunos investigadores, las temperaturas inferiores a 15 °C no son tolerables por el hombre, de ahí que los Centros de Talasoterapia tomen en cuenta este hecho para la ubicación de estos sitios y para la aplicación terapéutica del agua de mar.

La densidad del agua de mar también varía con la latitud y el tipo de mar. Así, alcanza en el Atlántico valores medios de 1.0028, en el Mediterráneo 1.032 y valores aún mayores en el mar Caspio.

En forma semejante proporcional varía la composición química, tal como se muestra en la tabla 1. Los componentes mayoritarios del agua de mar son: Cl, Na⁺, SO₄²⁻, Mg²⁺, Ca²⁺, K⁺, HCO₃⁻, Br⁻, siguiéndole en ese orden Sr²⁺, I⁻, F⁻ y SiO₂.

En la tabla 1 se presenta la composición de los componentes mayoritarios del agua de mar, reportada por varios investigadores.

Tabla 1. Composición química del agua de mar (meq/l)

Ion	Stumm and Morgan (1981)	Lloyd and Heathcote (1985)	Giménez (1994)	Boluda et al. (1997)	Drever (1982)	Fagundo et al (1999)
Cl	545.18	535.21	535.21	552.68	540.07	550.00
HCO ₃	2.33	2.33	2.30	2.38	2.33	3.05
SO ₄	56.50	56.25	56.45	58.96	56.46	60.00
Na	468.26	556.52	478.26	458.91	467.83	469.04
K	10.23	9.74	9.74	9.30	10.23	14.00
Ca	20.60	20.00	20.00	22.25	20.55	20.00
Mg	107.50	112.50	108.32	125.17	107.50	110.00

A pesar de que la acción sobre el organismo de los componentes del agua de mar es objeto de discusión por algunos investigadores, numerosos trabajos demuestran que además de los iones Cl⁻ y Na⁺, otros componentes menos abundantes del agua marina pueden penetrar las paredes de la piel y participar en el metabolismo de los bañistas (San Martín y Armijo-Valenzuela, 1994).

Con el desarrollo de los métodos analíticos (Espectroscopía de Absorción Atómica, ICP-Masas y otros), se han podido determinar cuantitativamente, componentes minoritarios cuya acción terapéutica, en algunos casos, aún se desconoce. En la tabla 2 se muestran los componentes minoritarios presentes en el agua de mar.

Tabla 2. Composición química de los componentes minoritarios en el agua de mar (Drever, 1982)

Componente	(? g/kg) (1)	Componente	(? g/kg) (1)
F	1300	As	4
Br	67000	Se	0,2
I	60000	Ru	120
B	4500	Y	0,003
NO ₃	5-2000	Zn	2
PO ₄	1-50	Nb	0,01
O ₂	100-6000	Mo	10
Corg (C)	300-2000	Ag	0,04
Sr	8800	Cd	0,05
Li	180	Sn	0,01
Be	0,0006	Sb	0,2
Ga	0,03	Cs	0,4
Sc	2	Ba	10
Ti	1	W	0,1
V	2	Au	0,003
Cr	0,3	Hg	0,03
Mn	0,2	Tl	0,01
Fe	2	Pb	0,03
Co	0,05	Bi	0,02
Ni	0,5	Rd	0,0000007
Cu	0,5	U	3,3
Zn	2	Ge	0,05
SiO ₂	500-10000	Tierras raras	0,003 -0,00005

Recursos más utilizados en la talasoterapia.

Entre los recursos naturales que se utilizan en la Talasoterapia se pueden señalar los siguientes.

Aguas marinas.

Actúa sobre el organismo en virtud de sus propiedades: temperatura, densidad, composición y por la acción de las corrientes marinas las mareas y las olas. Con respecto a esta última, además de los componentes disueltos, ejercen influencia beneficiosa a la salud su contenido de materia orgánica y de gases.

Algas marinas.

Toman del agua de mar los elementos minerales necesarios y liberan determinados componentes como yodo. Contienen vitaminas, aminoácidos, pigmentos, etc. A partir de ellas se elaboran productos con propiedades cosméticas y farmacéuticas (cosmecéuticas) las cuales se utilizan como cosméticos y apoyan las prácticas del Termalismo.

Limos o lodos marinos. (peloides)

Constituyen depósitos terrígenos, los cuales se producen principalmente en lugares protegidos de las corrientes marinas. Son de composición arcillosa, mezclada con arena y minerales sólidos del agua de mar.

Aire y eventos marinos (Aeroterapia).

Actúa sobre el organismo en virtud de sus acciones térmicas, cambios en el nivel de humedad relativa, etc. Relacionados con estos se encuentran los aerosoles marinos saturados en sodio, yodo, bromo y sílice.

Aguas madres.

Se obtiene por evaporación a partir de agua marina y el agua de las salinas. Son ricas en cloruros, sulfatos y carbonatos.

Áreas marinas.

Están constituidas fundamentalmente por sílice, poseen elevada permeabilidad y porosidad y termopexia, lo que facilita la selección del calor aportado por la radiación y su transmisión al curista

Clima marino (Helioterapia).

Intervienen activamente en las curas por talasoterapia; condicionando y regulando sus efectos.

Técnicas empleadas en la Talasoterapia.

Juegan un importante papel en la Talasoterapia. Lo más importante es el baño marino (especialmente fríos). En los Centros de Talasoterapia se utilizan frecuentemente los baños de aguas marinas en piscinas, bañeras y tanques de diferentes formas y tamaños.

Las aguas madres enriquecidas en magnesio, yodo, bromo, calcio, etc., incorporado al agua del baño potencian sus efectos terapéuticos sedantes y moderados. La adición de gas carbónico mejora las propiedades vasodilatadoras de la piel y disminuyen el ritmo cardíaco.

Principales Indicaciones.

- ? Mejoras del estado físico y psíquico del paciente.
- ? Favorecer la normalización de las funciones metabólicas.
- ? Tratamiento de secuelas de los traumatismos (postoperatorio de intervenciones quirúrgicas, osteoarticulares).
- ? Afecciones ortopédicas.
- ? Procesos reumáticos crónicos.
- ? Tratamiento de secuelas neurológicas.
- ? Afecciones de las vías respiratorias.
- ? Algunas afecciones dermatológicas (ciertas formas de acné y en la soriasis).
- ? Afecciones ginecológicas (vaginitis simple y otras).

Bibliografía

Boluda, N., C. Sempere y F. Ruiz. "Hidrogeoquímica de la intrusión marina del acuífero Cuaternario de Jávea (Alicante)". En: I Congreso Iberoamericano de Geoquímica. VII Congreso de Geoquímica de España, Soria 1997. Ed. CEDEX (España), 465-470, 1997.

Drever, J.I. "The Geochemistry of Natural Waters". Ed. Prentice-Hall International, pp. 433, 1982.

Fagundo, J.R. P. González, S. Jiménez, G. Benítez, V. Ferrera, A. González, E. Romero, D. Orihuela, J. Ramírez, M. Suárez. "Metodología para la caracterización geoquímica de los procesos cársicos costeros. II. Identificación de los procesos de mezcla y modificación de las facies hidroquímicas". En: Contribución a la Educación Ambiental y la Protección Ambiental. ISCTN, Cátedra de Medio Ambiente, La Habana, 182-191, 1999.

Giménez "Caracterización hidrogeoquímica de los procesos de salinización en el acuífero detrítico costero de la Plana de Castellón (España), 469, (1994)

Lloyd and Heathcote. " Natural inorganic hydrochemistry in relation to groundwater, An introduction. Ed. Clarendon press, Oxford, 269. (1985)

San Martín, J. y Armijo-Valenzuela, M. "Talasoterapia,". En: Curas Balnearias y Climáticas. Talasoterapia y Helioterapia. Ed Complutense (Madrid, España), 611-630, 1994.

San Martín, J. "Talasoterapia: proyección terapéutica actual". Ann. Real Acad. Nac. Medicina, Madrid. Tomo CXII, Cuaderno Segundo. Sesiones Científicas, 347-379 1995.

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, 1981.

Contaminación de las aguas minerales y zonas de protección sanitarias.

Juan Reynerio Fagundo, Patricia González Hernández

Vicedirección de Termalismo

Centro Nacional de Medicina Natural y Tradicional

Contaminación de las aguas minerales

La composición química de un agua natural, en función del uso que a la misma se le da, se denomina calidad del agua, y existen una serie de normas que regulan las concentraciones permisibles que debe poseer cada elemento o indicador de calidad según los diferentes usos. Por ejemplo, las normas establecidas para que un agua se pueda utilizar para el abasto exigen un contenido despreciable de los componentes de los ciclos del nitrógeno y el fósforo. Sin embargo, para el riego las aguas deben poseer un alto contenido de los mismos.

Relacionadas con la calidad del agua, se encuentran las medidas a tomar en la colección de la muestra. García y Beato (1979) han propuesto un grupo de recomendaciones para el muestreo de aguas y el control de su contaminación.

Otro método de determinar la calidad de las aguas, consiste en evaluar un determinado índice de calidad (García, 1988), que representa la suma de diferentes indicadores del deterioro de la misma, a los cuales se les da un peso diferente en dependencia de los objetivos del control.

Además de la calidad químico-física de las aguas es necesario controlar la calidad bacteriológica. La contaminación del agua por organismos patógenos se debe principalmente al vertimiento o percolación de residuales urbanos, o agroindustriales, puesto que este tipo de microorganismo no se origina en las condiciones naturales.

Los microorganismos están muy difundidos en las aguas naturales, incluso en condiciones de elevadas temperatura como ocurre en algunas fuentes mineromedicinales. El control de estos organismos, tanto en el suelo como en las aguas, es de gran importancia para determinar el estado de estas últimas y para su explotación en el Termalismo de Salud.

Antiguamente la calidad bacteriológica en ríos, lagos y aguas subterráneas, no se controlaba mediante la determinación de microorganismos patógenos, sino a través de la identificación de bacterias fecales, es decir, bacterias que subsisten normalmente en el tracto digestivo humano. En general, se utilizaba como índice las bacterias pertenecientes al grupo coliforme. Existe una relación aproximada entre la cantidad de estas bacterias y las de tipo patógena, tales como: salmonelas, aeromonas, seudomonas, clostridium, estafilococo y shigella. Aunque la contaminación de las aguas subterráneas ha ocurrido a todo lo largo de la historia de la humanidad, parece fácilmente aceptable que es durante los últimos decenios cuando se registra un aumento exponencial derivado de dos aspectos más relevantes: la gran industrialización de nuestra sociedad y el aumento considerable de las demandas de agua (Korzoun et al., en Pulido-Bosch 1977). El agua utilizada por el hombre en los diversos usos domésticos, agrícola e industrial, vuelve en un porcentaje elevado al medio, pero con un notable aumento de sales y

otras sustancias indeseables, salvo que se sometan a un tratamiento depurador; en este último caso, también queda un residuo altamente contaminante que eventualmente puede deteriorar la calidad de los acuíferos.

Agentes contaminantes

Un agente contaminante se puede definir como toda propiedad física, organismo o sustancias que deteriora las características naturales originales de un agua. Los agentes contaminantes se pueden reunir en los siguientes grupos (Pulido-Bosch, 1977): detergentes, plaguicidas, hidrocarburos, contaminantes orgánicos, contaminantes biológicos, contaminantes químicos minerales y sustancias radiactivas.

Un contaminante se define como "todo soluto que introducido en las aguas del subsuelo como consecuencia de actividades antrópicas, independientemente de si las concentraciones alcanzan niveles indicativos de una degradación significativa de la calidad del agua. El término polución se reserva para aquellas situaciones en que las concentraciones de contaminantes alcanzan niveles preocupantes" (Freeze y Cherry, 1979).

Zonas de protección y control sistemático de la calidad de las aguas minerales

La actividad del hombre causa un deterioro progresivo de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas. A pesar de que estas últimas son menos susceptibles a la contaminación, una vez contaminadas, se hace muy difícil restablecer su calidad original (González y Jiménez, 1988).

Con vistas a preservar la calidad de los recursos hídricos, de forma tal que se puedan utilizar racionalmente en beneficio de la economía, se han establecido zonas de protección sanitaria. Como tal se denomina el área alrededor de la toma de agua, donde se establecen diferentes tipos de regulaciones con el objetivo de evitar la contaminación y hacer mínimo el riesgo de su degradación.

Según la Norma Cubana (NC- 93-11-1986) las zonas de protección sanitarias se establecen con los siguientes objetivos:

- ? Para el bienestar común, protección de las aguas subterráneas contra los efectos adversos de una degradación de su calidad, en interés de los suministros de aguas existentes o potenciales.
- ? Para preservar las reservas hídricas de una región (evitar la reducción cuantitativa de las reservas explotables por el deterioro de la calidad de las aguas).
- ? Para preservar el medio ambiente subterráneo como parte este último del medio ambiente en general.

El establecimiento de las diferentes zonas de protección (zona I, II y III), está relacionado fundamentalmente con los intereses de proteger contra uno u otro contaminante, de esta manera: (Menéndez y Guerra, 1997)

- ? La zona III o de régimen de limitaciones menores, está vinculada a la protección de las aguas subterráneas contra su contaminación por agentes químicos.
- ? La zona II o de régimen de limitaciones mayores, se determina para proteger a la fuente de abasto contra la contaminación bacteriológica.
- ? La zona I es un área de régimen estricto donde se realizan propiamente las extracciones del agua subterránea y protege contra todo tipo de contaminación y acceso.

En los últimos años, se han llevado a cabo muchas investigaciones aplicadas en el campo de la hidrogeología, con el objetivo de establecer las zonas de protección sanitarias alrededor de las fuentes de captación de interés económico social (Dioxian, 1987; Fritz y Pavicic, 1987; Kullman, 1987 y otros).

En Cuba se han realizado, recientemente, numerosos trabajos con vistas a establecer las zonas de protección sanitarias de los yacimientos de aguas minerales y minero-medicinales (Ruz Pina et al, 1993); Expósito et al, 1993; Iraola y Lugo, 1993).

La falta de cultura en relación con lo que debe ser la zona de protección de una fuente de abasto o una fuente mineromedicinal, hace que con frecuencia, se construyan letrinas en la misma área en que se encuentra un pozo que se utiliza para el consumo de las personas o un manantial que se utiliza con fines balneológicos. Esto da lugar a que por percolación pasen a la fuente gérmenes patógenos y se requiera instalar un sistema costoso de tratamiento del agua. Esta forma de contaminación era muy frecuente en muchos pueblos de nuestro país hace algunos años e incidía de manera significativa en un alto índice de parasitismo en la población infantil. Las unidades de Salud Pública, particularmente las de Higiene y Epidemiología velan porque no se produzcan enfermedades de tipo microbiológico tanto por ingestión de aguas contaminadas como por contacto en balnearios medicinales.

Con vistas al control de la calidad de las aguas naturales, también se han elaborado políticas y sistemas de vigilancia, mediante el registro sistemático de algunos indicadores de tipo químico-físico y bacteriológico. Con relación a las aguas minerales, el control de su calidad se garantiza a través de la Oficina de Minerales del MINBAS, de acuerdo a lo establecido en la Ley de Minas.

Bibliografía

Dioxian, Dioxian Y. "Some characteristic of groundwater protection in karst area", 19 th Congress of Int. Association of Hydrologists, 19 (2) 135-142, 1987.

Fritz y Pavicic, Fritz F. and A. Pavicic. Hydrogeological aspect of protection of the karst spring Jadro in Croatia, 19 th Congress of Int. Association of Hydrologists, 19 (2): 161-167, 1987.

Kullman, Kullman E. "Protection of groundwaters in fissure karst rock environments", 19 th Congress of Int. Association of Hydrologists, 19 (2) 234-239, 1987.

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

García J.M. "El control de la contaminación de las aguas: monitoreo y estudios intensivos", Tesis C. Dr. Ciencias Técnicas, Ciudad de La Habana, pp. 116, 1988.

García J.M. y O. Beato. Muestreo de las Aguas. Recomendaciones Técnicas Generales, Ed. Inst. Hidroeconomía, La Habana, pp. 25, 1979.

González A. y S. Jiménez. "La protección sanitaria a los acuíferos cársicos cubanos: un problema actual". I Parte, Voluntad Hidráulica, 77: 3-18, 1988.

Menendez, A y M. Guerra. " Zona II de protección sanitaria y las morfoestructuras asociadas en los acueductos El Gato y Cuenca Sur de La Habana, Provincia Habana, Cuba". En:

Investigaciones Hidrogeológicas en Cuba. Eds. D.M. Arellano, M.A. Gómez -Martín, Antigüedad. Universidad del País Vasco (España), 187-196, 1997.

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

Pulido-Bosch, A. "Agentes contaminantes y focos contaminantes". En: Contaminación de agua subterráneas. Monitoreo , evaluación, recuperación. Ed. Universidad Jaume I (Castellón, España), 2.1-2.5, 1977

Ruz Pina et al, Ruz Pina I., M. Campo Cordero y H. González. "Protección de los yacimientos de aguas mineromedicinales y de mesa. Experiencia en Cuba". En: Libro Resumen XXIX Congreso de la Sociedad Internacional de Técnicas Hidrotermales, La Habana, 1993, 61, 1993.

Expósito et al, Exposito J.L. y R. Barea. "Resultados obtenidos en el cálculo de zona de protección sanitaria alrededor del pozo *Lobatón* sobre la base de métodos geofísicos". En: Libro Resumen XXIX Congreso de la Sociedad Internacional de Técnicas Hidrotermales, La Habana, 1993, 69, 1993.

Iraola y Lugo, Iraola S. y R. Lugo. "Diferentes modelos matemáticos para el cálculo de las zonas de protección sanitaria". En: Libro Resumen XXIX Congreso de la Sociedad Internacional de Técnicas Hidrotermales, La Habana, 1993, 69, 1993.

Agua de bebida envasada

Juan Reynerio Fagundo Castillo, Luis Sánchez Rodríguez y Patricia González Hernández

Vicedirección de Termalismo

Centro Nacional de Medicina Natural y Tradicional

Agua mineral envasada

Otro concepto que se define también en las normas es el de agua de bebida envasada (NC 2: 1996). En dichas normas se definen los distintos tipos de agua destinadas para estos fines; así como los requisitos para su manipulación, elaboración, circulación y comercialización. La Norma Cubana de Agua de Bebida Envasada 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 natural carbonatada naturalmente. Agua mineral natural que, después de un posible tratamiento de reposición de CO₂ libre y del envasado, contiene la misma cantidad de CO₂ original que al surgir de la fuente de agua mineral, teniendo en cuenta la tolerancia técnica normal.

Agua mineral natural no carbonatada. Agua mineral natural que por su naturaleza y después de un posible tratamiento y de su envasado, no contiene CO₂ libre en una medida que no exceda la cantidad necesaria para mantener presente los iones HCO₃⁻ disueltos en agua.

Agua mineral natural descarbonatada y agua mineral natural reforzada con dióxido de carbono en la fuente. Agua mineral que, después de un posible tratamiento y de su envasado, no tiene el mismo contenido de CO₂ que surgir de la fuente.

Agua mineral natural carbonatada. Agua mineral natural que, después de un posible tratamiento y de su envasado, se ha hecho efervescente mediante la adición de CO₂ no procedente de la fuente.

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.

Agua de manantial. Agua que emerge espontáneamente a la superficie de la tierra con un caudal determinado por el ciclo hidrológico después de ser captada mediante labores practicadas para su explotación. No posee las propiedades del agua mineral.

Agua natural. Agua que a diferencia de la de manantial se capta mediante la perforación de pozo.

Requisitos de la calidad hidroquímica y sanitaria de las aguas minerales envasadas

La calidad de las aguas minerales envasadas se controla mediante una serie de requisitos físicos, químicos y sanitarios, los cuales se establecen en las normas. De acuerdo a la NC 2: 1996, las aguas deben poseer las características que se indican en la tabla 5.

Tabla 5. Requisitos de composición y calidad de las aguas minerales envasadas

Requisitos organolépticos	
Indicador de calidad	Evaluación
Olor	Característico, libre de olores extraños
Sabor	Característico, libre de sabores extraños
Color	Incoloro
Aspecto	Límpido
Límite de determinadas sustancias	
Sustancia	Valor máximo permisible en mg/l (ppm)
Cobre	1
Manganeso	2
Cinc	5
Borato	30 (calculado como H ₃ BO ₃)
Materia orgánica	3 (calculada como O ₂)
Arsénico	0,05
Bario	1
Cadmio	0,01
Cromo	0,05 (calculado como Cr total)
Plomo	0,05
Mercurio	0,001
Selenio	0,01
Fluoruro	2 (calculado como F ⁻)
Nitrato	45 (calculado como NO ₃ ⁻)
Sulfuro	0,05 (calculado como H ₂ S)

Con relación a los contaminantes, la referida norma establece los requerimientos que se presentan en la tabla 5.

Tabla 6. Requerimientos de las aguas minerales envasadas de acuerdo a la NC 2: 1996

Contaminante	Límite máximo de detección
Compuestos fenólicos	No deberá ser evidente
Agentes tensoactivos	No deberá ser evidente
Aceite mineral	No deberá ser evidente
Hidrocarburos aromáticos polinucleares	No deberá ser evidente
Cianuro	0,01 mg/l (calculado como CN)
Nitritos	0,005 mg/l (calculado como NO ₂ ⁻)

Requisitos microbiológicos

El agua de bebida deberá poseer una calidad tal que no represente un riesgo para la salud del consumidor. Los requisitos microbiológicos establecidos en la Norma Cubana de Agua de Bebida Envasada se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Requerimientos microbiológicos establecidos en la NC 2-1996

Conteo total de microorganismos Heterótrofos		100 UFC/ml (mínimo), 10000 100 UFC/ml (máximo)
Microorganismos específicos	Técnicas de tubos múltiples	Técnicas de filtración por membrana
Coliformes	< 2,2 NMP/100ml	0 UFC/ml
Streptococos fecales	< 2,2 NMP/100ml	0 UFC/ml
Pseudomonas aeruginosa	< 2,2 NMP/100ml	0 UFC/ml
Bacterias anaerobias Espuruladas, Reductoras de sulfato	< 2,2 NMP/100ml	0 UFC/ml

Bibliografía

- N.C-2-1996. Agua de bebida envasada. Especificaciones pp 5,1996

El Clima como recurso para la Climatoterapia

Juan Reynerio Fagundo Castillo

Vicedirección de Termalismo

Centro Nacional de Medicina Natural y Tradicional

Se llama clima al conjunto fluctuante de condiciones atmosféricas caracterizadas por los estados y evolución del tiempo en un lugar determinado. También se dice que el clima es el estado medio de la atmósfera de tierra en un sitio dado durante un intervalo de tiempo determinado (Llamas, 1993).

El estado de la atmósfera se llama **tiempo**. El clima está constituido por los valores medio de los elementos meteorológicos.

El clima está sometido a variaciones más o menos periódicas y por consiguiente, en la definición del clima hay que especificar el periodo de tiempo en el cual se realiza el estudio. Para comparar el clima de dos lugares, es necesario considerar un periodo de tiempo común.

La energía solar es el factor determinante en todos los elementos climáticos. Estos elementos son:

- ? Intensidad de las radiaciones.
- ? Duración de la insolación.
- ? Temperatura del aire.
- ? Presión atmosférica.
- ? Evaporación.
- ? Humedad.
- ? Nubosidad.
- ? Precipitación.

Radiación solar:

La radiación solar es un modo de propagación de la energía por el cual la transmisión se realiza mediante ondas electromagnéticas. Los rayos solares están formados no solo por los rayos luminosos visibles, sino también por ondas que van desde el infrarrojo hasta ultravioleta (el espectro total es 10 veces mayor que el visible).

Insolación:

Se llama insolación a la cantidad de radiación directa incidente por unidad de superficie horizontal a una elevación determinada.

Temperatura del aire:

Desde hace solo 150 años se mide en forma sistemática la temperatura del aire. Los valores registrados en las estaciones permanentes son: horarios, diarios, mensuales y anuales.

La temperatura más alta del día se produce entre las 14:00 y las 17:00 y no al medio día de cuando el sol calienta con más intensidad la tierra, durante una parte de la tarde el aire y la superficie terrestre sigue absorbiendo más calor que el que pierde y por consiguiente, la temperatura no deja de aumentar hasta que se produce un equilibrio entre las ganancias y las pérdidas térmicas totales. El periodo que va desde el medio día hasta este punto de equilibrio se llama retraso máximo. A partir del punto de equilibrio, la temperatura desciende, primero con rapidez hasta las 20:00 o 22:00 horas, y luego más lentamente hasta el amanecer, que es cuando se produce la temperatura mínima.

La diferencia entre la temperatura más alta y la más baja de un día se llama amplitud cotidiana.

La marcha anual de la temperatura en la mayor parte de las regiones del hemisferio norte hace que enero sea el mes más frío del año y julio el más caliente ocurriendo lo inverso en el hemisferio sur.

Se llama amplitud anual de la temperatura a la diferencia entre la temperatura medio del mes más caliente y la temperatura media del mes más frío.

Presión atmosférica:

La presión atmosférica es el peso de una columna de aire sobre una superficie unitaria y de altura igual a la de la atmósfera. La misma disminuye con la elevación.

Los estudios relacionados con las variaciones barométricas durante muchos años, han permitido establecer el valor normal, horario, diario, mensual y anual de la presión atmosférica para la mayor parte de la superficie terrestre. La presión normal anual difiere en los distintos lugares del mundo, mientras que la mensual varía además con las estaciones.

Vientos:

En meteorología se llama viento al movimiento aproximadamente horizontal del aire atmosférico. Los movimientos verticales se llaman corrientes.

Se llama viraje al movimiento de dextrógiro del viento (en el sentido de las manecillas del reloj) y retroceso al movimiento levógiro (en el sentido contrario de las manecillas del reloj).

La medición del viento se basa en la presión ejercida sobre los objetos que encuentra a su paso:

$$p = Kv^2$$

donde p: presión ejercida por el viento; v: velocidad y K: constante que depende de las unidades empleadas.

Ni la dirección ni la intensidad del viento son regulares sobre la superficie de terrestre; el movimiento del aire se presenta en forma de ráfagas y calmas sucesivas de corta duración. Mientras más fuerte sea el viento, mayor será la turbulencia, siendo ésta más importante en el bosque que en el descampado y más importante en tierra que en el mar. Los árboles, los arbustos y las pequeñas irregularidades superficiales provocan torbellinos de intensidad preferencial a la altura del obstáculo, cambiando a la vez la dirección y la intensidad del viento. Otra causa de la turbulencia es el gradiente térmico vertical de la temperatura.

Evaporación

Se llama vaporización al paso de un cuerpo del estado líquido al gaseoso. Toma el nombre de evaporación cuando se produce únicamente en la superficie libre de un líquido, y ebullición cuando el vapor se origina en la masa líquida y escapan a la atmósfera en la superficie.

La evaporación de una superficie líquida depende de los factores siguientes:

Temperatura del agua

Humedad relativa del aire

Movimiento del aire

Salinidad del agua

Humedad relativa

La **humedad** es el estado de la atmósfera en cuanto a su contenido de vapor de agua.

La **humedad absoluta** es el cociente entre la masa de vapor de agua y el volumen de aire que la contiene. Aumenta cuando un volumen de agua se incorpora al aire (durante la evaporación) y disminuye al reducirse el vapor (durante la precipitación).

La **humedad relativa** es el cociente entre la cantidad real de vapor de agua en un volumen de aire y la cantidad posible en el mismo volumen y a la misma temperatura. La humedad relativa es igual a la presión de vapor dividida por la presión de saturación.

La **presión de vapor** es aquella que ejerce el gas al abandonar el líquido. En el caso del vapor de agua, es la presión que ejerce el vapor sobre la superficie del líquido. La misma depende de la concentración del vapor (el número de moléculas por unidad de volumen). Cuando se establece el equilibrio entre el número de moléculas que se escapan del líquido y el número de moléculas que retornan al mismo, entonces se dice que el vapor de agua está **saturado**.

Se llama **punto de rocío** la temperatura a la que hay que enfriar un volumen de aire, sin modificar ni su presión ni su contenido de vapor de agua, para que alcance su punto de saturación y se condense. Al enfriarse el vapor a una temperatura más baja que la del punto de rocío, una parte se transforma en líquido. Este fenómeno se llama **condensación**.

Aunque la condensación suele empezar cuando se alcanza la temperatura del punto de rocío, existen casos en que el fenómeno se retrasa (por ejemplo, cuando el aire contiene únicamente partículas insolubles). En estas condiciones el aire está sobresaturado.

El método más empleado para medir la humedad relativa es mediante el psicrómetro. Consiste en medir dos temperaturas, una de bulbo seco y otra de bulbo húmedo (al termómetro se le coloca una muselina humedecida) y determinar la humedad relativa mediante una fórmula empírica (fórmula psicrométrica).

Nubes y nubosidad

Las clasificaciones de los tipos de nubes se basan en modificaciones de la propuesta por Luke Howard en 1803:

Cirros (superiores)

Estratos (intermedias)

Cúmulos (intermedias)

Nimbos (inferiores, de desarrollo vertical)

En los manuales de meteorología se describen los tipos, especies y variedades de nubes, así como los procesos de formación.

Se llama **nubosidad** la fracción de tiempo en que el cielo está cubierto de nubes durante un período fijo de tiempo. Para medir la nubosidad se utiliza una escala que va desde = (ausencia de nube) hasta 10 (cielo totalmente cubierto).

Precipitación

Este término se emplea para designar la caída del agua, bajo cualquiera de sus formas, sobre la superficie terrestre: lluvia, nieve o granizo.

Bibliografía

Llamas J. "Hidrología General". E. Universidad del País Vasco (España), pp. 635, 1993