

ANÁLISIS MEDIANTE XPS DE LA ALTERACIÓN, CON Y SIN BACTERIAS QUIMILITOAUTÓTROFAS ACIDÓFILAS, DE SUPERFICIES RICAS EN KAMACITA-TAENITA (METEORITO DE TOLUCA)

C. ROGERO BLANCO⁽¹⁾, E. GONZÁLEZ TORIL⁽¹⁾, J. MARTÍNEZ FRÍAS⁽¹⁾, J.Á. MARTÍN GAG⁽¹⁾, F. RULL PÉREZ^(1,2) Y R. AMILS PIBERNAT^(1,3)

⁽¹⁾ Centro de Astrobiología, CSIC/INTA, asociado al NASA Astrobiology Institute, Ctra de Ajalvir, km. 4, 28850 Torrejón de Ardoz, Madrid

⁽²⁾ Cristalografía y Mineralogía, Unidad Asociada al Centro de Astrobiología INTA-CSIC, Universidad de Valladolid, Valladolid 47006, Spain

⁽³⁾ Centro de Biología Molecular (CSIC-UAM), Madrid, Spain.

Determinados organismos son capaces, para sobrevivir, de adaptarse a los escenarios más hostiles y a las condiciones más extremas. Por ello, desde el punto de vista astrobiológico, es crucial abordar cómo se produce dicha interacción a distintas escalas y en diferentes ambientes (no sólo terrestres). Dado que la quimiolitoautotrofia se considera un sistema metabólico importante en el origen y evolución de la vida primitiva en la Tierra y que una gran cantidad de meteoritos impactaron contra nuestro planeta durante este período (3.7–3.8 Gyr) (Schoenberg et al., 2002), González-Toril et al. (2005) abordaron la hipótesis de que microorganismos oxidadores de hierro pudieron beneficiarse energéticamente de aleaciones meteoríticas. Estos autores evidenciaron, de manera inequívoca, la capacidad de determinadas bacterias quimiolitoautótrofas acidófilas (*Leptospirillum ferrooxidans* y *Acidithiobacillus ferrooxidans*) de usar el hierro presente en aleaciones naturales (meteoríticas) de Fe-Ni (siderito de Toluca, fig.1) como fuente de energía. La oxidación del hierro promueve, en primer lugar, su solubilización seguida por la generación de óxidos férricos, principalmente goethita, y algunos sulfatos. La presente contribución se enmarca dentro de esta línea de investigación, realizando un análisis comparativo mediante XPS (X-Ray Photoelectron Spectroscopy) de la alteración de las superficies de dicho meteorito, con y sin la presencia de las bacterias anteriormente indicadas.

Los sideritos consisten principalmente en aleaciones de Fe-Ni-Co (alrededor del 99%, sobre todo kamacita y taenita) con proporciones menores de carbono, azufre, y fósforo. La kamacita (α -(Fe,Ni)), ($\text{Fe}^{0+}_{0.9}\text{Ni}_{0.1}$) tiene un bajo contenido en Ni (entre 4% y el 7%), mientras que la taenita (β -(Fe,Ni), ($\text{Fe}^{0+}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$)) puede alcanzar hasta un 50% de este elemento. Esencialmente existen tres grupos estructurales de sideritos: hexahedritas (e.g. Coahuila), octahedritas (e.g. Toluca), y ataxitas (e.g. Hoba). Las octahedritas representan el 70% de todos los sideritos (incluyendo caídas y hallazgos) y están caracterizadas por tener un contenido intermedio en Ni (6–17% en peso) y contener kamacita y taenita. El meteorito de Toluca es una octahedrita de grano grueso policristalina y uno de los sideritos más y mejor conocidos (Buchwald, 1975); miles de fragmentos de este meteorito se encontraron en Xiquipilco, valle de Toluca, Méjico, en 1776 (Chladni, 1819).

Las medidas de XPS se realizaron sobre dos muestras del mismo fragmento meteorítico (ver figura 1) y ambas sometidas a dos baños ácidos: a) control negativo: en este

caso el meteorito fue incubado en el medio base Mackintosh (sin fuente de energía ni metales traza) sin bacterias (González-Toril et al. 2005); b) control positivo: resultado de la incubación en medio Mackintosh y bacterias durante un período de un mes. En ambos la energía del fotón incidente sobre la superficie de la muestra fue 1253.56 eV, correspondiente a la excitación de un ánodo de Mg (Mg Ka). Una vez introducidas las muestras en ultra alto vacío, se obtuvieron las primeras medidas de la muestras «sucias» (conteniendo contaminantes del aire) y a continuación bombardeadas durante 10 minutos con iones de Argón para limpiar la superficie y tener acceso a la información más interna del meteorito: muestras «limpias». Las medidas antes y después del bombardeo se realizaron a modo de control, aunque la información relevante se extrae del análisis de las superficies «limpias» para ambos controles positivo y negativo.

En la figura 2 se muestran los *espectros overview* de las muestras tras los baños sin (rojo) y con bacterias (azul). Estos espectros nos dan una visión general preliminar de cuales son las especies químicas contenidas.

Los picos de ambos espectros, de acuerdo con la mineralogía ya conocida (González-Toril, 2005), quedan perfectamente definidos con tan sólo cinco elementos: Fe, Ni, C, O y S.



Figura 1: Una de las secciones del fragmento del siderito de Toluca utilizada en este estudio. Obsérvese el patrón textural del Widmanstätten.

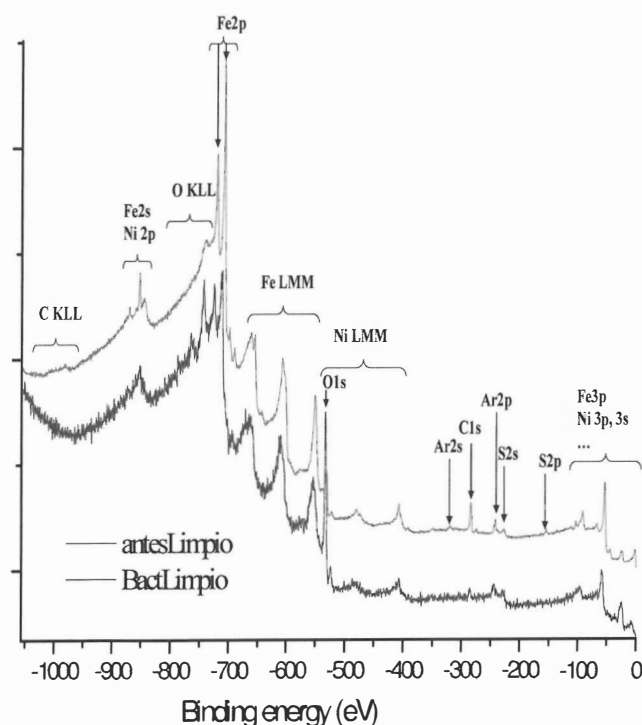


Figura 2: Espectros overview de la superficie del siderito de Toluca incubado sin bacterias (rojo) y con bacterias (azul).

Específicamente, se ha llevado a cabo una comparación más detallada de los *core levels*, medidos en alta resolución, de los niveles electrónicos de los cinco elementos (el Ar como está relacionado con el bombardeo): Fe 2p, O1,

Ni 2p, C 1s y S 2p. Los resultados obtenidos nos permiten caracterizar de manera pormenorizada estas variaciones. Consideramos relevante destacar el aumento de O y S. Concretamente, la muestra con control positivo muestra un desplazamiento claro de los picos a mayores energías de enlace (713 eV y 726 eV). Esto es un indicativo de que el Fe está muy oxidado tras el tratamiento con bacterias (posiblemente Fe^{3+}). Este Fe podría estar formando compuestos como FeOOH o también compuestos con sulfatos y sulfitos. La formación de un compuesto con S apoyaría el aumento del nivel de S en la muestra sometida al baño con bacterias.

REFERENCIAS

- Buchwald, V.F. (1975) Handbook of Iron Meteorites: Their History, Distribution, Composition and Structure, published for the Center for Meteorite Studies, Arizona State University by the University of California Press, Berkeley, 1418 pp.
- Chladni, E.F.F. (1819) Über Feuermeteorite und über die mit denselben herabgefallen Massen. J.G. Heubner, Wien, 424 pp.
- González-Toril, E., Martínez-Frías, J., Gómez Gómez, J.M., Rull, F. & Amils, R. (2005) Iron-meteorites can support the growth of acidophilic chemolithoautotrophic microorganisms *Astrobiology* 5-3, 406-414.
- Schoenberg, R., Kamber, B.S., Collerson, K.D., y Moorbat, S. (2002) Tungsten isotope evidence from similar to 3.8-Gyr metamorphosed sediments for early meteorite bombardment of the Earth. *Nature* 418, 403-405.