

PROCESOS BIOGEOQUÍMICOS EN SISTEMAS HIDROTERMALES, LAGOS SALINOS Y SALINAS COSTERAS, Y SU PAPEL EN EL ORIGEN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AGUA.

Juan Reynerio Fagundo Castillo¹, Paricia González Hernández¹, Mónica Rodríguez Piña², Margaret Suárez Muñoz¹, Clara Melán Rodríguez¹

¹Centro Nacional de Medicina Natural y Tradicional, MINSAP.

²Centro de Estudios de medio ambiente, UH.

(juanrfag@infomed.sld.cu)

PROCESOS BIOGEOQUÍMICOS EN SISTEMAS HIDROTERMALES, LAGOS SALINOS Y SALINAS COSTERAS, Y SU PAPEL EN EL ORIGEN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AGUA.

RESUMEN

La Biogeoquímica, fundada por Vladimir Vernadsky en 1926, es un sistema de ciencias interdisciplinarias que estudia los procesos químicos, físicos y biológicos, y las reacciones que gobiernan la composición de los componentes del ambiente natural. Esta disciplina de la ciencia se relaciona con ciencias de la atmósfera, biología, ecología, química ambiental, geología, oceanografía y ciencias del suelo. En este trabajo se muestran ejemplos de procesos biogeoquímicos que ocurren en la hidrosfera en condiciones extremas, tales como: sistemas hidrotermales, lagos salinos y salinas costeras, con la participación de bacterias saprofitas y microalgas.

Palabras clave: Procesos biogeoquímicos, sistemas hidrotermales, lagos salinos, salinas. .

ABSTRACT

The Biogeochemistry, an interdisciplinary science founded by Vladimir Vernadsky in 1926, provides the basic knowledge for understanding the physicochemical and biologic processes which govern the component composition of the natural environment at the different spheres of the earth. This science is related with the atmosphere sciences, biology, environmental chemistry, geology, ecology, soil sciences and oceanography. In this work, some examples of biogeochemical processes which occur at the hydrosphere in extreme conditions as hydrothermal systems, saline lagoon and coastal saline with the participation of saprophytic bacteria and micro alga are shown.

Key words: Biogeochemical processes, hydrothermal systems, saline lagoon, coastal saline.

INTRODUCCIÓN

Como se ha señalado en un artículo anterior, la Biogeoquímica, fundada por Vladimir Vernadsky en 1926 (1), es un sistema de ciencias interdisciplinarias que estudia los procesos químicos, físicos y biológicos, y las reacciones que gobiernan la composición de los componentes del ambiente natural (incluyendo la biosfera, la hidrosfera, la pedósfera, la atmósfera y la litósfera), y el ciclo de materia y energía que transportan los compuestos químicos de la Tierra en el tiempo y el espacio.

Esta disciplina de la ciencia ha alcanzado un gran desarrollo en breve tiempo, desarrollándose numerosas y novedosas investigaciones relacionadas con el ciclo biogeoquímico de un grupo de elementos químicos, tales como carbono, oxígeno, nitrógeno, fósforo y azufre, así como de los elementos trazas, isótopos estables y radionúclidos. Entre su ámbito de aplicación se puede citar las investigaciones relacionadas con: modelación de sistemas naturales, procesos de acidificación del suelo y agua, procesos de eutrofización en agua superficial, secuestro de carbono, remediación del suelo, procesos biogeoquímicos en condiciones extremófilas y cambio climático.

Entre las instituciones y grupos de trabajo que se destacan por las investigaciones que realizan en el campo de la biogeoquímica, se pueden mencionar, entre otros, los siguientes: [Biogeochemistry group, Department of Atmospheric and Oceanic Sciences, UCLA;](#) [Biogeochemistry Lab, Smithsonian Environmental Research Center;](#) [Biogeochemistry group, Chemical Engineering, Lund University;](#) [Max-Planck-Institute for Biogeochemistry;](#) [Complex Systems Research Center, University of New Hampshire;](#) [Wetland Biogeochemistry Laboratory;](#) [Soil and Water Science Department, University of Florida;](#) [Oxford University Biogeochemistry group.](#)

Hoy existen numerosas revistas especializadas que divulgan periódicamente los resultados de las investigaciones desarrolladas en distintos países sobre esta temática. Entre las más especializadas se pueden citar: Biogeochemistry, Biogeosciences, Environmental Geology, Aquatic Sciences, Geochimical and Cosmochimical Acta, Soil Biology Biochemistry, Review Mineral Geochemistry, Journal Microbiology Biochemistry, Journal Marine System y otras.

Algunos de los procesos biogeoquímicos que ocurren en la Tierra, tienen lugar en condiciones extremas, por ejemplo, en sistemas hidrotermales a altas temperaturas, en una agua muy salada, en presencia de gases tóxicos, etc. En esos medios los microorganismos que sobreviven sufren un proceso de estrés y en ocasiones, excretan productos naturales que poseen propiedades farmacológicas importantes.

El objetivo de este trabajo es mostrar algunos procesos biogeoquímicos que tienen lugar en sistemas hidrotermales y en cuerpos de agua salinos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las mediciones de los diferentes parámetros físico-químicos se realizaron con un pHmetro MPH-4B CNIC y un conductímetro ECCA-2 CNIC. Los macro constituyentes iones se determinaron por métodos volumétricos, siguiendo las recomendaciones del “*Standard Methods for the Examination of Wastewater*” (2). Los datos hidroquímicos fueron procesados por sistemas informáticos elaborados por el colectivo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Procesos biogeoquímicos en sistemas hidrotermales

Las aguas minerales sulfuradas constituyen uno de los tipos de aguas minero medicinales más importantes en las curas balnearias, por el hecho de que su acción terapéutica abarca un amplio espectro y pueden ser administradas por todas las vías: oral, tópica e inhalatoria (3).

Estas aguas se caracterizan por contener más de 1 mg/l de azufre en forma de H_2S , HS^- , polisulfuro, tiosulfato, etc. (3,4). El contenido relativo de sulfuro de hidrógeno (H_2S) o ion sulfhídrico (HS^-) depende del pH, predominando la primera especie a valores inferiores a 7 y la segunda a valores superiores. Por encima de pH 11 predomina el sulfuro (S^{2-}).

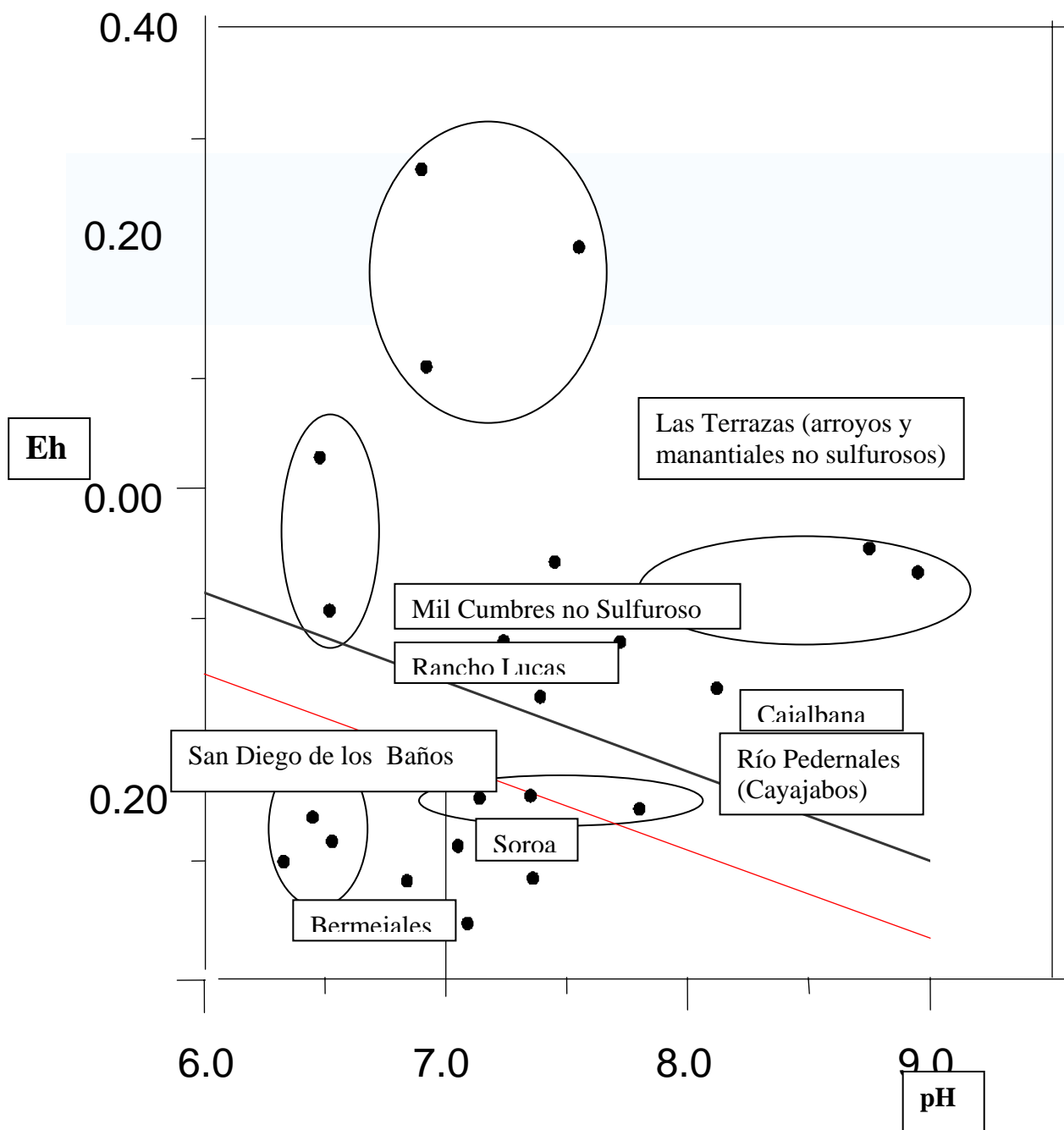


Figura 1. Relación entre el potencial redox y el pH. Aguas minerales sulfuradas.

En la figura 1 se muestra la ubicación en el diagrama de Eh vs pH de los pares de datos correspondientes a mediciones de campo efectuadas por nuestro colectivo en algunos sitios representativos (5). A partir de la información que brinda en el diagrama, se puede inferir las siguientes consideraciones:

1. Las aguas superficiales y subterráneas someras (arroyos y manantiales no sulfurados de Las Terrazas, Mil Cumbres y Cayajabos aparecen en la zona de estabilidad de los compuestos más oxidados (SO_4^{2-}), al igual que una gran parte de los manantiales de San José del Lago, Ciego Montero y algunos de Elguea (Belleza y Piscina). Estas aguas no poseen H_2S .
2. En la zona de estabilidad del FeS_2 se ubican parte de las muestras de San José de los Lagos con contenidos de H_2S relativamente bajos.
3. En la zona de estabilidad del HS^- ($\text{pH} > 7$), se distribuyen las aguas minerales de Las Terrazas (algunas en el límite con la zona de estabilidad del FeS_2 o dentro de la misma), Soroa, Mil Cumbres sulfurado y El Sitio.
4. En la zona de estabilidad del H_2S ($\text{pH} < 7$), se localizan las aguas minerales de San Diego de los Baños, Los Bermejales y el resto de las aguas de Elguea.

Además de las acciones terapéuticas y farmacológicas relacionadas con los compuestos sulfurados, las aguas minero-medicinales sulfuradas suelen estar acompañadas de otros iones, tales como SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , así como componentes minoritarios: Rn, As, Fe, Cu, Co, Si, F, etc., los cuales le confieren otras propiedades beneficiosas en las curas balnearias.

En la tabla 1 se muestran las principales propiedades físicas y químicas de algunas fuentes de aguas minerales sulfuradas de Cuba.

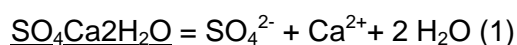
Tabla 1. Principales propiedades físicas y químicas de aguas minerales sulfuradas de Cuba.

No	T (°C)	PH	Eh (mv)	TSS (mg/l)	H ₂ S (mg/l)	Tipo hidroquímico
7	22.7	7.09	-365	1107	198.9	HCO ₃ >SO ₄ -Na>Ca>Mg
8	23.7	7.36	-317	1142	21.6	HCO ₃ -Na
9	26.1	7.04	-238	760	8.1	HCO ₃ >SO ₄ -Ca>Na
10	36.0	7.15	-254	1055	4.0	SO ₄ >HCO ₃ -Ca
11	36.0	7.40	-325	1407	6.4	SO ₄ -Ca
12	31.0	6.50		2662	27.5	SO ₄ -Ca
13	31.0	7.60	-317	1531	38.5	SO ₄ -Ca
18	27.0	7.00	-290	520	15.00	HCO ₃ >Cl-Ca>Mg
19	27.1	7.23	-248	470	7.8	HCO ₃ -Ca
20	27.0	6.88	-235	573	8.6	HCO ₃ -Ca
21	24.8	7.30	-260	675	10.0	HCO ₃ -Ca
36	51.0	6.80	-303	47074	11.2	Cl-Na
38	41.2	6.29	-276	52801	7.3	Cl-Na
39	35.9	6.45	-266	51500	5.0	Cl-Na
40	40.1	6.53	-248	51500	5.3	Cl-Na
41	35.5	6.51	-93	47645	1.0	Cl-Na
42	36.0	9.25	-66	2007	0.9	Cl-Na
43	36.8	8.75	-269	1007	0.9	Cl-Na
46	30.8	7.01	-206	585	1.0	HCO ₃ >SO ₄ -Ca>Na>Mg
47	30.9	7.72	-119	590	0.9	HCO ₃ -Ca>Na>Mg

Fuentes (Yacimiento): 7) Pozo P-55 (El Sitio); 8) M. Sulfuroso (Mil Cumbres); 9) M. Azufre (Cacarajícara); 10) M. El Templado (San Diego de los Baños), 11) M. La Gallina (San Diego de los Baños), 12) Pozo P-1 (San Diego de los Baños); 13) M-1 (Bermejales), 18) M. Soroa 3 (Soroa); 19) M. Pozo Brocal (Las Terrazas), 20) M. San Juan Sulfuroso (Las Terrazas); 21) M. Pedernales (Cayajabos), 36) M. El Guapo (Elguea), 38) M. Carabaña (Elguea), 39) M. Hongos (Elguea), 40) M. Garganta (Elguea), 41) M. Belleza (Elguea); 42) M. del Chorrito (Ciego Montero), 43) M. Piscina Grande del Gimnasio (Ciego Montero), 46) M. El Chorrito (San José del Lago), 47) M. Piscina Termal (San José del Lago).

En Cuba, las aguas minerales sulfuradas están muy distribuidas en todo el territorio. Su formación está relacionada fundamentalmente con los procesos de oxidación – reducción de las piritas y en menor proporción con la disolución de yeso o anhidrita. En todos los casos estas aguas tienen un origen meteórico.

La fuente de SO_4^{2-} en las salinas de Cuba procede del agua marina, mientras que en acuíferos no litorales y en los yacimientos de aguas minerales puede proceder de minerales evaporíticos (yeso y anhidrita) o de las piritas. La disolución de los minerales yeso y anhidrita generan sulfatos según las siguientes reacciones:

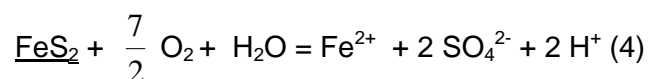
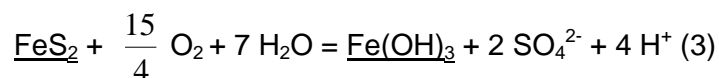


Yeso



Anhidrita

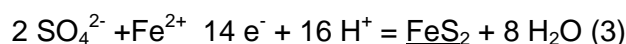
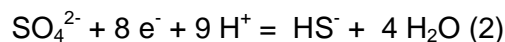
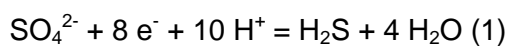
Las piritas requieren ser oxidadas previamente a sulfato antes de ser utilizadas por las bacterias anaeróbicas generadoras de sulfuros. El proceso de oxidación de las piritas es catalizado por las bacterias de los géneros Beggiotoa, Thiothin, Thioplaca, Thioradaceas y otros (6). Este proceso puede ser completo (ecuación 3) o incompleto (ecuación 4), en dependencia del oxígeno libre o combinado disponible en el medio.



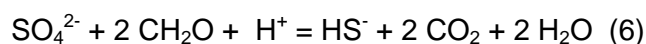
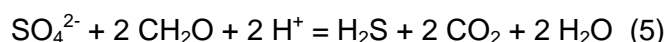
Cuando se produce la oxidación completa (3) se oxidan tanto el sulfuro como el hierro, mientras que cuando esta reacción es incompleta (4) sólo se oxidan los sulfuros, originándose ion ferroso en el medio acuático.

En el caso de las aguas minerales de Cuba, solamente las de los balnearios de Menéndez Elguea y algunas otras, se originan por disolución de yeso. Estas aguas están asociadas a yacimientos yesífero-salinos. El resto de las aguas minerales sulfuradas se originan por oxidación de piritas y reducción parcial de sulfatos.

La formación de sulfuros en el medio acuático procede de la reducción de los sulfatos. Este proceso se produce muy lentamente en ausencia de bacterias, mientras que en presencia de las mismas la reacción ocurre con rapidez. Las expresiones termodinámicas correspondientes (7) son las siguientes:



En presencia de materia orgánica (CH_2O), de la cual se nutren las bacterias, las dos primeras ecuaciones quedan como:



Las bacterias que catalizan estas reacciones son de tipo anaeróbica, ya que las mismas se producen en un medio escaso en oxígeno disuelto. Se ha reportado la presencia, tanto en los acuíferos como en los sedimentos marinos, de bacterias de los géneros Sporovibrio desulfuricans, Desulfovibrio desulfuricans, Thiobacillus ferroxidans, entre otras (6) El oxígeno puede ser aportado por las precipitaciones y llegar al acuífero a través de las grietas del terreno o tomado de compuestos oxigenados, tales como los nitratos, nitritos, fosfatos, la propia materia orgánica y otras sustancias presentes en los sedimentos (8).

Formación de fangos medicinales (peloides) en sistemas hidrotemales y cuerpos de agua salinos.

Un proceso de carácter biogeoquímico muy interesante se origina en los sistemas hidrotemales, lagos salados y salinas donde existen altas temperaturas o medios muy salinos. En estos sitios el agua altamente mineraliza, forma sedimentos por precipitación de componentes normales disueltos o suspendidos, en virtud de causas diversas: cambios de

temperatura, pérdida de gas carbónico, variaciones de potenciales de oxidación-reducción, la acción de la flora autótrofa, etc. Esos sedimentos, lodos o fango, son formaciones naturales que constan de agua, sustancias minerales inorgánicas y orgánicas y poseen propiedades terapéuticas. En su forma original han sido denominados *pelose*, y una vez enriquecidos o madurados con las propias aguas termales, se les nombran peloides (9).

Un peloide es un agente terapéutico o termoterápico, constituido por un componente sólido más o menos complejo mineral u orgánico y otro líquido que puede ser agua mineromedicinal, de mar o de lago. Estos componentes son distintos en los diversos tipos de peloides, aunque todos básicamente tengan constituyentes semejantes y comportamientos parecidos. Los principales componentes que forman la fase sólida del peloide son: silicatos (micas, arcillas, feldespatos), carbonatos (calcita, magnesita, siderita), sulfatos (yeso, anhidrita, barita, epsomita), halogenuros, (halita, fluorita, etc.), sulfuros (pirita, calcopirita) y sulfosales. Entre los componentes orgánicos se destacan: ácidos húmicos, fulvoácidos, etc., y formando parte de la materia organizada aparecen múltiples representantes de algabacterias clorofíceas, cianofíceas, diatomeas, sulfobacterias, ferrobacterias, etc. e incluso amebas, rizópodos, infusorios, paramecios rotíferos y larvas diversas. La fase líquida del peloide puede estar compuesta por agua mineromedicinal, de mar o de lagos salados (9).

Atendiendo a la composición de su fase sólida y líquida, existen diferentes tipos de peloides, que atendiendo a las características de los componentes sólidos y líquidos han sido denominados: fangos o lodos, limos, turbas, Biogleas, Saproeli, Gyttja (9).

En el proceso de formación de los peloides, tanto en forma natural como en el proceso de maduración, las microalgas y cianobacterias de los géneros *Spirulina*, *Dunaliella* y otros, se nutren de la materia orgánica presente en los sedimentos y generan una serie de moléculas orgánicas como pigmentos naturales (ficocianina, ficoeritrina, carotenoides liposolubles, clorofilas, β caroteno, cantoxantina y astaxantina); vitaminas; ácidos grasos; proteínas; aminoácidos, vitaminas, oligoelementos, alcaloides y terpenos, entre otras (10).

Algunas microalgas como *Termodesulfobacterium* se adaptan a vivir a altas temperaturas, *Spirulina* requiere como nutriente un medio de cultivo de bicarbonato de sodio superior a 10 g/l y *Dunaliella* se adapta a medios extremadamente salinos. En esas condiciones extremas, las especies que logran sobrevivir, se estresan y excretan compuestos de acción farmacológica que no se originan en ambientes más benignos. En esos medios extremófilos, otras especies como *Oscillatoria*, *Diatomeas* y otros microorganismos no pueden vivir y por tanto, no compiten en el consumo de nutrientes, obteniéndose así altos rendimientos de los productos originados por aquellos que logran adaptarse.

Propiedades físico-químicas y composición de fases mineralógicas y orgánicas de peloides de algunos sitios muestreados

En la tabla 2 se presentan resultados de las mediciones de campo realizadas en lagunas salinas, salinas costeras y sistemas hidrotermales de Argentina y Cuba (11).

Tabla 2. Determinaciones físico-químicas en algunos sitios con peloides en Argentina y Cuba.

Muestra	Sitio	Provincia	País	Tipo	T	pH	Eh
002	Carehúe	Buenos Aires	Argentina	Lago salino	7.8	8.15	-415
003	Carehúe	Buenos Aires	Argentina	Lago salino	11.6	8.00	-384
006	Guatraché	La Pmpa	Argentina	Lago salino	14.3	8.25	-306
007	Guatraché	La Pampa	Argentina	Lago salino	13.2	8.01	-409
009	Pismanta	San Juan	Argentina	Hidrotermal	16.1	8.21	-163
011	San Diego	Pinar del Río	Cuba	Hidrotermal	28.3	7.48	-308
021	Bidos	Matanzas	Cuba	Salina	28.0	-	-416
023	Bidos	Matanzas	Cuba	Salina	27.2	-	-420
031	Elguea	Villa Clara	Cuba	Hidrotermal	30.0	-	-317
032	Elguea	Villa Clara	Cuba	Hidrotermal	28.0	-	-331

En la tabla 2 puede apreciarse que los peloides muestreados tanto en fuentes hidrotermales, como en lagos salinos continentales o salinas costeras poseen por lo general un pH cercano a 8 y un potencial redox inferior a – 300 mv. La información disponible sobre las fases minerales de los peloides muestreados, indica que los minerales más abundantes son plagioclasas y cuarzo (Tabla 3).

Tabla 3. Composición mineralógica de peloides muestreados en Argentina (Carhué).

Muestra	Minerales		
	Principales	Minoritarios	Accesorios
Fango 1	Plagioclasas	Cuarzo	-
Fango 2	Plagioclasas	Cuarzo	Halita Calcita
Fango 3	Cuarzo Plagioclasas	-	-

En la tabla 4 se presenta la composición química de la fase líquida de un peloide muestreado en Argentina (Carhué).

Tabla 4. Composición de la fase líquida de una muestra de peloide (Carhué, Argentina).

Determinación	Concentración	Determinación	Concentración
Sodio (g/l)	24,5	Arsénico (µg/g)	3
Potasio (g/l)	0,255	Cinc (µg/g)	45
Calcio (g/l)	0,149	Cobre (µg/g)	13
Magnesio (g/l)	0,237	Cromo (µg/g)	20
Cloruros (g/l)	26,6	Plomo (µg/g)	7
Sulfatos (g/l)	13,5	Níquel (µg/g)	12
CE (µS/cm)	67510	Selenio (µg/g)	< 1
pH	8,3	Manganeso (µg/g)	454
		Berilio (µg/g)	< 0,5
		Hierro total (%)	6,5
		Azufre total (%)	1,6

La composición orgánica de los fangos puede variar en dependencia de la composición biológica que el mismo contenga. Por lo tanto los metabolitos secundarios estarán influenciados por los factores medioambientales. El estudio fitoquímico del peloide de San Diego de los Baños, mostró que en los extractos obtenidos (Tabla 5), se encontraron metabolitos secundarios como taninos, compuestos fenólicos, flavonoides, azúcares reductores, saponinas, compuestos con grupos amino y compuestos terpénicos y esferoidales (10).

CONCLUSIONES

Los procesos biogeoquímicos juegan un importante papel en el modo de adquisición de la composición química del agua que drena diferentes terrenos. Después de un largo recorrido subterráneo, el agua emerge con un alto contenido de gases y componentes iónicos disueltos, en dependencia de la constitución mineralógica del terreno drenado, de la temperatura que adquiere la misma en virtud del gradiente geotérmico local, y de las condiciones geológicas, hidrogeológicas y ambientales. Estos procesos biogeoquímicos están controlados por las propiedades químico-físicas del agua y por la presencia de bacterias y de los nutrientes que estas necesitan para su metabolismo. En la zona de recarga el medio es oxidante y las bacterias que participan en dichos procesos son fundamentalmente de tipo aeróbicas; por el contrario en la zona de descarga, el medio es reductor y las bacterias que catalizan los procesos biogeoquímicos son principalmente de tipo anaeróbicas.

En las emergencias, producto de que los gases disueltos en el agua tienden a escaparse a la atmósfera y como consecuencia de los cambios ácido-básicos y de potencial redox que se originan, procesos de precipitación de minerales por recombinación de iones y la formación de facies insolubles. En las zonas costeras, lagos salinos y otros tipos de humedales, bacterias de diferentes géneros (sulfatoredutoras, termófilas, hipersalinas, etc), en condiciones extremas de salinidad y temperatura crean sedimentos o peloides que poseen acción terapéutica, dado que en esas condiciones extremófilas las bacterias y las microalgas generan productos de acción biológica.

Las aguas minerales sulfuradas de Cuba se originan por reducción de sulfatos procedentes de minerales yesíferos (yacimientos de Elguea, Menéndez y otros) o piritas (el resto de los yacimientos). El contenido de relativo de sulfuros en forma de sulfuro o polisulfuro (S^{2-}), sulfhídrico (H_2S) o sulfhidrilo (HS^-) depende de los valores del potencial de oxidación reducción (Eh) y del pH del medio.

Los peloides muestreados en lagunas salinas, salinas costeras y sistemas hidrotermales en Argentina y Cuba presentan por lo general valores de pH cercano a 8 y potenciales redox inferiores a -300 mv. Los minerales más abundantes, presentes en algunos de estos peloides son las plagioclasas y el cuarzo y los componentes inorgánicos cloruro, sodio y sulfato. Entre los componentes minoritarios se distinguen manganeso, cinc y cromo.

En los extractos del peloide de San Diego de los Baños se encontraron compuestos fenólicos, flavonoides, azúcares reductores, saponinas, compuestos con grupos amino y compuestos terpénicos y esteroidales.

El entendimiento de los procesos biogeoquímicos, que requieren del conocimiento de los principios de diferentes ciencias (Química, Biología, Microbiología, Bioquímica, Farmacia, Geología, Hidrogeología), es fundamental para conocer los procesos naturales que originan las aguas mineromedicinales y peloides en los sistemas termales y cuerpos de agua salinos y para la obtención de productos de acción terapéutica útiles para la salud tales como fangos medicinales o peloides.

BIBLIOGRAFÍA

1. Rankama, K. y TH. G. Sahama. Geoquímica. Editorial Aguilar, España, 1962, pag. 862.
2. APHA – AWWA – WPCF. Métodos Normalizados para el análisis de Aguas Potables y Aguas Residuales. Am. Public Assoc., Edición 17th. Editorial Grijalbo (Madrid), 1992, pag. 4-1 - 4-235.
3. San Martín J. y M. Armijo-Castro. "El azufre en las aguas mineromedicinales: aguas sulfatadas y aguas sulfuradas". En: Curas Balnearias y Climáticas. Talasoterapia y Helioterapia, Ed. Competense, Madrid, 1994, pag. 243-256.
4. Karakolez, D. Fundamentos de la Balneoterapia. Ed. Medicina y Cultura Física. Sofía, 1984, pag. 298.
5. González, P., M. Suárez, G. Benítez, J. Ramírez y J.R. Fagundo. "Caracterización de aguas minerales de algunos yacimientos del país". Le Monde du Thermalisme. Ed. L' Organisation Mondiale du Thermalisme (O.M.Th). Paris (Francia), 2000, pag. 14-15.
6. Bitton, G. Role of Microorganisms in Biogeochemical Cycles. In: Wastewater Microbiology. Ed. Wiley-Liss, 1994, pag. 51-73.
7. Drever, J. I. . The Geochemistry of Natural Waters. Ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1982, pag. 430.
8. Appelo C. A. J. and D. Postma. Geochemistry, Groundwater and Pollution. Ed. Balkema, Rotterdam, Netherlands, 1993. pag. 536.
9. San Martín, J. "Peloides en general. Características físicas, efectos biológicos e indicaciones terapéuticas". En: Curas Balnearias y Climáticas, Talasoterapia y Helioterapia. Editorial Complutense (Madrid, España), 1994, pag. 313-331.
10. Pérez, M., C. Melián, M. Suárez, C. Nogueiras, F.R. Segarte, P. González, J.R Fagundo. Composición Orgánica y mineralógica de los fangos de San Diego de los Baños. III Simposium Internacional de Química, 2007. SIQ 07. ISBN 978-959-250-337-3
11. Pesce, H.A. J.R. Fagundo, P. González, M. Suárez, C. Nogueira, J. Castillo. Propiedades físico química y composición de componentes sólidos y líquidos de peloides de Argentina y Cuba. Trabajo en preparación, 2008.