

Efecto de la radiación electromagnética en las propiedades fisicoquímicas de los minerales

Antonio López Mendoza^{1,2} José Angel Delgadillo Gómez¹, Héctor René Vega Carrillo³

¹Instituto de Metalurgia – Doctorado Institucional de Ingeniería y Ciencia de Materiales; Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Av. Sierra Leona 550, San Luis Potosí, C. P. 78210, México. Correo: alopezm6@yahoo.com.mx, Correo: jose.delgadillo@uaslp.mx

²Unidad Académica de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Zacatecas Av. Universidad # 138; Col. Progreso, Zacatecas, Zac. CP. 98000, México.

³Unidad Académica de Estudios Nucleares, Universidad Autónoma de Zacatecas, Ciprés No. 10, La Peñuela., Zacatecas, Zac. CP 98068, México. Correo: fermineutron@yahoo.com

RESUMEN

El efecto de la radiación electromagnética representada por rayos gamma fue investigado a través de; Análisis químico, Difracción de Rayos X (DRX), Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) y Magnetización al aplicarse en una dosis de 0.5704 Gy (0.5704 J/ kg), a una relación de alimentación de 18.40 ± 1.13 mGy/ h., en diferentes minerales; en orden a caracterizar el impacto de la misma proveniente de ¹³⁷Cs en las propiedades fisicoquímicas de dichos minerales. Todas las muestras irradiadas mostraron estabilidad química, al no detectarse otra fase presente, tanto en el estudio de DRX, como en el análisis de las imágenes obtenidas en MEB; y al presentar prácticamente la misma composición química que las muestras no irradiadas. Así mismo, los patrones de difracción de Rayos X de las mismas, muestran levemente una tendencia a la baja de la intensidad de los picos más representativos de cada fase mineral, que puede ser debido a una merma en la cristalinidad o a una orientación cristalográfica preferencial en los cristales. En el análisis de las microfotografías obtenidas en MEB sobre las muestras irradiadas, se observan algunos huecos (poros abiertos) presentes en las partículas de calcopirita principalmente y en menor grado en la esfalerita, este hecho puede ser debido al efecto Compton, en el proceso de radiación. En relación a la propiedad de magnetización, se obtiene una variación en la magnetización de saturación (Ms), para las muestras irradiadas que contienen hierro y de manera más significativa para el caso de la calcopirita. Por lo tanto, con el nivel de radiación utilizado; se producen ligeros cambios en las propiedades físicas de los minerales, mientras que químicamente permanecieron estables. Estos pequeños cambios, pueden representar una señal, de que la radiación electromagnética aplicada a dosis más altas, sea una alternativa viable para mejorar el procesamiento de minerales.

Palabras clave: Radiación gamma; Propiedades fisicoquímicas, Minerales.

1. INTRODUCCIÓN

Hoy las industrias de transformación, en nuestro caso la minera metalúrgica; se enfrentan a una creciente competencia mundial, con normas ambientales más estrictas, gastos generales más altos y reducción de los márgenes de beneficio. Las industrias de transformación están abordando estos problemas de diversas maneras, y sus procesos se están acercando a rendimientos pico del producto.

En el futuro inmediato las industrias de procesamiento convencional, así como las que cuentan con tecnología no convencional estarán buscando la más alta eficiencia en sus procesos. Este es el momento, en el que los procesos basados en la energía no convencional, como las microondas (radiación no ionizante) o los Rayos γ (radiación ionizante), obtendrán consideración favorable, para lo cual se debe contar con el diseño de aplicadores eficientes y dispositivos de control.

Los rayos γ , son un tipo de radiación electromagnética que pueden modificar las propiedades físicas, químicas y biológicas de los materiales irradiados. En la actualidad, las principales aplicaciones industriales de este tipo de radiación son la esterilización de productos sanitarios y farmacéuticos, irradiación de los alimentos y la agricultura (para objetivos finales distintos, como por ejemplo como la desinfección, la duración del producto, inhibición de la germinación, control de plagas) y materiales (polímeros).

La Tecnología de la radiación está establecida y está contribuyendo al desarrollo industrial, Teniendo en cuenta el valor total de los productos tratados con radiación ionizante, el potencial económico a escala de esta tecnología es enorme. Así mismo, dicha tecnología de radiación se está expandiendo, más instalaciones están en construcción, y se añaden nuevas aplicaciones. Estas nuevas aplicaciones siguen las tendencias generales de las necesidades de desarrollo tecnológico y social, como: nanotecnología, polímeros, materiales compuestos naturales y la protección del medio ambiente [IAEA 2005].

1.1. Antecedentes

El uso de fuentes de radiación en aplicaciones industriales se está expandiendo en todo el mundo. Los usos industriales cubren una gama muy amplia de aplicaciones, entre las que se pueden mencionar la medición de parámetros de procesos, la radiografía industrial y la irradiación de productos o materiales

Los procesos inducidos en la materia por efectos de las radiaciones ionizantes, son aplicados en numerosos campos de la ciencia y de la producción, constituyendo una tecnología que desde hace tiempo ofrece ventajas relativas en comparación con metodologías convencionales. En particular, se utiliza la tecnología de irradiación industrial en campos como la preservación de alimentos, esterilización de productos médicos y farmacéuticos, modificación de estructuras de polímeros, erradicación de plagas de insectos, entre otros. En el mundo hay cientos de instalaciones de irradiación, algunas utilizan campos de radiación gamma, otras usan aceleradores de electrones.

Sus usos no se limitan solo a procesos productivos, sino que también se aplican a la investigación y al desarrollo de nuevas técnicas. Las plantas de irradiación con fuentes radiactivas suelen utilizarse para propósitos múltiples a fin de amortizar los costos derivados del decaimiento de las fuentes.

Los rayos γ , son la más alta forma de energía de la radiación electromagnética, la radiación de rayos gamma tiene longitud de onda mucho más corta que la luz visible, por lo que los fotones de rayo gamma tienen muchísima más energía que los fotones de luz.

La radiación γ es un tipo de radiación electromagnética producida generalmente por elementos radioactivos como el Cs^{137} y Co^{60} , constituyendo las fuentes de radiación ionizante más adecuadas para el procesamiento con radiación, debido a la gran energía de sus rayos gamma; 0.662 MeV y de 1.25 MeV respectivamente, así como de una vida media alta (5.27 años para el Co^{60} y 30.1 años para el Cs^{137}).

La energía asociada con radiación gamma es suficiente para romper los enlaces moleculares e ionizar átomos, pero no lo suficientemente grande para afectar a la estructura del núcleo atómico (evitando la inducción de la radiactividad). La radiación gamma, puede por lo tanto modificar química, física o biológicamente las propiedades de lo irradiado material / producto; sin embargo, el producto irradiado no se vuelve radiactivo.

El proceso de irradiación con rayos γ , depende de la interacción radiación – mineral, los factores que influyen en la interacción:

- ❖ Densidad
- ❖ Composición
- ❖ Tiempo de exposición

Algunos de los estudios realizados en las diferentes áreas de aplicación de la radiación electromagnética, específicamente rayos γ , se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Investigaciones realizadas en diversos campos utilizando rayos γ .

| Campo de estudio | Referencia |
|-------------------------|--|
| Medicina | MD+DI [2000], Owczarczyk <i>et al.</i> , [2000], Yu <i>et al.</i> , [2004] |
| Agricultura | Abu <i>et al.</i> , [2005], Issa <i>et al.</i> , [2011], Majeed <i>et al.</i> , [2010], Piri <i>et al.</i> , [2011], Rombo <i>et al.</i> , [2004]. |
| Materiales | Al-Mohizea <i>et al.</i> , [2007], Allen <i>et al.</i> , [1990], Bakar <i>et al.</i> , [2010], Corbelt <i>et al.</i> , [1961], Eddy <i>et al.</i> , [2007], González [2003], Kassem <i>et al.</i> , [2002], Lezak y Bartczak [2005], Lu <i>et al.</i> , [2002], Popok <i>et al.</i> , [2004], Yeom <i>et al.</i> , [1998], |

En la actualidad, la tecnología de radiación es ampliamente usada para producir cambios en las características del producto, lo que a su vez permite el desarrollo de nuevos productos [Issa et al., 2011].

El objetivo de este trabajo fue analizar el efecto que los rayos γ producen en la mineralogía y en las propiedades físicas y químicas de los minerales bajo estudio, al evaluarlos antes y después del tratamiento a través de varias técnicas o métodos de análisis. Este estudio se suma a los pocos que se han realizado en este tema; es decir en la aplicación de rayos γ en minerales.

2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

2.1. Diagrama de la Metodología Experimental

La Figura 1, muestra esquemáticamente la secuencia de las pruebas experimentales llevadas a cabo en la presente investigación.

2.2 Materiales

2.2.1 Muestra mineral

Las muestras que se utilizan en el desarrollo del presente estudio, corresponden a especímenes provenientes de diferentes sedes: Casa de minerales Ward's, para el caso de la calcopirita y para las tres restantes de diferentes minas; Galena (Chihuahua), Pirita (Zacatecas) y Esfalerita (Charcas, SLP).

2.2.1.1 Proceso de purificación de las muestras.

Las diferentes muestras de sulfuros minerales a estudiar, se obtienen a partir de menas naturales, después se purifican a través de un método selectivo, donde los minerales de

ganga o impurezas serán separadas manualmente, previas etapas de reducción de tamaño, para finalmente obtener un producto de alta pureza.

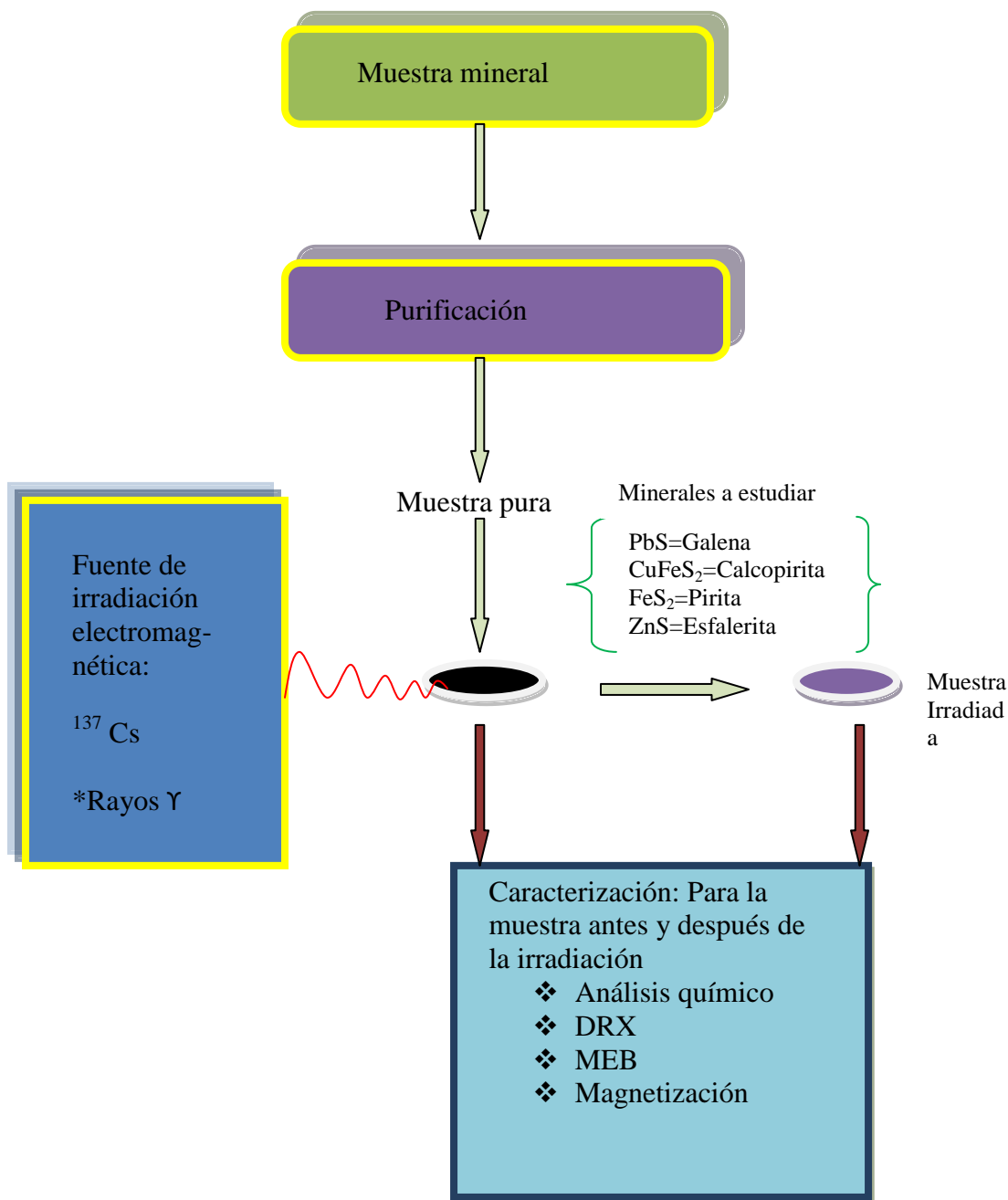


Figura 1. Diagrama de flujo del procesamiento de las muestras minerales.

2.2.1.2 Molienda

Obtenida, la pureza de las muestras base del estudio de investigación, se procede a obtener el tamaño de partícula para realizar las diferentes pruebas experimentales; lo anterior se logra a través de la molienda en un mortero de ágata.

2.3 Métodos Experimentales

2.3.1 Caracterización de la muestras .

A las muestras purificadas y molidas, las cuales representan la base del presente trabajo de investigación, se sometieron a los siguientes estudios:

- Análisis químico
- Difracción de rayos X (DRX)
- Magnetización
- Microscopía electrónica de barrido (MEB).

2.3.1.1 Análisis químico

Mediante el análisis químico, se cuantificarán los elementos y compuestos más significativos que están presentes en las muestras de los diferentes sulfuros. Esta información es un referente para determinar la pureza de dichas muestras. El análisis se llevó a cabo en un espectrofotómetro de absorción atómica marca Perkin Elmer, modelo 3110, determinándose los siguientes elementos: Pb, Cu, Fe, Zn e Insoluble. Además también se obtuvo el análisis químico a través del MEB.

2.3.1.2 Análisis por Difracción de Rayos X

El análisis por difracción de rayos X, constituye una importante herramienta para determinar cuales son los minerales presentes en una muestra, debido a la gran certidumbre de los resultados obtenidos. En base a sus principios de medición, se utiliza esta técnica de

análisis para saber si hay especies minerales arriba de una concentración del 5%. Para lo cual se utilizó un equipo marca Rigaku DMAX Modelo 2200 .

2.3.1.3 Magnetización.

Se determinará el grado de magnetización, a las muestras que en su composición química contengan hierro; utilizando el Magnetómetro de gradiente alternante., Micro Mag – AGM. En base al procedimiento siguiente: se prepara una cantidad determinada a cierto tamaño, para cada uno de los minerales, y se somete a un campo magnético, variando la intensidad del mismo (H) y registrándose la magnetización correspondiente (M).

2.3.1.4 Análisis por Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)

A través de esta técnica se obtienen diferentes microfotografías de las muestras a estudiar, donde se identifican y cuantifican los elementos químicos y las especies o compuestos que las componen; además de observar la morfología, de las partículas minerales que integran dichas muestras. Para lo cual se utiliza el Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) marca JEOL, Modelo JSM – 6610LV, que tiene acoplado el detector EDS con electrones retrodispersos (BEC) para la identificación y cuantificación de especies minerales y el detector de electrones secundarios (SEI) para observar la morfología de las partículas.

2.3.2 Proceso de Irradiación.

Las muestras minerales base de este estudio se expusieron al campo de radiación gamma, generado por una fuente de ^{137}Cs , con una actividad de 0.608 ± 0.030 GBq. Las muestras se expusieron a 5 cm de distancia de la fuente, de acuerdo a la Figura 2, siendo la rapidez de la dosis absorbida de 18.40 ± 1.13 mGy/ h.

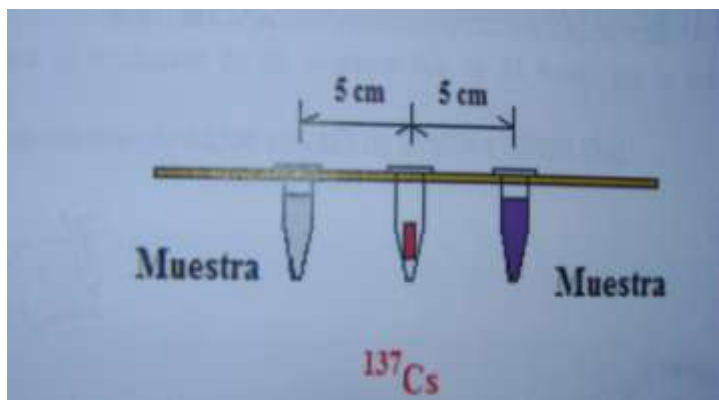


Figura 2. Vista lateral del proceso de irradiación.

En la Figura 3, se representa el sistema de irradiación, donde las diferentes muestras se colocaron al azar, pero todas ellas separadas a una distancia de 5 cm, de la fuente que para este caso corresponde a ^{137}Cs . El tiempo de irradiación fue de 31 horas, equivalente a una dosis total de $0.5704 \pm 0.0350 \text{ Gy}$ ($0.5704 \pm 0.0350 \text{ J/kg}$).

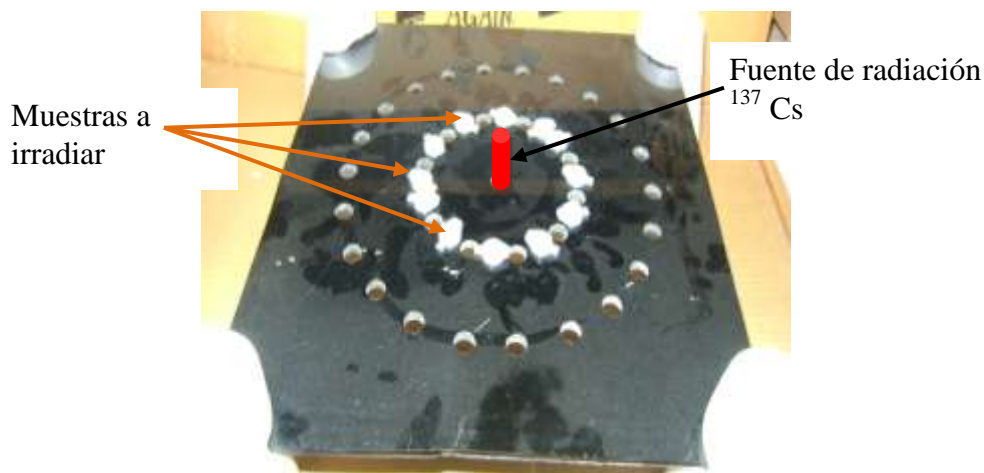


Figura 3.- Proceso de irradiación y distribución de muestras.

De las muestras irradiadas obtenidas, se recuperan pequeñas porciones para practicarles los siguientes estudios: Análisis químico, DRX, Magnetización y MEB.

3. RESULTADOS

3.1 Caracterización mineralógica

3.1.1 Análisis químico

La Tabla 1, presenta la composición química de los sulfuros minerales empleados en la presente investigación.

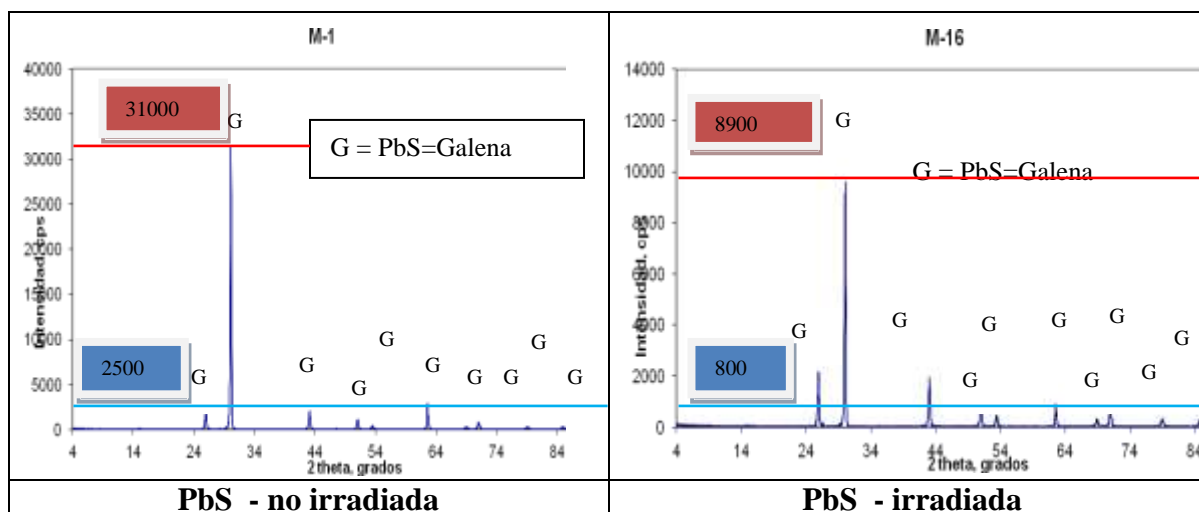
Tabla 1. Análisis químico de las muestras utilizadas.

| Mineral | Composición elemental [%] | | | | |
|-----------------------------------|---------------------------|-------|-------|-------|-----------|
| | Pb | Cu | Fe | Zn | Insoluble |
| Galena (PbS) | 83.6 | 0.232 | 0.133 | 0.306 | nd |
| Calcopirita (CuFeS ₂) | 0.109 | 30 | 28.3 | 0.382 | 2.74 |
| Pirita (FeS ₂) | 0.04 | 0.012 | 44.5 | 0.071 | 2.06 |
| Esfalerita (ZnS) | 0.167 | 0.54 | 3.96 | 56.9 | 0.66 |

nd= no determinado

Los resultados obtenidos del proceso de irradiación, se muestran en forma comparativa con los generados para las muestras que no fueron sometidas al tratamiento, es decir las que no fueron irradiadas, a través de la Figuras 4 -11.

3.1.2 Análisis por difracción de Rayos X (DRX)



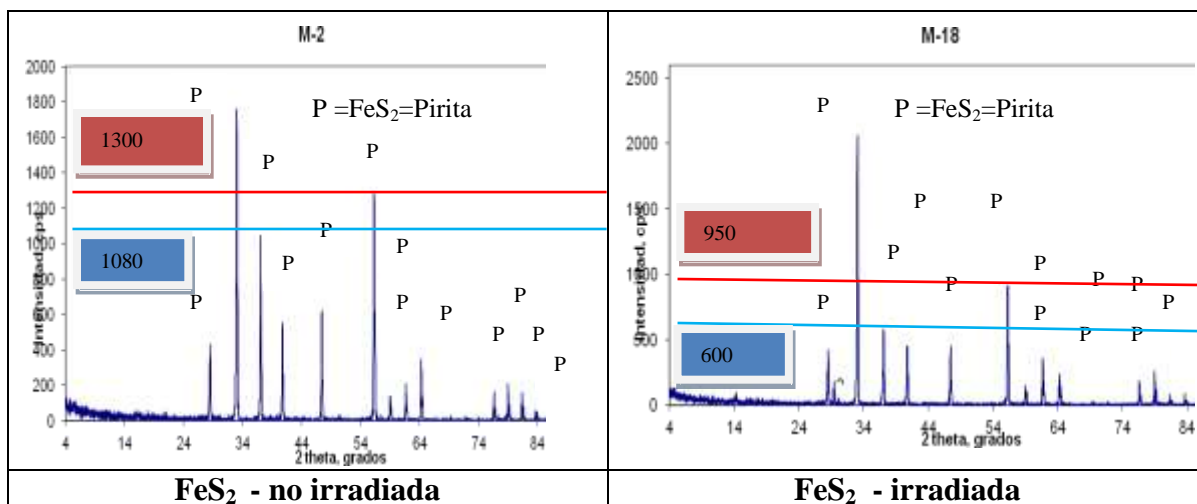


Figura 4.- Comparación de resultados de DRX, para PbS Y FeS₂

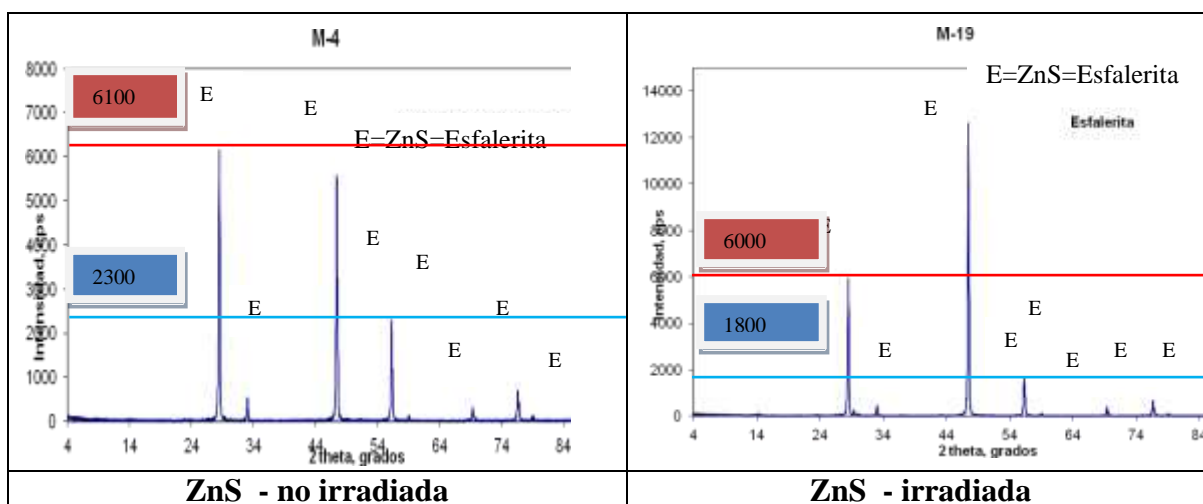
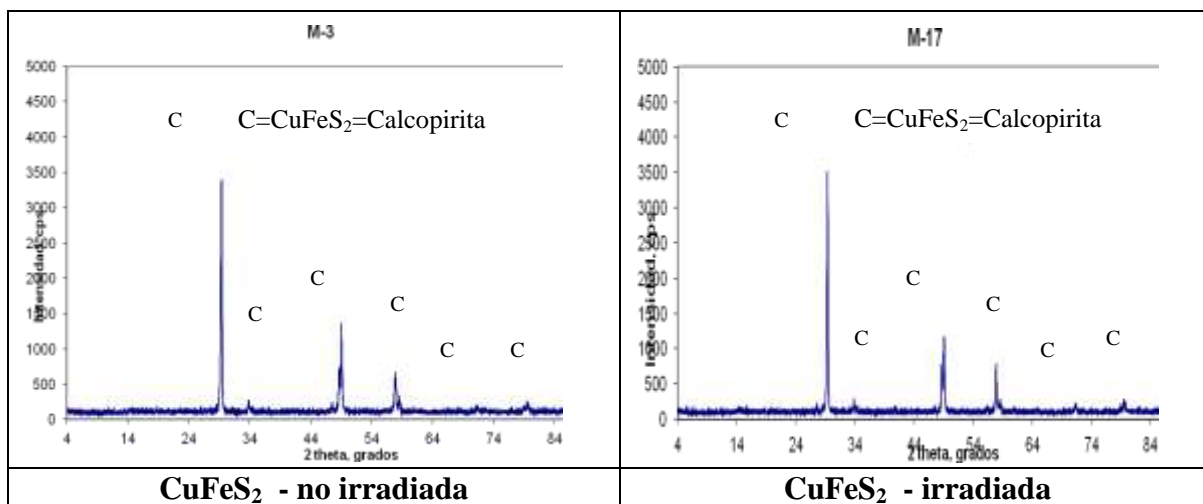


Figura 5. Comparación de resultados de DRX, para CuFeS₂ y ZnS

3.1.3 Estudio de Magnetización.

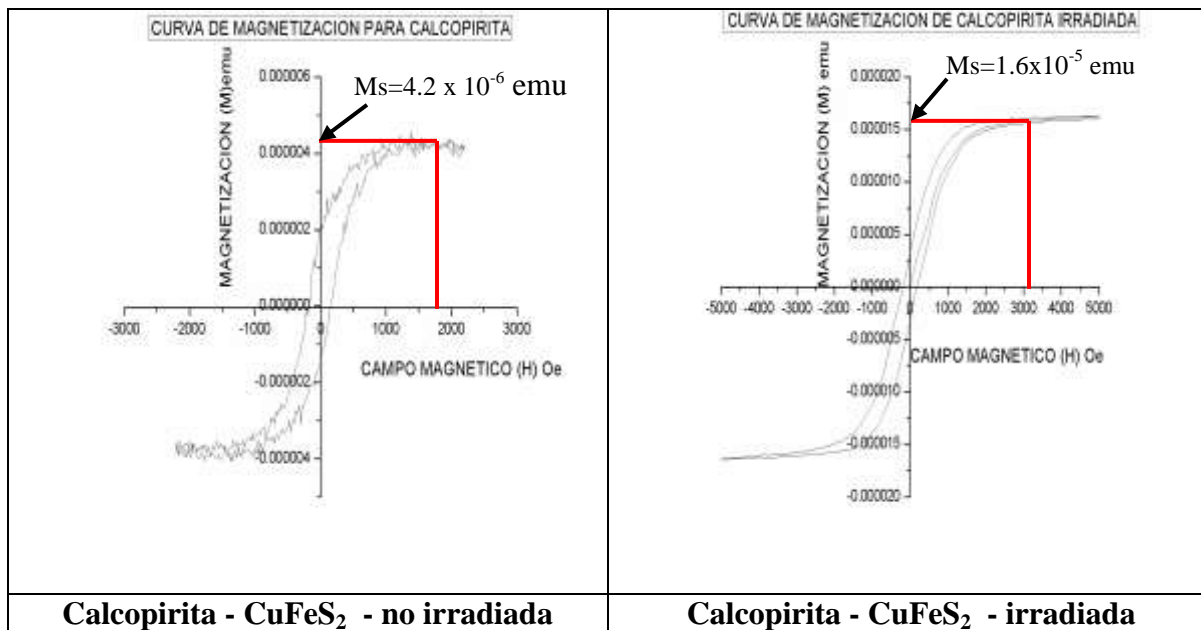


Figura 6. Comparación de resultados magnetización para CuFe_2 .

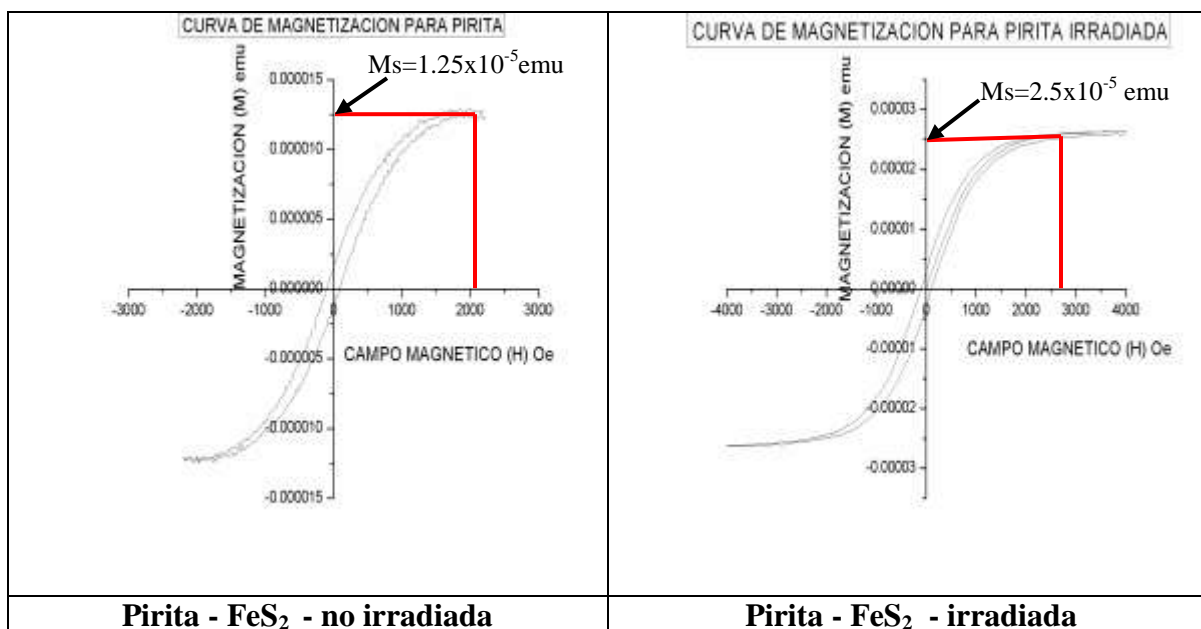


Figura 7.- Comparación de resultados de magnetización para Fe_2

3.1.4. Estudio por Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)

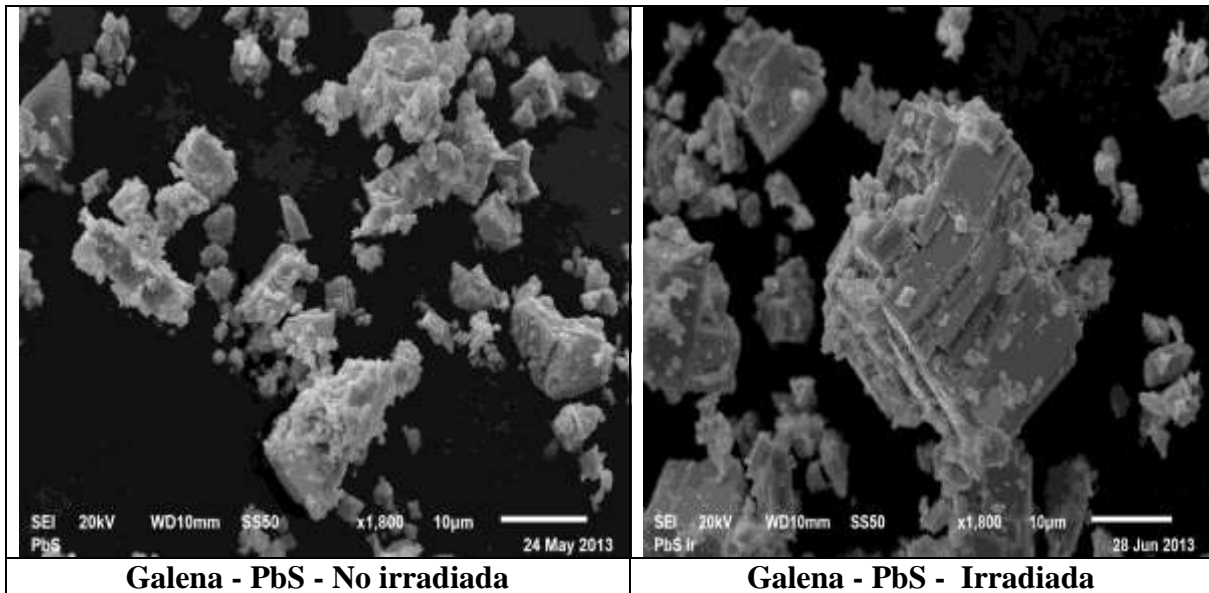


Figura 8. Comparación de las imágenes obtenidas en MEB para PbS

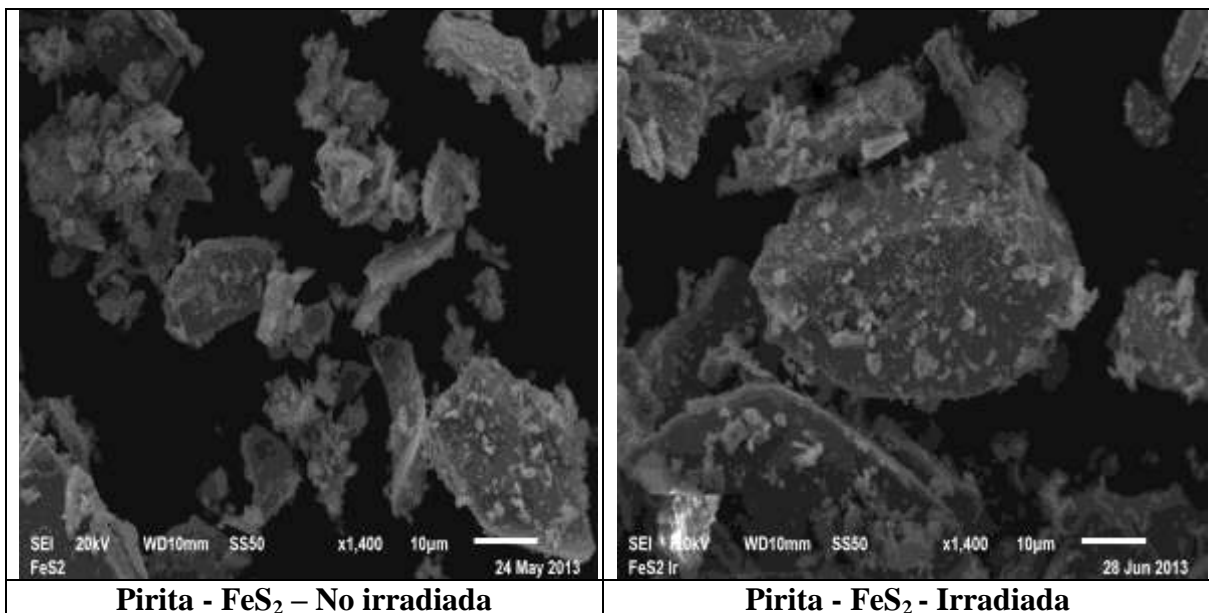


Figura 9. Comparación de las microfotografías obtenidas en MEB para FeS₂

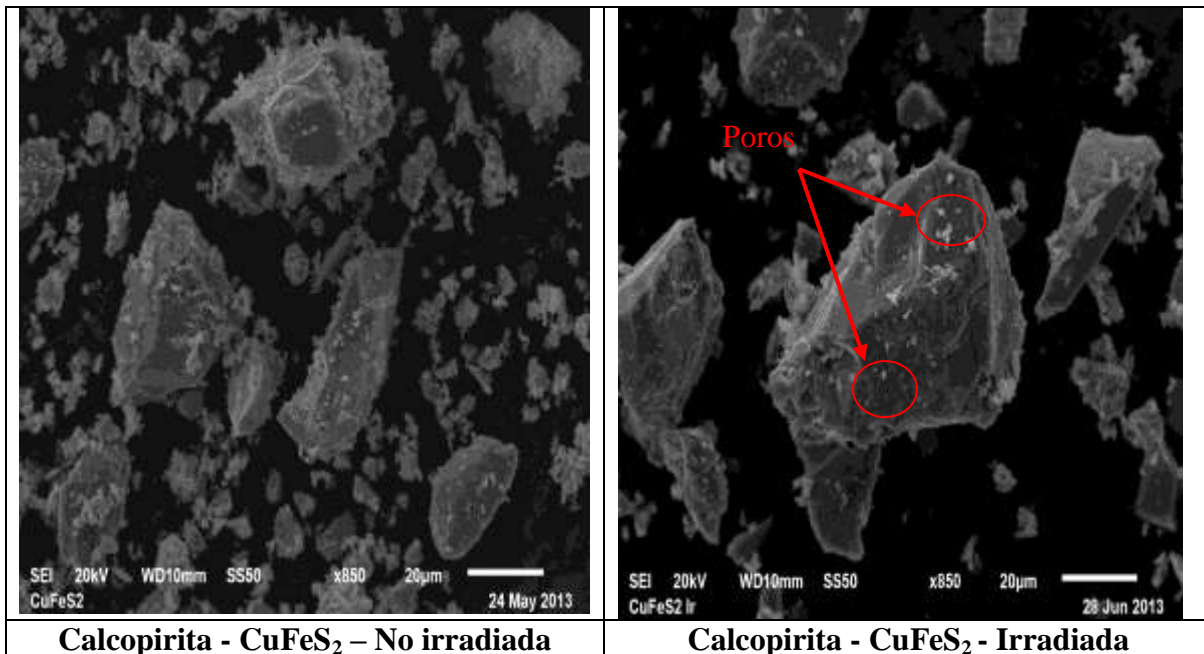


Figura 10. Comparación de las imágenes obtenidas en MEB para CuFeS_2

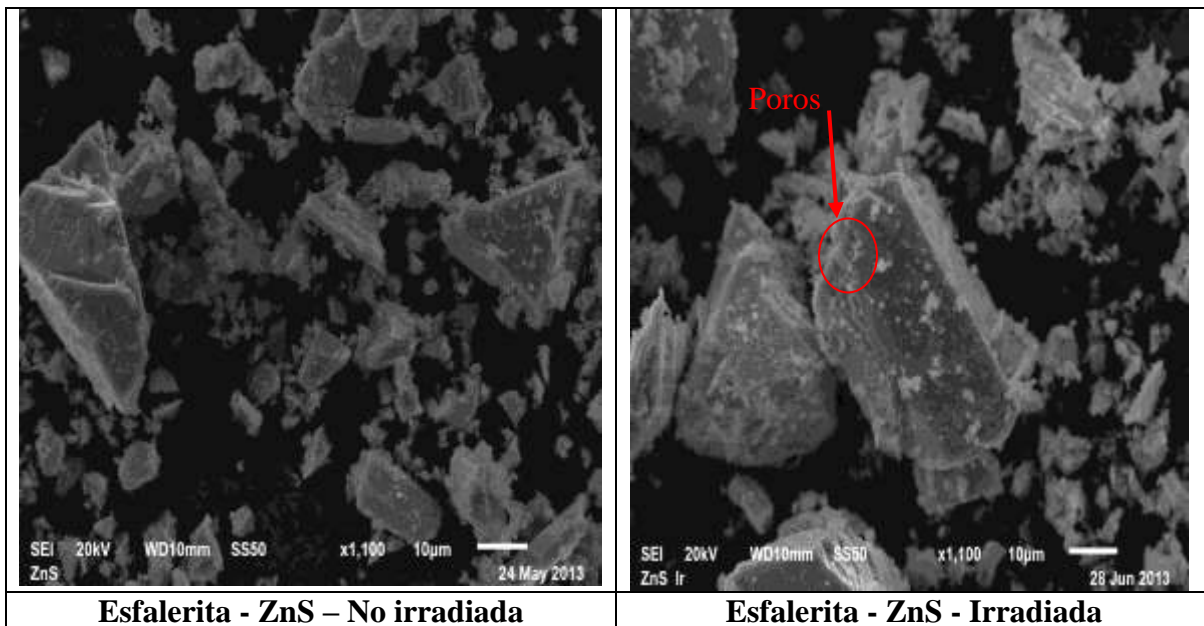


Figura 11. Comparación de las microfotografías obtenidas en MEB para ZnS

Tabla 2. Comparación de la Composición química, según MEB.

| Mineral | Elemento | No irradiada % en peso | Irradiada % en peso |
|--------------------------------|----------|---------------------------|------------------------|
| Galena - PbS | S | 13.35 | 13.46 |
| | Pb | 86.65 | 86.54 |
| | Total | 100.00 | 100.00 |
| Pirita – FeS ₂ | S | 55.75 | 54.68 |
| | Fe | 44.25 | 45.32 |
| | Total | 100.00 | 100.00 |
| Calcopirita-CuFeS ₂ | S | 38.33 | 37.55 |
| | Fe | 29.13 | 30.08 |
| | Cu | 32.54 | 32.37 |
| | Total | 100.00 | 100.00 |
| Esfalerita-ZnS | S | 39.05 | 38.19 |
| | Fe | 4.33 | 4.38 |
| | Zn | 56.62 | 57.43 |
| | Total | 100.00 | 100.00 |

4. DISCUSION.

- ◆ El patrón de difracción de rayos X, de las muestras no irradiadas presenta los picos más representativos de intensidad característicos de los sulfuros estudiados y al compararlos con los obtenidos para las muestras irradiadas, se observa para estos últimos una variación con tendencia a la baja en dichos picos, hecho que puede deberse a una disminución del grado de la cristalinidad para los minerales

- ◆ Con base en los resultados obtenidos en el proceso de magnetización, se obtiene un incremento relativo en la magnetización de saturación (Ms), para las muestras irradiadas con respecto a las no irradiadas, relativo porque el valor de la magnetización no está definido, si es por unidad de masa o de volumen.
- ◆ Las muestras irradiadas muestran estabilidad química, al no detectarse otra fase presente, tanto en el estudio de DRX, como en el análisis de las imágenes obtenidas en MEB; y al presentar prácticamente la misma composición química que las muestras no irradiadas. En el análisis de las microfotografías, se observan algunos huecos (poros abiertos) presentes en las partículas de calcopirita y esfalerita irradiadas, lo que puede significar un incremento en superficie específica y/o una disminución en la resistencia a su fractura.

5. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el proceso de irradiación con Rayos γ , de los sulfuros minerales, con una dosis de 0.5704 Gy; a partir de una fuente de ^{137}Cs , comparados con los de las mismas muestras sin tratamiento, conducen a establecer las siguientes conclusiones:

1. A partir de los resultados obtenidos mediante el análisis químico, los estudios de DRX y la microscopía electrónica (MEB), podemos concluir que las muestras estudiadas muestran estabilidad química.
2. Los estudios de difracción de Rayos X (DRX), muestran una ligera tendencia a la disminución de la intensidad de los picos más representativos de los sulfuros minerales estudiados; esto puede ser debido a una disminución de la cristalización o a la orientación preferencial de las partículas en dichos sulfuros.
3. La variación de la magnetización de saturación (Ms) obtenida, al ser cuantificada por unidad de masa o de volumen; representará el grado real del cambio en esta propiedad.

4. El análisis de las microfotografías obtenidas en MEB, para los minerales estudiados muestra que la energía a partir de los rayos γ , generan pequeños huecos en la superficie, lo que se traduce en una variación de la porosidad y/o de la superficie específica.
5. Por lo anterior, se establece que un pre tratamiento en minerales con radiación γ , puede ser una alternativa viable, para generar cambios en la estructura atómica del material bajo estudio, y que a su vez estos cambios se traduzcan en una mejor eficiencia en la recuperación de los minerales.

REFERENCIAS

- Abu JO; Muller K; Duodu KG; Minnaar A. (2005). *Functional properties of cowpea (Vigna unguiculata L. Walp) flours and pastes as affected by γ -irradiation*. Food Chemistry **93**: 103–111.
- Al-Mohizea AM; El-Bagory IM; Alsarra IA; Al-Jenoobi FI and Bayomi MA. (2007). *Effect of gamma radiation on the physicochemical properties of ciprofloxacin in solid state*. Journal of Drug Delivery Science and Technology **17**: 211-215.
- Allen CC; Albert FG; Combie J; Banin A; Yablekovitch K; Kan I; Bodnar RJ; Hamilton VE; Jolliff BL; Kuebler K; Wang A; Linstrom DJ; Morris PA; Morris RV; Murray RW; Nyquist LE; Simpson PD; Steele A; Symes SJ. (1999). *Effects of sterilizing doses of gamma radiation on mars analog rocks and minerals*. Journal of Geophysical Research **104**: 27043-27066.
- Bakar MAA; Ahmad S; Kuntjoro W. (2010). *Effect of gamma radiation surface treatment to the mechanical properties of short carbon fibre reinforced epoxy composites*. Canadian Journal on Scientific and Industrial Research **1**: 34-50.
- Corbelt WJ; Burson JH; Young RA. (1961). *Gamma Irradiation of Kaolinite*. Clays and Clay Minerals **10**: 344-355.
- Eddy SP; Marcos AFF. (2007). *Mechanical properties of Polyamide 6, 6/low density polyethylene blend by ionizing radiation*. International Nuclear Atlantic conference, INAC 2007. Santos Brazil.
- González Romero ME. (2003). *Tecnología de irradiación gamma en la obtención de materiales compuestos*. Revista de la Comisión Nacional de Energía Atómica **11/12**: 15-23.

- Majeed A; Khan AUR; Muhammad Z. (2010). *Gamma irradiation effect on some growth parameters of Lepidium sativum*. Journal of Agricultural and Biological Science **5**: 39-42.
- MD+DI. [Online]. Medical Device and Diagnostic Industry. Hemmerich KJ. *Polymer Materials Selection for Radiation Sterilized Products*. (2000). <<http://www.mddionline.com/article/polymer-materials-selection-radiation-sterilized-products>>. [Consulta: Diciembre 2013].
- IAEA. *GAMMA IRRADIATORS FOR RADIATION PROCESSING*. International Atomic Energy Agency, Viena Austria. (2005).
- Kassem ME; Bassiouni ME; El-Muraikhi M. (2002). *The effect of γ -irradiation on the optical properties of polyoxymethylene compacts*. Journal of Materials Science: Materials in Electronics **13**: 717-719.
- Lezak E; Bartczak Z. (2005). *Experimental study of the formation of beta-and gamma-phase isotactic polypropylene and estimation of the phase composition by wide-angle X-ray scattering*. Fibres & Textiles in Eastern Europe **13**: 51-56.
- Lu H; Qiao J; Xu Y; Yang Y. (2002). *Effect of isotacticity distribution on the crystallization and melting behaviour of polypropylene*. Journal of Applied Polymer Science **85**: 333-341.
- Owczarczyk HB; Migdal W; Kedzia B. (2000). *The pharmacological activity of medical herbs after microbiological decontamination by irradiation*. Radiation Physics and Chemistry **57**: 331-335.
- Piri I; Babayan M; Tavassoli A; Javaheri M. (2011). *The use of gamma irradiation in agriculture*. African Journal of Microbiology Research **5**: 5806-5811.
- Popok VN; Azarko II; Khaibullin RI; Stepanov AL; Hnатовicz V; Mackova A; Prasalovich SV. (2004). *Radiation-induced change of polyimide properties under high-fluence and high ion current density implantation*. Applied Physics A **78**: 1067-1072.
- Rombo GO; Taylor J; Minnaar A. (2004). *Irradiation of maize and bean flours: Effects on starch physicochemical properties*. Journal of the Science of Food and Agriculture **84**: 350-356.
- Yeom B; Yu YJ; McKellop HA; Salovey R. (1998). *Profile of oxidation in irradiated polyethylene*. Journal of Polymer Science A: Polymer Chemistry **36**: 329- 339.
- Yu YB; Jeong IY; Park HR; Oh H; Jung U; Jo SK. (2004). *Toxicological safety and stability of the components of an irradiated Korean medicinal herb, Paeoniae Radix*. Radiation Physics and Chemistry **71**: 115-119.