

**Título:** Tenerife como análogo de Marte: Caracterización multianalítica (Raman, DRX, ATR-FTIR, SEM y MossBauer) de muestras de interés planetario y astrobiológico.

**Autor:** Emmanuel Alexis Lalla

**Directores:** Fernando Rull Pérez, Jesús Martínez-Frías y Jesús Medina.

**Centro:** Unidad Asociada UVA-CSIC al Centro de Astrobiología INTA y el Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Física de la Materia Condensada, Facultad de Ciencias, Universidad de Valladolid.

**Fecha de lectura:** 30 de enero de 2014

**Tribunal:** Rosario Lunar Hernandez (Dpto. de Cristalografía y Mineralogía - Universidad Complutense de Madrid), Jean Dubessy (CNRS, Universidad de Lorraine - Francia), Eva Mateo Martí (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial), José María Alía Robledo (Universidad de Castilla-La Mancha) y Valentín García Baonza (Dpto. de Química-Física, Universidad Complutense de Madrid).

**Calificación:** Sobresaliente (9.5/10) / Tesis Doctoral con mención Internacional

# Tenerife como Análogo de Marte: Caracterización Multianalítica (Raman, DRX, ATR-FTIR, SEM y MossBauer) de Muestras de Interés Planetario y Astrobiológico.

/ EMMANUEL ALEXIS LALLA

Unidad Asociada UVA-CSIC al Centro de Astrobiología Av. Francisco Vallés 8 – Parque Tecnológico de Boecillo – Valladolid CP 47151

## INTRODUCCIÓN y MOTIVACIÓN

El programa Aurora es el ambicioso programa de la Agencia Espacial Europea (ESA) para la exploración planetaria a largo plazo, principalmente enfocada a Marte, representando un reto científico y tecnológico para la comunidad científica europea. En el marco del programa europeo se encuentra la misión ExoMars, compuesta por un orbitador y un Rover-lander que irá equipado con un laboratorio analítico automático Drawler. El objetivo principal del rover es tratar de hallar los primeros indicios de vida en el planeta rojo e información sobre su contexto. La búsqueda de signos de vida pasados o presentes en la superficie o sub-superficie de Marte no es el único objetivo de la misión, ya que también la instrumentación europea tiene asignada otros objetivos como se detallan: incrementar el conocimiento sobre la geoquímica pasada y presente de Marte; la distribución de agua pasada y presente; la exploración de la sub-superficie hasta dos metros mediante un taladro perforador; y estudiar los procesos de alteración hidrotermal sobre la superficie marciana. De esta manera, es necesario hacer especial énfasis en el entendimiento de los materiales ígneos primarios y sus concernientes procesos de alteración, ya que permitirá entender en profundidad la actividad vulcanológica pasada, la evolución y la habitabilidad de Marte. Además, el desarrollo científico del instrumento es de fundamental importancia para mejorar sus capacidades futuras como la calibración, condiciones. espectroscópicas de medida y limitaciones del

tamaño de grano mediante comprobación del funcionamiento de los prototipos mediante el análisis de materiales similares obtenidos de varios afloramientos terrestres análogos, tanto in situ como en laboratorio.

Con respecto a la selección de afloramientos, España cuenta con una gran diversidad de afloramientos para la comprobación de instrumental para aplicaciones planetarias. Uno de ellos es la isla de Tenerife dado que existe una variedad geofísica y geomorfológica desde el punto de vista vulcanológico, presentando unos paisajes de carácter ígneos espectaculares. A lo largo de la historia geológica de Tenerife se pueden observar los siguientes procesos: alteración submarina, alteración meteórica, alteración subaérea e interacción hidrotermal. Los distintos procesos mencionados transformaron la mineralogía primaria en materiales secundarios como óxidos, oxihidróxidos, arcillas, sulfatos o carbonatos dependiendo del entorno geoquímico.

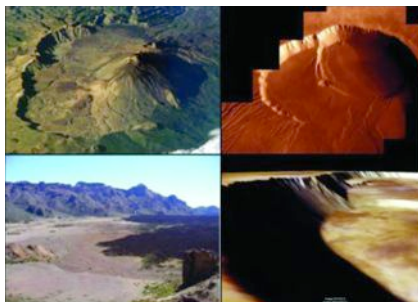


Fig. 1. Imagen comparativa de la Caldera de Las Cañadas y el Monte Olimpo en Marte. Credits: NASA-ESA

De esta manera, realizando un completo análisis mediante Raman de las distintas zonas, tanto in situ como en el laboratorio, se obtendrán dos objetivos: plantear Tenerife como un posible análogo volcánico terrestre para las pruebas de las futuras misiones a Marte y maximizar las capacidades del instrumento y la ciencia que conlleva detrás.

## CONTENIDO y DESARROLLO

Se presenta una colección completa de materiales de carácter ígneo de diversas zonas y afloramientos de Tenerife enfatizando su analogía con Marte y su caracterización espectral Raman para crear una base de datos de muestras considerando los diferentes procesos alteracionales sobre las muestras. La identificación Raman de las especies minerales será de importancia para la futura interpretación de los datos que serán recibidos del instrumento RLS en la misión ESA-ExoMars, especialmente en el contexto geológico. Dada la cantidad de especies minerales y variedad de afloramientos volcánicos existe una limitación con respecto a la descripción detallada de procesos que afectan a la colección de muestras obtenidas. Aunque el contexto geológico, la mineralogía y la caracterización ofrecerá una gran cantidad de pistas e indicios sobre la diversidad de materiales volcánicos en Marte y sus procesos relacionados en la historia temprana de Marte. Por otro lado, la complementación de los análisis Raman con otras técnicas secundarias, como IR, DRX, SEM y la espectroscopia Mossbauer, son necesarias para

incrementar las capacidades del futuro instrumento. Además, se realizaron aplicaciones de carácter astrobiológico mediante la deposición de amino-ácidos sobre matrices lávicas para estudiar la estabilidad y supervivencia de los mismos mediante en cámaras de simulación planetaria (PASC). También, se realizaron medidas totalmente automatizadas con el simulador RLS para comparar las medidas automáticas y las obtenidas manualmente y así evaluar las capacidades del Instrumento y las limitaciones del modo automático. Por último, la creación de un catálogo de base de muestras de análogos creado específicamente donde se incluye la descripción geológica, expedición, resultados, análisis realizados, aplicaciones etc.

## RESULTADOS Y CONCLUSIONES

La espectroscopia Raman ha demostrado ser una herramienta muy potente para la identificación mineralógica y para el estudio de los distintos procesos de interacción roca/fluido siendo de fundamental importancia para la misión ExoMars.

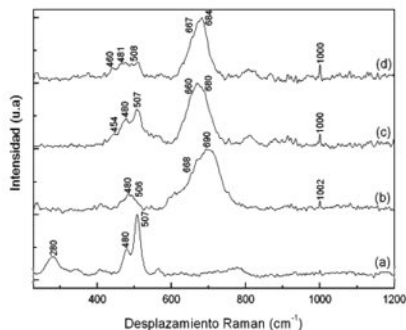


fig 2. Espectros Raman de la zona de Lavas Negras. (a) Plagioclasa, (b) Plagioclasa + Piroxeno + Ilmenita, (c) Plagioclasa + Enstatita y (d) Plagioclasa + Piroxeno + Ilmenita.

Se han encontrado en la isla de Tenerife zonas análogas a las encontradas en Marte. En estos afloramientos se puede observar que las erupciones no se han interrumpido a lo largo de los distintos episodios que la configuran con manifestaciones violentamente explosivas, generación de lavas almohadillas, formación de calderas, manifestaciones sálicas, etc. Además, se puede apreciar que los escudos y plataformas antiguas han estado sometidos a diversos episodios de alteración sub-aérea, meteorización, procesos con agua submarina e interacción con fluidos hidrotermales. De esta forma, se crearon una gran variedad de minerales secundarios tipo ópalos, carbonatos, sulfato, zeolitas, óxidos, oxihidróxidos y arcillas, entre otros. Además, hay que destacar la existencia de materiales

amorfos (sílice), los cuales solo se han podido identificar a través de sus vibraciones principales. La gran variedad de paisajes y procesos geológicos sirven de análogos para procesos y paisajes del entorno marciano, especialmente los de carácter volcánico. Las técnicas complementarias han ayudado a confirmar los resultados de la espectroscopia Raman. La técnica Mossbauer, en especial, ha permitido identificar diversos materiales teniendo en cuenta la concentración de hierro y los resultados han sido comparados con los obtenidos por el instrumento MIMOSII en la misión MER-NASA, demostrando gran similitud con los materiales primarios marcianos.

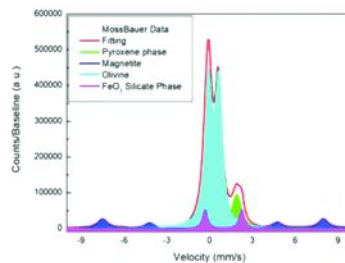


fig 3. Espectro MossBauer de la zona de La Caldera de las Cañadas

Las aplicaciones de carácter astrobiológico con aminoácidos se han realizado satisfactoriamente. Los experimentos con la cámara de simulación de entorno planetario PASC han demostrado la versatilidad de la misma y la combinación de la espectroscopia Raman e infrarroja ha confirmado ser muy sensible para el estudio de este tipo de experimentos, enfatizando la detección de moléculas orgánicas para futuras misiones planetarias.

La base datos de muestras se ha aplicado satisfactoriamente, permitiendo tener acceso web a todos los datos, análisis y experimentos realizados.

El simulador RLS, operando de manera automática, ha permitido detectar casi todas las especies minerales obtenidas frente a los análisis realizados por un operador. Con respecto a los análisis de las muestras en polvo en algunos casos no se han detectado las especies minerales dada la poca cantidad, pero por otra parte este tipo de metodología ha permitido detectar otras especies que no son visualmente diferenciables.

La medida automática de muestras pulverizadas incrementa las posibilidades de detección de especies minoritarias comparada con el análisis de matrices sólidas.

## AGRADECIMIENTOS

El autor desea agradecer a los directores de tesis F. Rull, J. Medina, J. Martínez-Frías y G. Klingelhofer por la oportunidad de realizar esta tesis.



fig 4. Captura de Pantalla de la base de datos de muestras.