

EL HIERRO EN LA NATURALEZA

ANTONIO J. RAMÍREZ ORTEGA
y CARMEN SAN JOSÉ ARANGO

INTRODUCCION

El hierro es el cuarto elemento más abundante de la corteza terrestre (54 kg/t) y el segundo de los metales, después del aluminio (81 kg/t). En las rocas ígneas más básicas, como es el basalto, puede alcanzar valores de hasta 86 kg/t, mientras que las más ácidas, como el granito, sólo tienen 27 kg/t y las pizarras hasta 47 kg/t. En las aguas su concentración suele ser baja, dependiendo de su pH y Eh, encontrándose en el agua del mar sólo 2 mg/l.

Su abundancia en la naturaleza se debe a su carácter geoquímico, pues siendo un elemento siderófilo, el más abundante en los meteoritos, tiene gran afinidad por el azufre y por el oxígeno. Por lo tanto es también calcófilo y litófilo, e incluso biófilo.

Los minerales de hierro se comportan muy diferentemente ante los agentes meteorizantes, y una vez dissociado su movilidad es también muy variada, según el ambiente químico en el que se encuentren, pues su solubilidad y estabilidad depende de la presencia del oxígeno, de la materia orgánica y del grado de acidez de las aguas que lo transporta.

Este elemento tiene una gran importancia biológica, por sus funciones metabólicas en las plantas, interviniendo en la formación de la clorofila, y en los animales, formando una parte importante en los tejidos y especialmente en la sangre.

El hierro interviene principalmente en la función biológica de la respiración, puesto que transporta el oxígeno hasta los tejidos, por medio de la hemoglobina, compuesto porfirínico del hierro. Este se combina con el oxígeno, formándose la oxihemoglobina, sin que se oxide el hierro, que actúa meramente de catalizador, y finalmente ésta se disocia cediendo su oxígeno a las células.

En los seres humanos la cantidad total de hierro en un adulto normal puede llegar a ser de 5 g, estando en su mayor parte en la hemoglobina de la sangre (3,5 g) y siendo la exigencia diaria normal de 10 mg en los varones adultos a 30 mg en las mujeres embarazadas. En los casos de mayor necesidad o de anemia ferropénica, la bebida de aguas ferruginosas pueden ser el aporte conveniente para suministrar hierro al cuerpo humano.

El hierro en las rocas es fácilmente reconocible, pues realmente es el «pintor de la naturaleza», a las que colorea de rojo, ocre, gris o verde, según que sus compuestos estén oxidados o en estado reducido.

El Hierro es un elemento vital en todos los seres.

EL HIERRO EN LOS MINERALES Y LAS ROCAS

El hierro se encuentra en casi todos los grupos de minerales, pues se asocia con todos los otros constituyentes fundamentales de ellos, como el oxígeno, los carbonatos, silicatos, sulfatos, sulfuros e hidróxidos, principalmente; pero, también, aparece como impureza en muchos minerales propios de otros elementos.

El Hierro Nativo se encuentra en la corteza terrestre en muy pequeñas cantidades y en muy pocos yacimientos, apareciendo sólo en los lugares donde se ha producido un proceso de reducción semejante al que se realiza en los hornos altos de la industria siderúrgica, en los que se reducen los minerales de hierro oxidados o carbonatados con carbón. Es así que este tipo de mineral se ha encontrado en coladas de rocas volcánicas basálticas, donde entrarían en contacto con capas de carbón; como ocurrió en los basaltos de Olot y Sant Dalmai (Girona).

El óxido más importante es el Oligisto o Hematites Roja (Fe_2O_3), en el que el 70 % es Fe. Este mineral, generalmente masivo y de origen muy diverso se encuentra en el yacimiento de Somorrostro (Vizcaya) y también se ha extraído de diversos lugares de España, como Sierra Nevada (Granada), Sierra Almagrera (Almería), El Pedroso y Guadalcanal (Sevilla), Sierra del Moncayo (Soria).

El otro mineral del grupo de los óxidos es la Magnetita (Fe_3O_4), en el que el 31% es FeO y el resto Fe_2O_3 . Este mineral se encuentra en masas, agregados y en cristales aislados, ligados a rocas ígneas, principalmente básicas y algunas metamórficas; por ser bastante resistente a la meteorización química, una vez liberado de las rocas que lo contiene se concentra en los aluviones dado su peso específico (5 g/cm³). Se asocia, también, con otros metales como el titanio, manganeso, cromo y níquel. En España sus yacimientos más importantes estuvieron en Viveiro (Lugo), Ojén y Carratraca (Málaga), Porcia (Asturias), Burgillos del Cerro (Badajoz), Cala (Huelva) y El Escorial (Madrid); encontrándose en los cuatro últimos en rocas calcáreas metamorfizadas por el contacto con ígneas o skarn.

El oxi-hidróxido de hierro o Goethita, que tiene el 89,96 % de FeO, es un mineral producido por la alteración de otros minerales de hierro, debido a la meteorización y por lo tanto formado en las condiciones ambientales oxidantes con una temperatura ordinaria y en contacto con el aire. Otro hidróxido es la Limonita, que realmente es una Goethita de tamaño de grano muy fino mezclada principalmente con arcilla. Los dos aparecen asociados al Oligisto y a la Siderita, en los yacimientos de Vizcaya, Teruel, Lugo, Almería, Murcia y Badajoz.

La Goethita y la Limonita aparecen siempre en las surgencias de las aguas ferruginosas, donde se depositan al entrar en contacto con el ambiente oxidante de la

atmósfera, que produce el cambio de iones ferrosos, disueltos en el agua mientras están en el ambiente reductor de la circulación subterránea, a iones férricos que se asocian con el ión óxigeno y oxihidriilo, formando esos compuestos que son insolubles.

Tanto los óxidos como los hidróxidos son los minerales más importantes del hierro, por lo tanto dada su abundancia y concentración se utilizan como menas para la obtención de este metal.

En la Cromita el hierro está combinado con el cromo, en forma de óxido, siendo su contenido en FeO del 32 %. Este mineral está muy ligado a las rocas magmáticas ultrabásicas de las peridotitas y las serpentinas, encontrándose en Carratraca y Serranía de Ronda (Málaga) y Sierra de Capelada (A Coruña).

Con el titanio, el hierro forma la Ilmenita, que tiene 47,34 % de FeO. Este mineral se presenta en la mayoría de las rocas ígneas, pero con más abundancia en las básicas, en las que está asociada con la magnetita. También, se encuentra diseminado en las pizarras y a veces concentrado en los aluviones, debido a su resistencia a la meteorización y a su densidad. En España se han explotado algunas arenas de playa y rios en Galicia, para obtener este mineral que se usa en pinturas y como mena de titanio, para aceros especiales.

Existen otros minerales en los que el hierro está asociado con el manganeso en compuestos de otros metales, como el niobio (Niobita), tántalo (Tantalita) y wolframio (Wolframita); pero ellos, también, son muy resistentes a la alteración química de la meteorización por lo cual el hierro que contiene no llega prácticamente a estar en disolución en las aguas superficiales ni subterráneas.

La asociación del hierro con el azufre se realiza en tres importantes minerales: Pirita y Marcasita (FeS_2), y Pirrotita (FeS). Los dos primeros con el 46,5 % de Fe y el último con un contenido variable de azufre. El primero cristaliza en sistema cúbico, el segundo en el rómbico y el tercero en el exagonal. A pesar de tener la misma composición la Pirita y la Marcasita, es mucho más alterable éste último, debido a que su estructura cristalina es más débil, siendo la de la Pirrotita intermedia a los dos; por esta razón las rocas que contienen Marcasita o Pirrotita aportan más fácilmente su hierro a las aguas con las que entra en contacto.

Esos sulfuros de hierro, que abundan en yacimientos ígneos filonianos y masivos, y en formaciones metamórficas de pizarras y sedimentarias de carbón, asociado a la materia orgánica, son los que suelen dar lugar a manantiales de aguas ferruginosas; pero a pesar de su abundancia no se usan como mena de hierro, sino de azufre debido a su alto contenido.

Existen otros minerales sulfurados en los que el hierro está asociado con otros elementos, como el arsénico en el Mispiquel, que tiene un 34,3 % de Fe; pero que sólo se utiliza para obtener arsénico.

Uno de los sulfuros más importante es la Calcopirita, que tiene el 30,5 % de Fe, siendo la mena más importante del cobre, junto con las Tetraedritas, la Bornita y la Cubanita, que sólo tienen un 4 % de Fe. También, se encuentra en el sulfuro de zinc

(Blenda ferrífera), que puede contener hasta un 20 % de Fe; el de estaño (Estannina), con 13 % de Fe.

En algunos yacimientos se presenta el hierro en forma de minerales sulfurados complejos, como los de la faja piritica de Huelva-Alentejo, en los que se encuentran además del hierro y cobre, metales como: níquel, cobalto, plata y oro.

El mineral de hierro clorurado es la Rinneita, que además tiene potasio y sodio, encontrándose en todos los yacimientos potásicos, entre ellos en las Cuencas Potásicas de Cataluña y Navarra, donde también el hierro aparece en forma de Goethita finamente diseminada, dando color anaranjado, rojizo y amarillento a varios de los minerales evaporíticos típicos de esos yacimientos, como: Silvina, Carnalita y Halita.

El mineral de hierro carbonatado es la Siderita, que aparece a veces acompañando a otros minerales en los filones metalíferos y también en formaciones sedimentarias de calizas, explotándose entonces como mena de hierro. Su contenido en FeO es del 62,1 %. Existen muchos yacimientos en España, en los que se extrajo este mineral, los más importantes fueron: Somorrostro (Vizcaya), Ojos Negros (Teruel) y Ezcaray (Logroño).

El sulfato más conocido es la Jarosita, sulfato doble de hierro y potasio hidratado, que tiene 47,9 % de Fe₂O₃. Este mineral procede de la descomposición de los sulfuros ferríferos en un ambiente oxidante.

Entre los fosfatos el más común es la Vivianita, que tiene un 43 % de FeO, y se encuentra acompañando a la Limonita en los yacimientos sedimentarios de hierro, en los que ha habido un aporte de ácido fosfórico supergénico dentro de un ambiente reductor, como puede ser una turbera, donde se encuentra el denominado «Hierro de los pantanos».

En la clase de los silicatos existen numerosos grupos de minerales ferríferos, entre los que destaca el Olivino, de la subclase de los nesosilicatos, es decir, de los constituidos por tetraedros de SiO₄ aislados. En él, debido a la semejanza entre los radios iónicos del ion ferroso (0,86 Å) con el ion magnesio (0,80 Å), existe una solución sólida entre un miembro extremo sólo ferrífero o Fayalita (70,6 % de FeO) y otro sólo magnésico o Forsterita.

El Olivino es un mineral típico de las rocas ígneas procedentes de los magmas, cuya cristalización da lugar a rocas básicas, en las que el contenido en Sílice es inferior al 20 % y superior al 65 % en Plagioclasas. Estas rocas son principalmente el gabro y la norita entre las intrusivas, con el 35 a 65 % de minerales ferro-magnesianos, entre los que destaca el Olivino. También, existen diques con una composición similar al gabro, como son las diabasas. Afloramientos de gabros se conocen en la zona de Arteixo y Carballo (A Coruña), y en la Caldera Tamburiente de la Isla de la Palma.

Entre las rocas ultrabásicas intrusivas destacan las peridotitas, con más del 40 % de Olivino, que se encuentran en la Serranía de Ronda (Málaga) y dentro de este grupo la dunita, con más del 90 % de Olivino, de la que existen importantes afloramientos en Sta. María de Ortigueira, Sobrado y Melide (A Coruña), y Silleda (Pontevedra).

La roca equivalente al gabro entre las rocas efusivas o volcánicas, por su composición y por lo tanto con un alto contenido en Olivino, es el basalto. Las coladas de lavas basálticas se encuentran en las zonas volcánicas del Cuaternario en Olot, Massanet de la Selva, Castellfullit de la Roca, Hostalric (Girona) y el Campo de Calatrava (Ciudad Real).

Al mismo grupo del Olivino pertenece la Estauroлита, que es un aluminosilicato de hierro y tiene un 49,7 % de FeO, encontrándose en las rocas metamórficas, principalmente en los esquistos micáceos y neises, de Somosierra (Madrid), Fisterra (A Coruña), Fuentenebro (Burgos), Velez-Málaga, entre otros.

Dentro de la subclase de los nesosilicatos está el grupo de los granates, en el que el mineral ferrífero es la Almandina (43,3 % de FeO), junto con la Andradita (31,5 % de Fe₂O₃) y la Melanita, que también son cálcicos. Todos ellos son abundantes, encontrándose principalmente en las anfibolitas de Lugo y del Cabo Ortegal (A Coruña), en el neis del Cap de Creus y filones de cuarzo en Palafrugell y Costabona (Girona), en la Sierra de Guadarrama (Madrid), en la Sierra Alhamilla (Almería), entre otros. Al mismo grupo, y también cálcico, pertenece la Epidota (12,6 % de Fe₂O₃), que es un mineral típico de las rocas básicas como son las doleritas, por lo que se encuentra generalmente en las ofitas del Trías.

En la subclase de los inosilicatos, que tienen estructura en cadenas, está el grupo de los piroxenos, entre los que se encuentra el piroxeno rómbico de la Hiperestena (15 a 34 % de FeO), formando parte de las rocas volcánicas andesíticas del Cabo de Gata (Almería). Entre los monoclinicos está la Augita (16 % de FeO), muy abundante en las rocas volcánicas de la Península y de Canarias.

En el grupo de los anfíboles también existen minerales ferríferos, entre los que destaca la Hornablenda (10 % de Fe₂O₃), que se encuentra en rocas metamórficas, como: neises, esquistos cloríticos, anfibolitas, y en algunas ígneas ácidas e intermedias, como: granito, sienita y diorita. Aunque, por lo tanto, está muy difundido por España, destacan las localidades de Loiriz (Lugo), Miraflores (Madrid), El Pedroso (Sevilla), Marbella (Málaga) y Lanjarón (Granada).

En el grupo de las micas, perteneciente a los filosilicatos o silicatos de estructura hojosa, existen varios minerales ferríferos, y entre los más conocidos están la Biotita o Mica ferromagnésiana, potásica y manganesífera, con 5 a 25 % de FeO y 2 a 20 % de Fe₂O₃, que es la más común de las micas, encontrándose en casi todas las rocas ígneas y metamórficas de nuestra geografía.

En el grupo de los Cloritoides está la Ottrelita, que tiene 24 % de FeO, encontrándose en algunas formaciones metamórficas de las pizarras paleozoicas. También existe hierro en el grupo de las cloritas, que son micas ricas en magnesio, y llegan a tener 1,3 % de Fe₂O₃ y 39,74 de FeO, como es la Chamosita.

Las arcillas, que son un producto de alteración meteórica de los feldespatos y de las micas, también contienen hierro generalmente en forma de compuestos hidratados residuales.

La Zinwaldita es una mica ferro-litínica y la Glauconita ferro-potásica, magnésífera y cálcica. La primera está asociada a los granitos en los que se encuentran yacimientos

neumatolíticos de Casiterita, como los que se explotaron en Galicia, Zamora y Salamanca, y la segunda es de origen sedimentario marino, generalmente en formaciones detríticas, como las areniscas calcíferas o maciños de Puigsacalm (Girona).

La alteración química de algunos de estos minerales por las aguas meteóricas en ambiente oxidante es el proceso por el cual el hierro se libera y posteriormente si se encuentra en un ambiente reductor, especialmente por la existencia de materia orgánica se solubiliza y puede ser transportado por las aguas subterráneas.

También sucede que las aguas de escorrentía superficial llegan a ser un buen medio de transporte de los óxidos e hidróxidos de hierro, al formar finas películas sobre las micelas de los minerales arcillosos, que son fácilmente arrastradas por las corrientes de los ríos, debido a que su tamaño es menor de 4 micras. Finalmente, los dos minerales así asociados llegan a las cuencas de sedimentación donde se depositan juntos.

EL HIERRO EN LAS AGUAS

El elemento hierro se encuentra en las aguas de origen meteórico como ion ferroso (Fe^{++}) o férrico (Fe^{+++}). Este último es muy poco estable en un medio oxidante, entre los pH naturales de 3,5 y 9,5, por lo que es poco móvil en comparación con la sílice y las bases. Por eso, a pesar de su abundancia su contenido en las aguas superficiales es muy bajo.

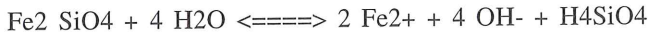
Cuando el ambiente es reductor y el pH inferior a 6 los compuestos del Fe^{++} , generalmente se encuentra en las aguas naturales en forma de $\text{Fe}(\text{CO}_3\text{H})_2$. Este compuesto que es soluble, facilita la emigración del hierro, especialmente por medio de las aguas subterráneas, que han estado en contacto con minerales ferríferos, en la zona no aireada de un acuífero o en las aguas estancadas de ambiente reductor de una turbera. En las surgencias de los manantiales de aguas ferruginosas precipita el hierro, formándose costras de Goethita rojiza o de Limonita parda al encontrarse con el ambiente oxidante.

Los contenidos en hierro de las aguas subterráneas varía entre <0,01 y 500 ppm, siendo normal encontrar valores superiores a 100 ppm en las aguas ácidas de las minas de pirita y algunas de carbón, cuando el pH es inferior a 2, de forma que tanto el ión ferroso como el férrico son solubles.

También, puede mobilizarse el hierro, cuando se asocia a ciertos ácidos orgánicos, como son los ácidos: fúlvico, húmico, polifenoles y otros, que se forman de la descomposición de la materia orgánica. Estos ácidos forman compuestos organo-metálicos, denominados quelatos, como el etilendiaminotetracético o EDTA, que son solubles. Además la presencia de materia orgánica favorece la existencia de un ambiente reductor y la formación de anhídrido y ácido carbónico. Aunque, también, si existe azufre se puede producir la precipitación del hierro, en forma de pirita.

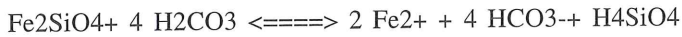
En el proceso de meteorización química los minerales ferríferos se descomponen fundamentalmente por medio de reacciones de hidrólisis, de carbonatación y de oxidación, interviniendo en esta última, bacterias que activan la reacción.

La hidrólisis suele descomponer a los minerales silicatados y así en el Olivino ferroso o Fayalita se produce la reacción:

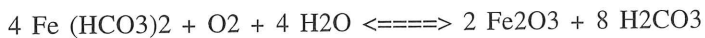


Siendo 10 el valor del pH en la superficie de contacto entre el mineral y el agua, denominado «pH de Abrasión» o de «Hipergénesis».

También, se puede disociar el Olivino por carbonatación, con la siguiente reacción:



Si a continuación se produce la oxidación del hierro ferroso se precipitará en forma de óxido férrico:



Es precisamente el Olivino el mineral silicatado, que se altera más fácilmente; por lo que figura el primero de la secuencia de meteorización de los minerales constituyentes de las rocas ígneas o Serie de Goldich, en la que le siguen los Piroxenos y Anfíboles, después la Biotita el feldespato potásico u Ortosa, la mica Moscovita y finalmente el Cuarzo.

La serie de Goldich coincide con la secuencia de cristalización de un magma o Serie de Bowen, es decir, que el Olivino es el primero que se forma al enfriarse una masa de silicatos fundida o magma, y el Cuarzo el último y por lo tanto son menos o más estables, cuando cambian de ambiente y se encuentran bajo los efectos de los agentes meteorizantes, como el agua, el oxígeno y el anhídrido carbónico.

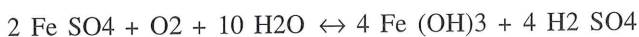
También, es muy alterable la Biotita, que se transforma en Clorita, Hematites, carbonatos de potasio y magnesio, Cuarzo y silicato aluminico. Igualmente lo son los Piroxenos y Anfíboles, que se descomponen por carbonatación en bicarbonatos de magnesio, calcio y hierro, y ácido metasilícico, todos ellos productos solubles.

La oxidación se realiza en el ambiente superficial, y por lo tanto en contacto de los terrenos rocosos con el oxígeno del aire, y en la zona no saturada del subsuelo. Esta afecta muy significativamente a los minerales de hierro sulfurado, como son la Pirita, Marcasita y Pirrotita, junto con otros sulfuros de este elemento y otros metales como el cobre, plata, plomo, antimonio y níquel, o no-metálicos como el arsénico.

La reacción en la Pirita es:



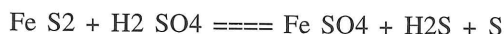
Estos nuevos compuestos se disocian en contacto con el agua y pueden ser transportados solubilizados, mientras que el ambiente no sea oxidante y el pH se mantenga ácido; porque si no se producirían las siguientes reacciones:





Así se forma el Oxihidroxido férrico o Goethita, que precipita porque es insoluble en esas condiciones ambientales oxidantes.

El ácido sulfúrico producido en la primera reacción de oxidación puede descomponer después más pirita:



Por esta razón se puede observar la presencia de eflorescencias de azufre en los afloramientos de los yacimientos de sulfuros metálicos, denominados «gossan» o monteras de hierro, en los que se han producido esas reacciones, siempre por encima del nivel freático.

El hierro que emigra por medio del agua puede ser fijado por las arcillas, formando el compuesto ferrífero denominado Limonita, que es una mezcla de Goethita y Jarosita, con Nontronita, Sericita, Illita y Caolinita, todos ellos del grupo de los filosilicatos, sílice coloidal y óxidos de manganeso.

Tanto en los procesos de oxidación natural, como en los de reducción intervienen bacterias que los pueden activar significativamente. Entre las bacterias catalizadoras que actúan en la oxidación del hierro y del azufre están los *Thiobacillus Ferrooxidans*, que tienen 2 micras de longitud y 0,5 micras de ancho, necesitan anhídrido carbónico, un pH entre 1,5 y 2, y una temperatura menor de 40 °C. Este microorganismo aparece en las aguas de desagüe de las minas de sulfuros metálicos; pero además su función se aplica en los procesos de lixiviación natural, que se realiza en amplias balsas, donde se liberan los metales, no sólo los que están ligados al azufre, formando minerales propios, como el hierro y el cobre principalmente; sino que también los que están dentro de su red cristalina, como el oro y el uranio.

Existen otras bacterias que intervienen en las reacciones químicas reductoras, como son las anaerobias del género *Desulfovibrio*. Estas necesitan oxidar la materia nutriente para su desarrollo y así el sulfato ferroso se reduce convirtiéndose en sulfuro, en forma de Pirita.

Todos los terrenos que tienen rocas con minerales ferríferos, formando verdaderos yacimientos o se encuentran diseminados en ellos, son los que pueden dar lugar a manantiales ferruginosos. Por eso son muy abundantes este tipo de aguas tanto entre las rocas ígneas, sedimentarias como metamórficas, abundando más en los dos últimos. Así, por ejemplo, en las formaciones de pizarras y esquisto de Galicia existen manantiales, en los que algunos llegan a tener 15 mg/l de Fe como las de Fonte do Souto en Parada dos Montes (Pobra do Brollón), 8 mg/l las de la Rogeira Vermella en la Devesa de Seoane, 7,5 mg/l la Fonte Forgas de A Seara (Folgozo do Courel) y 6 mg/l las del Balneario de Ferrería do Incio. Todos estos lugares se encuentran dentro de la provincia de Lugo, que está atravesada de Norte a Sur por la formación de las Pizarras de Luarca, que suelen tener yacimientos de minerales ferríferos.

En muchos otros lugares de España existen abundantes manantiales ferruginosos, como son: Fuencaliente (8 mg/l) y Hervideros de Fuensanta de Puertollano (Ciudad

Real), Espluga de Francolí (Tarragona), Fuente Capuchina (52 mg/l) y San Antonio (42 mg/l) de Lanjarón y Graena (16 mg/l) (Granada), Hervideros de Cofrentes (Valencia), Peñas Blancas y Vilaharta (Córdoba) y Sta. Modesta en Sant Hilari (Girona) (270 mg/l), y el pozo Estrella 2 del balneario de Mondariz (Pontevedra) (2 mg/l), entre otros.

AGUAS MINEROMEDICINALES FERRUGINOSAS

Son las que contienen entre sus elementos minerales el hierro bivalente en cantidad superior a 1 mg/l, según establece la Reglamentación Sanitaria Española de 1991 para las aguas de bebida envasadas.

Según la taxonomía alemana, se consideran aguas ferruginosas las que contienen una cantidad superior a 20 mg/l de hierro bivalente. (DEUTSCHE BÄDERVERBAND, 1991).

Este límite puede ser sobrepasado en aguas de contenido mineral diverso. En talasoterapia las aguas ferruginosas pueden llegar a tener un contenido de 50 mg/l de Fe⁺⁺, en asociación con el CO₂ y con el ión bicarbonato, pues el hierro bivalente entra en disolución junto el ion bicarbonato y se estabiliza con el ácido carbónico libre. En las aguas sulfatadas por el contrario, el hierro no llega alcanzar altas concentraciones y en ellas además del Fe⁺⁺ se encuentra el Fe⁺⁺⁺, que es difícilmente soluble.

Muy a menudo, las aguas ferruginosas tiene contenidos relativamente elevados de otros metales pesados, como elementos trazas u oligoelementos (por ej. cobre, cobalto, manganeso o también arsénico).

Entre las peculiaridades organolépticas de las aguas ferruginosas destacan su sabor característico, definido como estíptico o metálico, y su ausencia de olor.

ACCIONES TERAPEUTICAS DE LAS AGUAS FERRUGINOSAS

Las necesidades diarias de hierro en el adulto depende de una buena reabsorción del hierro que se elimina con la bilis (alrededor de 0,5-2 mg). Hay que tener en consideración que en la mujer fértil se pierden cantidades significativas de hierro en la menstruación (alrededor de 25 mg) y en el embarazo y el parto (alrededor de 500 mg).

El hierro sólo puede ser absorbido en forma de Fe⁺⁺. El gradiente de absorción depende del contenido en ferritina de la mucosa intestinal, que a su vez depende de las necesidades de hierro orgánicas. En el individuo sano, el aprovechamiento del hierro ingerido por vía oral se mantiene por debajo del 20 %, pudiendo aumentar, en los casos de anemia, al 70 %. el aporte de hierro total necesario en el adulto por término medio es de 6-10 mg de Fe ⁺⁺ diario.

Hay que tomar en consideración que el aprovechamiento de hierro en las aguas bicarbonatadas ferruginosas es incluso mayor que en la toma de preparados de hierro farmacéuticos.

El hierro que se absorbe se une en la sangre a una proteína de transporte específica —la transferrina— y se utiliza para la hematopoyesis. La prueba de que el hierro absorbido se utiliza en la formación de la hemoglobina es que puede ser detectado en los eritrocitos tras 4 horas de la ingestión del agua. El hierro sobrante se almacena en los depósitos, para su utilización cuando aumenta las necesidades, de forma determinante en la regeneración sanguínea.

Además de la formación de hemoglobina, el hierro desarrolla importantes funciones como parte constituyente de biocatalizadores celulares.

Tradicionalmente se ha creído que los metales pesados, que acompañan al hierro como oligoelementos, ejercen un efecto biocatalizador en la eritropoyesis, en especial en la síntesis de la hemoglobina. Pero actualmente se está cuestionando esta función, ya que se ha demostrado recientemente que el cobalto frena la absorción del hierro en el intestino delgado.

Los iones férricos que no se absorben actúan de forma astringente sobre las mucosas del estómago e intestino. Por tanto, el Fe^{+++} actúa provocando estreñimiento.

INDICACIONES DE LAS AGUAS FERRUGINOSAS

Una cura de bebida con estas aguas tiene como función primordial suplir los déficit de hierro orgánico, por lo que están muy indicadas en estados carenciales en este elemento, como las anemias ferropénicas. El incremento de los contenidos de hierro en sanguíneos y hepáticos conducen a una mejora en la formación de la serie roja sanguínea, como se ha demostrado en múltiples ocasiones a lo largo de los últimos cuarenta años. Además, hay que señalar que desaparece toda la sintomatología que acompaña a las anemias ferropénicas, como la astenia, adinamia, disminución del rendimiento orgánico y la taquicardia compensadora. De igual forma, aumenta la resistencia a las infecciones, lo que ha sido demostrado particularmente en la infancia.

Los efectos astringentes del Fe^{+++} sobre la mucosa gastrointestinal pueden ser utilizados en casos de episodios catarrales en dicho territorio.

EFFECTOS SECUNDARIOS Y CONTRAINDICACIONES

Conviene dejar claro que para la administración por vía oral o cura hidropínica de cantidades de agua mayores que las habituales, el agüista debe tener una buena función cardio-circulatoria y un aparato urinario suficiente.

Al contrario que con los preparados farmacéuticos, las relativamente pequeñas cantidades de hierro de las aguas mineromedicinales no producen efectos secundarios a tomar en consideración.

Sin embargo, la ingestión de este tipo de aguas puede producir ciertas molestias gastrointestinales, como estreñimiento por su acción astringente de la mucosa del tracto digestivo.

Hay que tener en cuenta, así mismo, que en caso de dificultades permanentes en la absorción intestinal, la administración oral de las aguas ferruginosas es de cuestionable utilidad.

Además, los iones del hierro forman con las tetraciclinas quelatos difícilmente solubles, lo que conlleva a una disminución de la absorción de ambas sustancias.

POSOLOGIA

Las aguas con hierro se utilizan como curas hidropínicas durante periodos de tiempo limitados, y debe tratarse siempre de aguas hipotónicas.

En aguas con un contenido en Fe⁺⁺ comprendido entre 20 y 50 mg/l, se recomiendan en adultos unas cantidades en bebida de 1 a 2 litros diarios repartidos en tres tomas, antes de las principales comidas.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- ARMIJO, M. y SAN MARTIN, J., (1994), Curas Balnearias y Climatológicas. Editorial Complutense. Madrid.
- BOULANGE, M., (1997), Les vertus des cures thermales. Ed. Espaces 34. Montpellier. Francia.
- BRÄ TTER, P., MOHN, L., (1995), Minerales y Oligoelementos. Ed. Fundación Bertelsmann. Gütersloh. Alemania.
- GEOMECANICA Y AGUAS, S.A. (1995), Las Aguas Minerales de Galicia. Ed. Consellería de Industria e Comercio. Dirección Xeral de Industria. Xunta de Galicia. Santiago de Compostela.
- GUTENBRUNNER, C., HILDEBRANDT, G., (1994), Handbuch der Heilwasser-Drinkkuren. Sonntag Verlag. Stuttgart. Alemania.
- HENTSCHEL, H. D., (1991), Naturheilverfahren in der ärztlichen Praxis, Deutcher Ärzte, Köln. Alemania.
- HERISSON, CH., (1989), Crenotherapie et readaption. Masson. Paris. Francia.
- KRAUSKOPF, K.B., (1967), Introduction to Geochemistry. McGraw-Hill, New York. U.S.A.
- MARTINEZ, P., PEREZ, J. y GARCIA-BAYON, P., (1973), Mineralogía Descriptiva, Tomos I y II., C.S.I.C., Madrid.
- HEM, J.D., (1989), Study and interpretation of Chemical Characteristics of Natural Water. U.S.G.S., U.S.A.
- OLLIER, C., (1984). Weathering. Longman, New York. U.S.A.
- PRATZEL, H., SCHNIZER, W., (1992), Handbuch der Medizinischen Bader. Haug. Heidelberg. Alemania.
- RANKAMA, K. y SAHAMA, Th. G., (1962), Geoquímica. Aguilar, Madrid.
- REDONDO, R., YELAMOS, J.G., YEPES, J., (1995), Composición Química de las aguas envasadas (Minerales Naturales y Minero-Medicinales) de la España Peninsular. VI Simposio de Hidrogeología. A.E.H.S., Sevilla.
- SAN JOSE ARANGO, C. (1998), Hidrología Médica y terapias complementarias. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Sevilla.
- SCHMIDT, K. L. (Hrsg.), (1989), Kompendium der Balneologia und Kurtortmedizin, Steinkopff Verlag. Darmstadt. Alemania.