

Uso de la espectroscopia Mössbauer en el control de calidad de suplementos terapéuticos antianémicos que contienen hierro

Use of Mössbauer spectroscopy in quality control of iron-containing antianaemic therapeutic supplements

Juan Antonio Jaén

Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Departamento de Química Física, Panamá.

juan.jaen@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0001-7069-216X>

Eduardo Chung

Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Departamento de Física, Panamá.

eduardo.chungng@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0003-2834-9450>

Fecha de recepción: 23 de mayo de 2025

Fecha de aceptación: 21 de octubre de 2025

DOI: <https://doi.org/10.48204/j.tecno.v28n1.a8943>

RESUMEN

En el presente trabajo se recurrió al uso de la espectroscopia Mössbauer de ^{57}Fe para estudiar diversos productos farmacéuticos fármacos antinómicos que contienen hierro, con el objetivo de analizar el estado de oxidación y el tipo de hierro en estos productos. Se estudiaron los productos comerciales (principio activo según lo declarado por el fabricante): Fermarato Tabletas (Fumarato Ferroso), Fermafollic 60 (Fumarato Ferroso), Nature's Blend (Sulfato Ferroso), Gentle Iron® (Bis-glicinato Ferroso), y Ferrum Hausmann® (Complejo de hidróxido de hierro (III) - polimaltosa). Los espectros a temperatura ambiente de Fermarato Tabletas y Fermafollic 60 dieron evidencia clara de la presencia de dos fases: una ferrosa (Fe^{2+}) como principal, con una contribución igual o superior al 96%, y la otra férrica (Fe^{3+}) (~4%). La primera corresponde al fumarato ferroso $\text{FeC}_4\text{H}_2\text{O}_4$, mientras que la segunda estaría relacionada con un compuesto férrico de alto espín procedente de la oxidación del fumarato ferroso o podría pertenecer a otra sal férrica incluida durante la producción. Por su parte, en Nature's Blend, además de sulfato ferroso parcialmente hidratado, $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, como componente principal (80%), se observó un segundo componente (16%) que podría estar relacionado con un complejo de Fe^{2+} -citrato y otro adicional (4%) identificado como sulfato férrico. El espectro Mössbauer de la Gentle Iron® se ajustó con varios componentes paramagnéticos que pueden asignarse a quelato de bisglicinato ferroso, sulfato ferroso y los productos de sus modificaciones y/o transformaciones u oxidación debido a la inestabilidad del quelato de

bisglicinato ferroso. La fracción total de hierro férrico en el complejo fue de aproximadamente 4%. Para finalizar, el espectro correspondiente al suplemento Ferrum Hausmann® se ajustó con dos dobletes cuadrupolares típicos de hierro férrico de alto espín asociados al complejo de hidróxido de hierro (III) polimaltosa. Este compuesto combinaría akaganeita β -FeOOH envuelta en polimaltosa. Se puede concluir que se observó una buena correspondencia entre lo declarado por los fabricantes y los resultados del análisis Mössbauer.

PALABRAS CLAVE

Espectroscopia Mössbauer, suplementos terapéuticos de hierro, estado de oxidación del hierro, Fumarato ferroso; Quelato de bisglicinato ferroso; Sulfato ferroso; Akaganeita

ABSTRACT

In this work, ^{57}Fe Mössbauer spectroscopy was used to investigate various iron-containing anti-anemic pharmaceutical products, with the aim of characterizing the oxidation state and type of iron in these products. The commercial products studied (active ingredient as declared by the manufacturer): Feramarato Tablets (Ferrous Fumarate), Fermafolic 60 (Ferrous Fumarate), Nature's Blend (Ferrous Sulfate), Gentle Iron® (Ferrous Bis-glycinate), and Ferrum Hausmann® (Iron (III) hydroxide - polymaltose complex). The room temperature spectra of Feramarato Tablets and Fermafolic 60 gave clear evidence of the presence of two phases: one ferrous (Fe^{2+}) as the main one, with a contribution equal to or greater than 96%, and the other ferric (Fe^{3+}) (~4%). The first corresponds to ferrous fumarate $\text{FeC}_4\text{H}_2\text{O}_4$, while the second would be related to a high-spin ferric compound derived from the oxidation of ferrous fumarate or could belong to another ferric salt included during production. Meanwhile, in Nature's Blend, in addition to partially hydrated ferrous sulfate, $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, as the main component (80%), a second component (16%) was observed that could be related to an Fe^{2+} -citrate complex, and an additional component (4%) was identified as ferric sulfate. The Mössbauer spectrum of Gentle Iron® was fitted with several paramagnetic components that can be assigned to ferrous bisglycinate chelate, ferrous sulfate, and the products of their modifications and/or transformations or oxidation due to the instability of the ferrous bisglycinate chelate. The total fraction of ferric iron in the complex was approximately 4%. Finally, the spectrum corresponding to the Ferrum Hausmann® supplement was fitted with two typical high-spin ferric iron quadrupolar doublets associated with the iron (III) hydroxide complex polymaltose. This compound would combine akaganeite β -FeOOH wrapped in polymaltose. It can be concluded that there was a good correspondence between the manufacturers' statements and the results of the Mössbauer analysis.

KEYWORDS

Mössbauer spectroscopy, therapeutic iron supplements, iron oxidation state, Ferrous fumarate; Ferrous bisglycinate chelate; Ferrous sulphate; Akaganeite

INTRODUCCIÓN

Una de las causas de la anemia —afección en la que los glóbulos rojos no poseen la capacidad suficiente para transportar oxígeno a los tejidos corporales— es la deficiencia de hierro. Este mineral forma parte integral de numerosas proteínas y enzimas, y resulta esencial para la regulación del crecimiento y la diferenciación celular. Con niveles bajos de hierro, el cuerpo

no puede producir cantidades normales de hemoglobina y, a su vez, transporta menos oxígeno a las células del cuerpo, por lo que hay menos energía disponible para el crecimiento y la realización de funciones corporales.

Los suplementos terapéuticos de hierro son, en algunos casos, una alternativa eficaz para tratar y prevenir la anemia; por lo tanto, se preparan teniendo en cuenta su biodisponibilidad, la cual está afectada por el estado de oxidación, la forma, la solubilidad, el tamaño de partícula y el acomplejamiento (Finch & Cook, 1984).

El hierro ferroso (Fe^{2+}) se absorbe de manera más eficiente en el cuerpo que el hierro férrico (Fe^{3+}). Los efectos secundarios tóxicos son entonces más graves con las sales férricas, porque la absorción del hierro férrico es relativamente más lenta que la del estado ferroso. El Fe puede combinarse con un agente quelante orgánico, como el citrato, el ftalato o el hemo, (Kaur et al., 2014) para formar un complejo estable; por ejemplo, el quelato de bisglicinato de hierro es una forma de suplementación en la cual el hierro se une a los aminoácidos de glicina. Esta quelación puede mejorar la absorción del hierro y reducir los efectos secundarios gastrointestinales. Los complejos de hierro-polimaltosa son más eficaces que las sales ferrosas, probablemente porque estos complejos son análogos farmacéuticos de la ferritina. La absorción de hierro (en alimentos o en suplementos terapéuticos) requiere que los receptores intestinales reconozcan la forma química del hierro. Por tanto, el conocer el estado del hierro que se va a consumir en los suplementos es muy importante para el análisis de la calidad de los productos y su posible eficacia.

La espectroscopia Mössbauer de ^{57}Fe es un excelente método para determinar el estado de oxidación del hierro en un sólido y distinguir entre diferentes compuestos de hierro y sus fracciones relativas en una muestra determinada. Esta técnica se ha aplicado en la investigación biomédica, en particular para el análisis de compuestos farmacéuticos (Uhm et al., 2017; Alenkina et al., 2024).. En este trabajo se estudiaron diversos fármacos antianémicos, con el objetivo de identificar y cuantificar los compuestos de hierro, ferrosos (Fe^{2+}) y férricos (Fe^{3+}), y compararlos con los valores declarados por el fabricante.

PARTE EXPERIMENTAL

Todos los suplementos de hierro fueron analizados tal como se presentan comercialmente, para disminuir la probabilidad de cambios significativos en los estados de oxidación, así como para evitar alteraciones en su naturaleza química.

Se estudiaron productos con diferentes principios activos, según lo declarado por el fabricante: Fermarato Tabletas (Fumarato Ferroso), Fermafolic 60 (Fumarato Ferroso), Nature's Blend (Sulfato Ferroso), Gentle Iron® (Bis-glicinato Ferroso), y Ferrum Hausmann® (Complejo de hidróxido de hierro (III) - polimaltosa).

Se prepararon pastillas de 1-2 mm de espesor, mezclando homogéneamente en un mortero el contenido de las tabletas o grageas, con una proporción adecuada de sacarosa como aglutinante. La mezcla se colocó en un dado de acero inoxidable y se aplicó presión mediante una prensa hidráulica. La pastilla resultante se insertó en el portamuestra del espectrómetro Mössbauer CTS4 de Iron Analytics, operando en el modo de aceleración constante en 1024 canales con una fuente de $^{57}\text{Co/Rh}$ de 15 mCi (955 MBq) de actividad nominal. La escala de velocidad se calibró con respecto a una lámina de $\alpha\text{-Fe}$. El ajuste de los espectros tomados a temperatura ambiente (TA) se llevó a cabo utilizando líneas Lorentzianas mediante el software Recoil (1968).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dependiendo de los entornos locales de los átomos de Fe y de sus propiedades magnéticas, los espectros Mössbauer pueden consistir en un singlete, un doblete o un sexteto (Greenwood & Gibb, 1971). Los espectros Mössbauer a TA para todas las muestras estudiadas se ajustaron con dobletes, cuyos parámetros hiperfinos (desdoblamiento cuadrupolar (QS), desplazamiento isomérico (IS) y área de absorción (A)) se enumeran en la Tabla 1.

Tabla 1.

Parámetros Mössbauer de los suplementos terapéuticos estudiados medidos a 295 K

Muestra	IS (mm/s)	QS (mm/s)	$\Gamma/2$ (mm/s)	A (%)	Componente identificado
Fermarato	1.222(5)	2.231(9)	0.212(8)	96	$\text{FeC}_4\text{H}_2\text{O}_4$
Tabletas	0.27(7)	0.95(13)	0.16(9)	4	Fe^{3+} alto espín
Fermafolic 60	1.225(3)	2.229(6)	0.192(4)	96	$\text{FeC}_4\text{H}_2\text{O}_4$
	0.40(4)	0.99(8)	0.14(5)	4	Fe^{3+} alto espín
Nature's Blend	1.267(2)	2.71()	0.167(5)	80	$\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
	1.27(2)	1.88(10)	0.28(5)	16	Complejo de Fe^{2+} -citrato
	0.39(3)	0.52(6)	0.12(4)	4	$\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4(\text{H}_2\text{O})$
Gentle Iron [®]	1.278(5)	3.045(16)	0.127(10)	44	$\text{C}_4\text{H}_8\text{FeN}_2\text{O}_4$
	1.243(4)	2.717(17)	0.137(10)	51	$\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
	0.49(5)	0.70(9)	0.15(6)	5	Fe^{3+} alto espín
Ferrum	0.369(5)	0.52(3)	0.16(2)	37	Complejo de hidróxido de
Hausmann [®]	0.368(6)	0.97(5)	0.24(2)	63	hierro (III) polimaltosa

IS = desplazamiento isomérico respecto de $\square\text{-Fe}$

QS = desdoblamiento cuadrupolar

Γ = ancho de línea

A = área espectral

Los espectros correspondientes a Feramarato Tabletas y Fermafolic 60 (Figs. 1 y 2, respectivamente), dieron evidencia clara de la presencia de dos fases de hierro: una ferrosa (Fe^{2+}), como principal, con una contribución igual o superior al 96% y una férrica (Fe^{3+}), con un aporte de aproximadamente 4%. La fase ferrosa se asocia a fumarato ferroso $\text{FeC}_4\text{H}_2\text{O}_4$, mientras que la férrica podría asignarse a un compuesto férrico de alto espín procedente de la oxidación del fumarato ferroso o a cualquier otra sal férrica incorporada durante la producción (Oshtrakh 2004; Oshtrakh 2010; Uhrn, 2017; Alenkina & Oshtrakh, 2024). Suponiendo las mismas probabilidades de que se produzca el efecto Mössbauer (factor f , que denota la fracción libre de retroceso) para todos los compuestos de hierro en una muestra, los valores de A pueden vincularse con el contenido relativo de ese compuesto en la muestra.

La Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA) permite un máximo de 2% de impurezas de hierro férrico (Fe^{3+}) en formulaciones de fumarato ferroso de grado farmacéutico. Esta especificación asegura la estabilidad y eficacia de los suplementos de hierro, limitando la presencia de formas de hierro oxidado que pueden afectar la biodisponibilidad y el resultado terapéutico. Nuestros resultados parecen indicar (más allá de los errores experimentales) que ambos, Feramarato Tabletas y Fermafolic 60, exceden el límite de 2% de hierro férrico en fumarato ferroso, como también lo observaron otros autores (Oshtrakh 2004; Oshtrakh 2010; Alenkina & Oshtrakh, 2024). Sin embargo, para estimar el contenido de Fe^{2+} y Fe^{3+} en la muestra, se llevó a cabo una pequeña corrección teniendo en cuenta valores típicos de la fracción libre de retroceso (factor f) de los compuestos de hierro a TA. Para Fe^{2+} , el valor de f suele ser de aproximadamente 0.7 a temperatura ambiente (Arredondo et al., 2016). En el caso del Fe^{3+} , los valores de f son, en su mayoría, mayores que los de Fe^{2+} , situándose entre 0.8 y 0.9 (Zhang, 2022). En consecuencia, los análisis Mössbauer realizados a temperatura ambiente en materiales que contienen simultáneamente Fe^{3+} y Fe^{2+} tenderán a sobreestimar la fracción de Fe^{3+} , a menos que se cuantifiquen los efectos de la fracción sin retroceso. El valor obtenido con esta corrección para Fe^{3+} sería de ~2 %, justo dentro de los límites aceptados por la FDA. Para precisar aún más, el factor f correspondiente a cada uno de los compuestos de hierro, se deberían medir los espectros Mössbauer a baja temperatura (i.e., 4.2 K o 80 K), y/o determinar mediante alguna técnica complementaria las temperaturas de Debye de dichos compuestos.

Figura 1.

Espectro Mössbauer a temperatura ambiente de Fermarato Tablet.

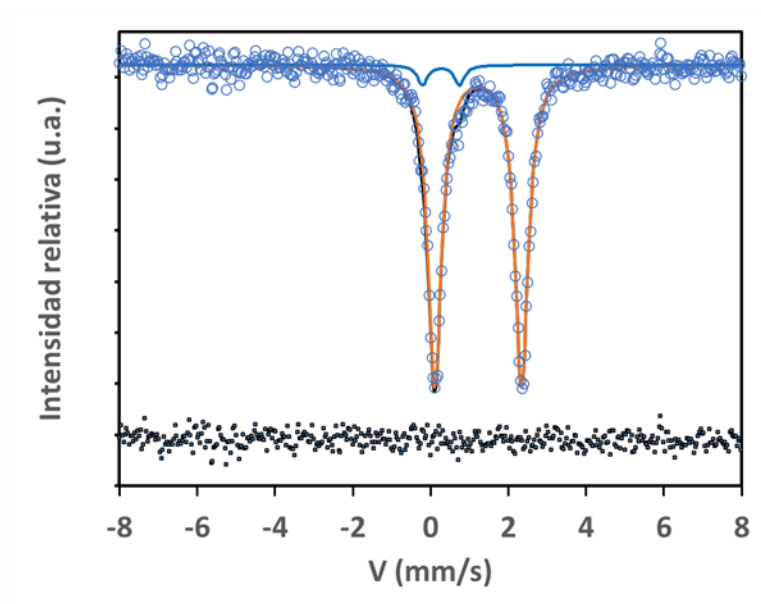
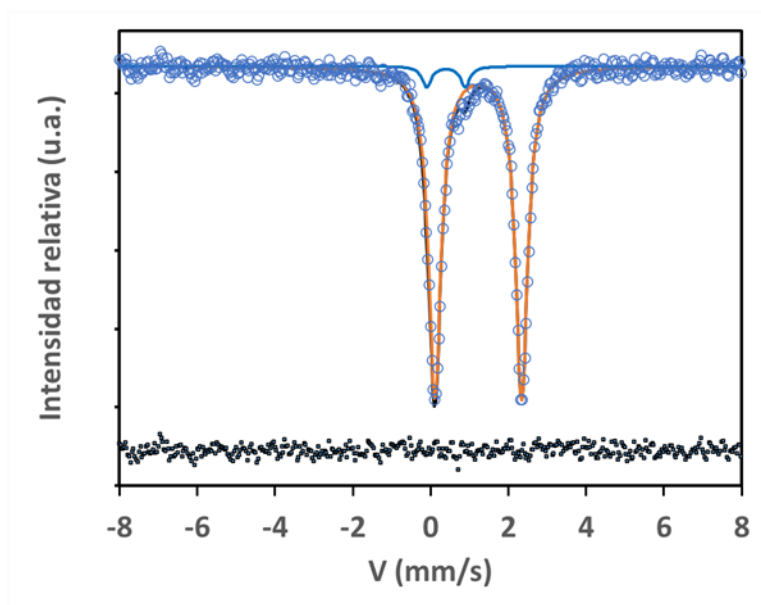


Figura 2.

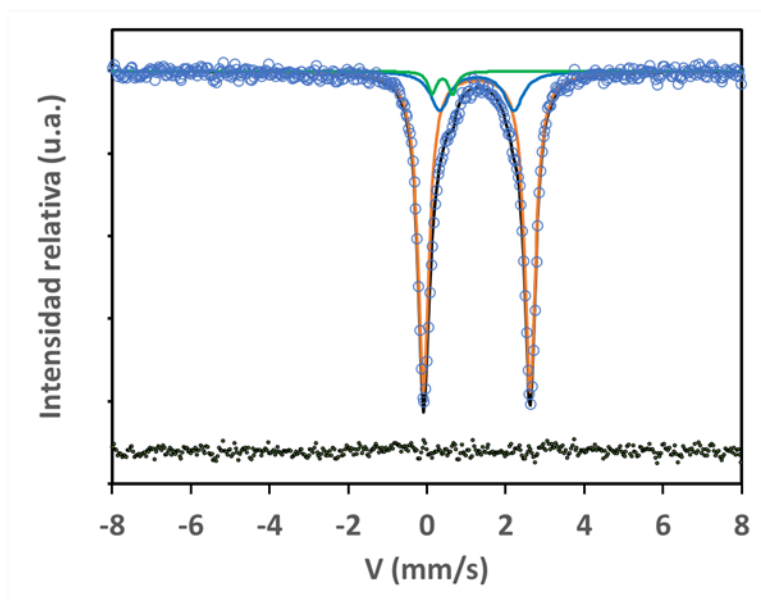
Espectro Mössbauer a temperatura ambiente de Fermafolic 60



Por su parte, Nature's Blend contiene sulfato ferroso, según lo declarado por los fabricantes. La descomposición de su espectro Mössbauer muestra la presencia de dos componentes ferrosos y uno férrico. El sulfato ferroso puede presentarse en estado anhidro (FeSO_4) y con diferentes grados de hidratación; por ejemplo, $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{FeSO}_4 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$, $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$, etc., con parámetros hiperfinos ligeramente diferentes entre sí (Vértes et al., 1970; Alenkina & Oshtrakh, 2024). Los valores de los parámetros hiperfinos (ver Tabla 1) para el componente con QS de aproximadamente 80% (Fig. 3) sugieren la presencia de sulfato ferroso monohidratado $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$. El componente con un QS de alrededor del 16% tiene parámetros hiperfinos sin análogos entre los sulfatos de hierro. Dado que este suplemento contiene ácido cítrico, este componente podría estar asociado a un complejo de citrato ferroso (Alenkina, 2024). El componente minoritario ($\sim 4\%$), cuyo valor de QS es el más pequeño, tiene parámetros Mössbauer (Tabla 1) que concuerdan con los de la romboclasa (Dyar et al., 2013), mineral sulfatado de hierro ácido (Fe^{3+}) con una fórmula reportada como $\text{H}_3\text{FeO}_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$ o $\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Este compuesto puede formarse durante el proceso de preparación como resultado de la oxidación parcial del sulfato ferroso. Se ha reportado (Alenkina & Oshtrakh, 2024) su presencia en productos farmacéuticos que contienen hierro en forma de sulfatos.

Figura 3.

Espectro Mössbauer a temperatura ambiente de Nature's Blend.

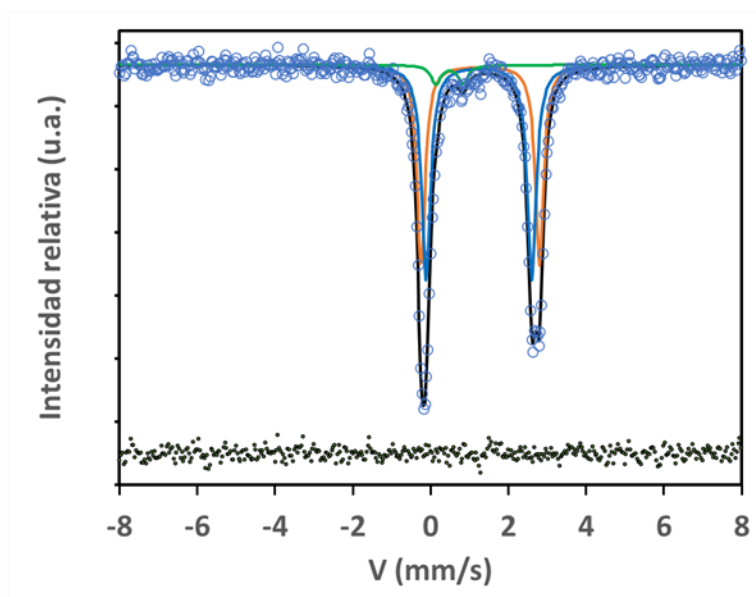


Por otro lado, el espectro Mössbauer del producto Gentle Iron® (Fig. 4) presentó tres componentes, cuyos parámetros correspondientes se presentan en la Tabla 1. Los dos componentes principales corresponden a uno o dos compuestos ferrosos de alto

espín. El componente minoritario corresponde a un compuesto férrico de alto espín. Para asignar estos componentes a los compuestos declarados por el fabricante, se llevó a cabo una búsqueda bibliográfica sobre los parámetros Mössbauer del bisglicinato ferroso. Fitzsimmons et al. reportaron valores de 1.225 mm/s y 2.82 mm/s para el desplazamiento isomérico y el desdoblamiento cuadrupolar, respectivamente. En cambio, Alenkina y Oshtrakh (2024) ajustaron el espectro Mössbauer del quelato de bisglicinato ferroso con múltiples dobletes. En la Tabla 1, los parámetros del segundo doblete ferroso podrían asociarse a $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Cabe destacar que la producción del quelato ferroso bisglicinato para suplementos terapéuticos suele realizarse con sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) como materia prima. La presencia de un componente férrico minoritario reveló que el bisglicinato de hierro de Gentle Iron® contiene pequeñas cantidades de hierro férrico (Fe^{3+}). Por lo tanto, se sugiere que este suplemento terapéutico contiene quelato de bisglicinato ferroso, sulfato ferroso, y un compuesto férrico que se forma debido a la oxidación del hierro ferroso (Fe^{2+}) durante la producción o el almacenamiento.

Figura 4.

Espectro Mössbauer a temperatura ambiente de Gentle Iron®.

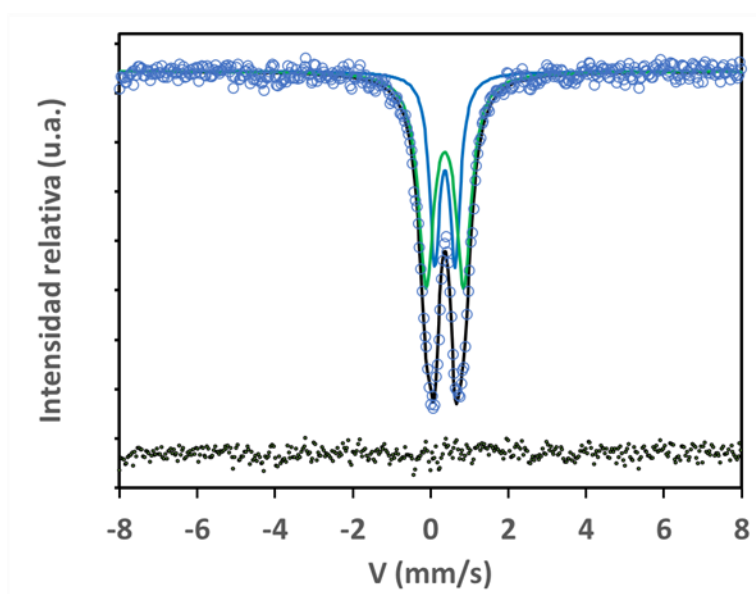


Para finalizar, en el suplemento Ferrum Hausmann®, considerado un análogo de la ferritina, el hierro (Fe^3) se une a una matriz de polimaltosa mediante enlaces de coordinación, formando un complejo estable y no iónico. Está diseñado para proporcionar una fuente de hierro con alta biodisponibilidad y con menores efectos secundarios gastrointestinales en comparación con las sales de hierro tradicionales (como el sulfato ferroso). El espectro Mössbauer de este suplemento (Fig. 5), se ajusta muy bien con dos dobletes cuadrupolares típicos de hierro férrico de alto espín,

con parámetros que concuerdan con los del oxihidróxido férrico akaganeita (β -FeOOH) (Murad, 1979). Coey et al. (1995) estudiaron un hematínico oral comercializado como Niferex, cuyo componente activo también es un complejo de polisacárido-hierro. Estos autores, mediante espectroscopía Mössbauer, difracción de rayos X en polvo y EXAFS, sugirieron una estructura con un orden de largo alcance similar al mineral akaganeita. Los parámetros Mössbauer a 295 K para las muestras de Niferex podrían compararse con los de ferritina, ferrihidrita y akaganeita. Según Dubiel et al. (2014), el espectro Mössbauer de Ferrum Lek, otro complejo de hierro-polimaltosa, consta de un doblete paramagnético, como los observados en el presente trabajo para Ferrum Hausmann®. Podría decirse que el hierro contenido en este suplemento es un oxihidróxido de hierro (III) similar a la akaganeita, envuelto en polimaltosa, un polisacárido derivado del almidón.

Figura 5.

Espectro Mössbauer a temperatura ambiente de Ferrum Hausmann®.



Es importante destacar que la espectroscopía Mössbauer también puede ser usada para el estudio de muestras en presentación líquida, siempre que se realicen las mediciones a bajas temperaturas, ya que la técnica requiere que los núcleos sonda estén inmersos en una matriz sólida. En un trabajo anterior (Jaén y Martínez, 1988) se han reportado mediciones en suplementos terapéuticos de hierro líquidos medidos a la temperatura del nitrógeno líquido, identificándose sulfato ferroso en una de las muestras y citrato de hierro y amonio $((\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_7)_2)$, con una cantidad importante (37%) de hierro en forma de Fe^{3+} de alto espín, en otra.

CONCLUSIONES

La espectroscopía Mössbauer de ^{57}Fe demuestra amplias posibilidades para el análisis de compuestos que contienen hierro. Permite obtener información sobre la naturaleza y las proporciones relativas de Fe^{2+} y Fe^{3+} en los suplementos terapéuticos antiánémicos; de allí que pueda ser utilizada en pruebas de rutina y en el control de calidad de estos productos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alenkina I.V., A.V. Chukin, G. Leitus, O.V. Denisova, M. Gracheva, I. FelnerI, E. Kuzmann, Z. Homonnay & M. Oshtrakh . 2024. Analysis of the iron states in iron-containing pharmaceutical products using Mössbauer spectroscopy J. Pharm. Biomed. Anal. 237: 115745.
- Alenkina, I.V. & Oshtrakh M. 2024. Control of the Iron State in Pharmaceuticals Used for Treatment and Prevention of Iron Deficiency Using Mössbauer Spectroscopy, J. Pharm. Sc, 113, (6): 1426-1454,
- Coe, E M. L H Bowen, J A. Speer, Z. Wang & D. E. Sayer. ,1995. The Recharacterization of a Polysaccharid.Iron Complex (Niferex). J. Inorg. Biochem. 58: 269-278.
- Dubiel, S.M, J. Cieślak, I. V. Alenkina, M. I. Oshtrakh & V.A.Semionkin. 2014, Evaluation of the Debye temperature for iron cores in human liver ferritin and its pharmaceutical analogue, Ferrum Lek, using Mössbauer spectroscopy. J. Inorg. Biochem. 140: 89-93.
- Dyar, M.D., E. Breves, E. Jawin, G. Marchand, M. Nelms, V. O'Connor, S. Peel, Y. Rothstein, E.C. Sklute, M.D. Lane, J.L. Bishop & S.A. Mertzman, 2014. What lurks in the Martian rocks and soil? Investigations of sulfates, phosphates, and perchlorates. Mössbauer parameters of iron in sulfate minerals. Am. Mineral. 98: 1943–1965.
- Finch, C.A. & J.D. Cook. 1984. Iron Deficiency, Am. J. Clin. Nutr. 39(3): 471-477.
- Lagarec, K & DG Rancourt. 1998. Recoil – Mössbauer spectral analysis software for Windows, Department of Physics, University of Ottawa, Ottawa, ON, Canada.
- Fitzsimmons, B.W., Hume, A., Larkworthy, L.F., Turnbull, M.H. & Yavari A. 1988. The preparation and characterisation of some complexes of iron (II) with amino acids. Inorg. Chim. Acta. 106(2): 109-114.

- Greenwood, N. N., & Gibb, T. C. (1971). Mössbauer Spectroscopy. Chapman and Hall.
- Jaén, J.A. & M.M: Martínez,.1988. Análisis de Suplementos Terapéuticos de Hierro con Espectroscopía Mössbauer, Rev. COPAQUI 8: 3 -8.
- Kaur, M., S. Sharma & J. P. Sharma. (2014). Mössbauer spectroscopic analysis of iron containing allopathic, homeopathic and ayurvedic pharmaceutical compounds, Indian j. pharm. biol. res. 2(3): 96–104.
- Murad, E. .1971. Mössbauer and X-ray data on β -FeOOH (akaganéite). Clay Minerals 14, 273-283.
- Oshtrakh, M.I., Novikov, E.G., Dubiel, S.M. et al. (2010). Variations of ^{57}Fe hyperfine parameters in medicaments containing ferrous fumarate and ferrous sulfate. Hyperfine Interact 197: 287–294.
- Oshtrakh, M.I., Milder, O.B., Semionkin, V.A. (2004). Mössbauer Spectroscopy of Iron Containing Vitamins and Dietary Supplements. In: Elzain, M.E., Yousif, A.A., al Rawas, A.D., Gismelseed, A.M. (eds) ICAME 2003. Springer, Dordrecht.
- Uhm YR, J.C. Lim & S.M. Choi. 2017. Analyses of Ferrous and Ferric State in DynabiTab Using Mössbauer Spectroscopy. Int. J. Anal. Chem. 2017: 9321896.
- Vértés A., T. Székely & T. Tarnóczy. 1970. Mössbauer Parameters of Iron(II)-Salt Hydrates. Acat Chim. Acad. Sci. Hung. 63: 1-8