



## LA CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA, UNA PUERTA AL PASADO Y AL FUTURO

*Gracias al estudio de las propiedades físicas y químicas de los minerales no solo podemos hacer un seguimiento de los distintos procesos industriales que dependen de estos elementos sino que podemos explorar mejor nuestro pasado y crear un mejor futuro.*

Los seres humanos hemos encontrado en los minerales materiales básicos para hacer artefactos y herramientas que nos faciliten la vida. Por eso, desde hace siglos hemos estudiado sus características físicas y químicas para perfeccionar los procesos en que los utilizamos, que han sido fundamentales en el desarrollo de nuestras sociedades.

“La caracterización mineralógica consiste en definir qué particularidades tienen los minerales en diversos ámbitos, lo que es de gran interés y ayuda tanto en la industria como en la ciencia, ya que por ejemplo al caracterizar suficientemente bien una materia prima puedo obtener productos confiables que cumplan con los requerimientos buscados” explica el profesor Marco Márquez, coordinador del grupo de Mineralogía Aplicada y Bioprocesos de la UN en Medellín.

La mineralogía no solo se ocupa de determinar características como dureza o reactividad sino que también estudia las condiciones de su formación, cómo se presentan los yacimientos en la naturaleza, sus cualidades cristalinas y ópticas y cómo se ven afectados al ser sometidos a distintas condiciones.

A través de varias técnicas de caracterización como la microscopía óptica y electrónica, la difracción de rayos X, la espectroscopía de infrarrojos y muchas más, se identifican los minerales presentes en un material y se puede hacer un seguimiento de cómo se modifican al pasar por distintos procesos.

De esta forma se puede ver cómo se van transformando y, si es del caso, hacer los ajustes o cambios necesarios para obtener las transformaciones o características buscadas y optimizar los rendimientos. “Los minerales son la ‘caja negra’ de los procesos tanto naturales como artificiales ya que, como las de los aviones, nos cuentan historias y nos dan el registro de todo lo que pasó” señala el profesor Márquez.

Y no sólo eso, gracias a esta disciplina podemos abrir una ventana hacia al pasado.

### **Geoarqueología**

La geoarqueología es una disciplina que trata de resolver preguntas arqueológicas usando métodos o técnicas de las ciencias de la tierra, en busca de entender las interrelaciones entre el hombre y el medio ambiente en periodos determinados. Y una de esas áreas de conocimiento que se aplica es la mineralogía.

¿Cómo se usa la caracterización mineralógica en la arqueología? “Las características geológicas del lugar de origen de un material son específicas” explica la profesora e investigadora Marion Weber. “Por ejemplo, las esmeraldas colombianas tienen unas inclusiones de material dentro de ellas, unas texturas, formas y química que permiten distinguirlas de las esmeraldas de otro lugar del mundo”.





Entonces un arqueólogo puede identificar si la esmeralda en una pieza arqueológica encontrada en Europa o Medio Oriente es colombiana y, si es así, generar algunas preguntas sobre el intercambio comercial que llevó estas gemas a esos lugares e incluso proponer posibles respuestas.

La profesora Weber, junto a la investigadora Natalia Acevedo, han adelantado análisis de algunos artefactos pertenecientes a los pueblos Nahuange y Tairona de la Sierra Nevada de Santa Marta para identificar si tenían jade, un mineral verde que es escaso, atractivo por su dureza y por su resistencia a la alteración.

En este proceso identificaron que el material de algunas piezas no era jade sino otro mineral verde poco común en Colombia: la *variscita*. Se buscaron reportes geológicos de posibles yacimientos de este material en la zona de la Sierra y La Guajira y al no encontrarlos, se amplió la búsqueda a otras regiones de la cuenca del mar caribe.

De esta manera lograron identificar que en la isla Gran Roque del archipiélago de Los Roques en Venezuela, aflora un complejo de rocas donde el mineral más característico es la *variscita*. Se tomaron muestras en dicho sitio para poder confirmar que si correspondan al mineral identificado en la pieza arqueológica.

“Se hacen los mismos análisis a las muestras que se hicieron en las piezas y una vez completados los estudios mineralógicos, petrográficos e isotópicos, todo coincidió” indica la investigadora. Esto abre nuevos caminos de investigación para identificar posibles rutas de comercio entre distintos pueblos y el valor que se le daba al material.

Es así que la caracterización mineralógica nos ayuda a explorar nuestro pasado y es una parte fundamental de la caja de herramientas de la arqueología.

### **Bacterias mineras**

Otra de las líneas de estudio que ha venido trabajando el grupo es el uso de microorganismos en los minerales, ya que gracias a estos bioprocesos se pueden obtener cambios físicos y químicos con una demanda energética más baja e impactos ambientales menores que los procesos tradicionalmente usados.

Una de los proyectos del grupo con este enfoque buscó reducir el azufre presente en el carbón ya que en la combustión se libera y se convierte en dióxido de azufre que, al mezclarse con la humedad en las capas altas de la atmósfera, se precipita en forma de lluvia ácida con efectos negativos en cuerpos de agua, vegetación y construcciones.

El trabajo del investigador Gerardo Caicedo buscó la remoción del azufre inorgánico a través del uso de las bacterias *Acidithiobacillus thiooxidans* y *Acidithiobacillus ferrooxidans* para oxidar los compuestos de hierro que aportan el azufre al carbón. “Los sulfuros como la pirita son los que generalmente más aportan azufre” explica el investigador.

Estas dos bacterias trabajan en consorcio ya que una oxida los compuestos de hierro (pirita) y los iones de esa oxidación atacan los azufres, los oxidan y los diluyen. A medida que la oxidación del hierro se agota, la otra bacteria reactiva el agente oxidante, generando un proceso continuo en que solo se debe añadir los nutrientes para las bacterias.





La ventaja de esta metodología es que tiene costos operacionales más bajos, ya que es fácilmente construida y no requiere de altas temperaturas o presiones. Además, esta biodesulfurización transforma el sulfuro en sulfato y éste se disuelve en agua sin inconveniente y los sólidos que se generan de la precipitación no afectan el suelo en que se dispongan.

### **Mejorando el beneficio del fósforo**

Otra investigación en que se usa bacterias tiene que ver con la obtención de fósforo, elemento esencial para la vida por su rol en muchos procesos fisiológicos y bioquímicos. Los seres humanos obtenemos fósforo a partir del consumo de plantas y semillas, que lo absorben del agua presente en el suelo.

Sin embargo, los compuestos de fósforo no son muy solubles y la cantidad que la planta puede tomar tiende a ser mucho menor de la que necesita. El uso de fertilizantes con fósforo en los últimos 150 años permitió enriquecer los suelos e incrementar considerablemente la productividad agrícola.

Para obtener ese fósforo se usa ácido sulfúrico para extraerlo de rocas como la hidroxiapatita, recuperando solo un 40% del que está presente en la roca, que si mucho llega al 30 por ciento del material total. Bajo el modelo actual de explotación se calcula que el recurso se agotará en el año 2050 y por eso la investigadora Martha Natalia Echeverry exploró el uso de un ácido sulfúrico de origen biológico para mejorar estas cifras.

Tradicionalmente la industria química produce ácido sulfúrico a partir de la combustión de azufre y de piritas que generan emisiones contaminantes y demanda un consumo de agua considerable. Pero este proyecto usa la bacteria *A. thiooxidans* para convertir el azufre en ácido sulfúrico y luego utilizarlo en la solubilización del fósforo que hay en la roca.

En un tanque agitado sin temperatura u oxígeno añadidos se pone la hidroxiapatita hasta ocupar un tercio del volumen, siendo que con estos primeros biorreactores se logró una tasa de recuperación del 98% del elemento, una cifra que se ha mantenido cuando se ha escalado el proceso.

Esto es importante porque que muchos de nuestros suelos son poco nutritivos y ácidos y Colombia cuenta con pocas explotaciones de roca fosfórica con una producción que solo cubre el 40% de la demanda del país. Por eso importa roca fosfórica de otros países y esto sube los costos para los agricultores.

Este proyecto muestra un camino para aumentar la producción de fósforo al tiempo que baja los costos ambientales y económicos derivados, asegurándonos un recurso fundamental para nuestras vidas. Por eso se sigue investigando el por qué este ácido biogénico tiene unas tasas de recuperación más altas y cómo se puede optimizar aún más el proceso.

La caracterización mineralógica es fundamental en todos estos proyectos porque permite identificar el material y sus características fundamentales, sea para definir su origen o la cantidad específica de un mineral que se desea eliminar u obtener. Además facilita el monitoreo de los procesos a los que se somete la roca (en estos casos el carbón y la hidroxiapatita) para medir los cambios que se están dando y cómo éstos se pueden optimizar.

Es un conocimiento que nos ayuda a iluminar el pasado y a guiarnos a un mejor futuro.



Palabras claves: caracterización mineralógica; bioprocesos; microscopía óptica; microscopía electrónica; difracción de rayos X; espectroscopía de infrarrojos; geoarqueología; Nahuange; Tayrona; jade; variscita; bacterias; biodesulfurización; fósforo; fertilizantes; hidroxiapatita; ácido biogénico;



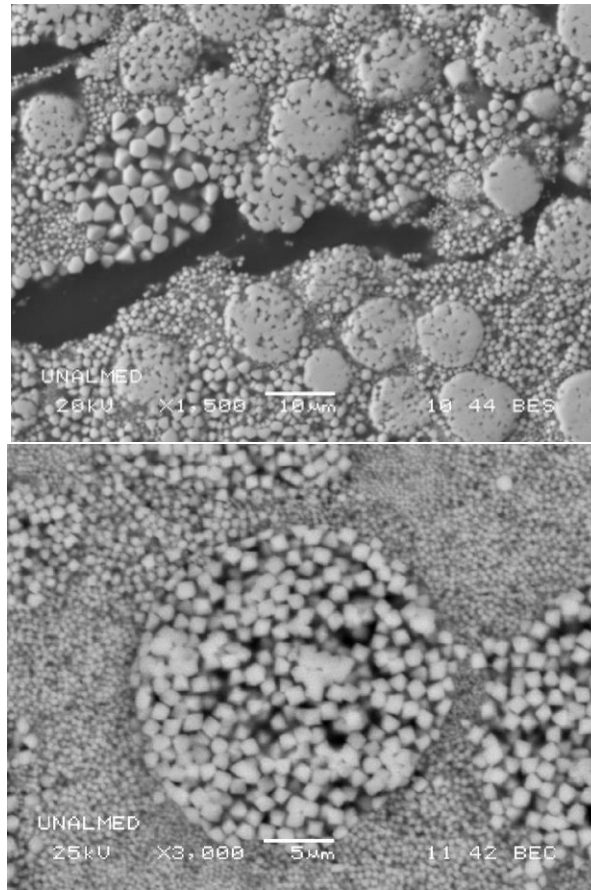
Montaje de columnas empacadas para el proceso de biodesulfurización de carbón a escala banco. (Imagen tomada de la tesis BIODÉSULFURIZACIÓN DE CARBÓN DE LA ZONA RÍO GUACHINTÉ – RÍO AZNAZÚ VALLE DEL CAUCA Y CAUCA EN BIORREACTORES DE COLUMNA UTILIZANDO MICROORGANISMOS NATIVOS del investigador Gerardo Caicedo)





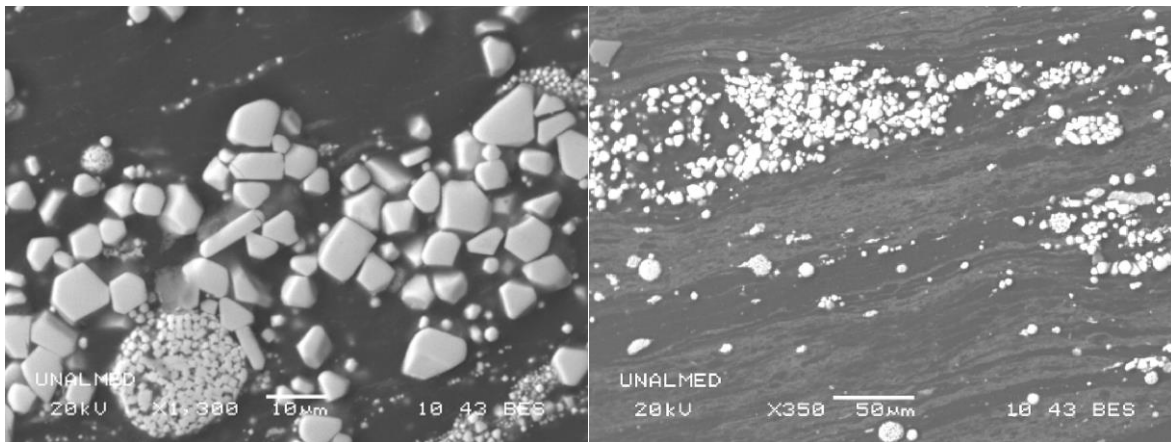
*Montaje de tanques para lixiviado, bombas y controladores de temperatura, utilizados para el proceso de biodesulfurización de carbón a escala banco. (Imagen tomada de la tesis BIODÉSULFURIZACIÓN DE CARBÓN DE LA ZONA RÍO GUACHINTÉ – RÍO AZNAZÚ VALLE DEL CAUCA Y CAUCA EN BIORREACTORES DE COLUMNA UTILIZANDO MICROORGANISMOS NATIVOS del investigador Gerardo Caicedo)*





A

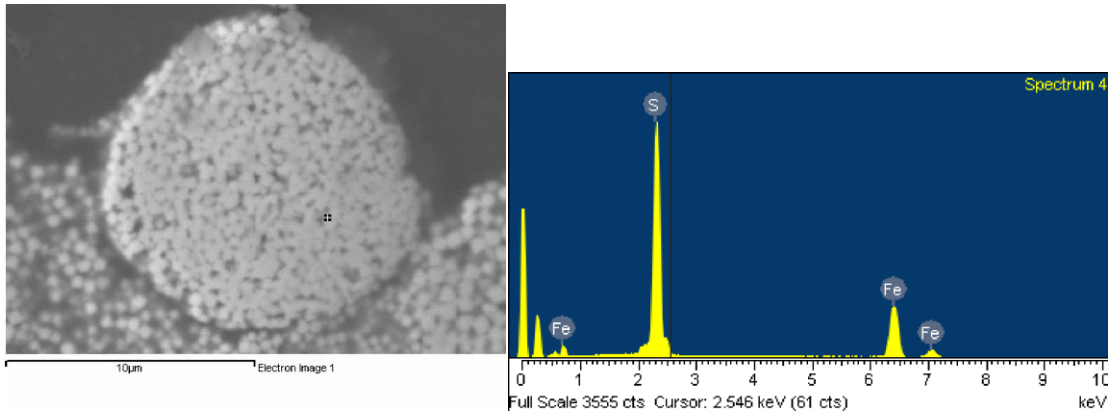
B



C

D

Por medio de microscopía electrónica de barrido (SEM) con analizador de rayos X característicos por energía difusa (EDX) se identificaron las formas de pirita presente en el carbón – a. Framboides en tres tamaños diferentes (1500X), b. Framboide conformado por cristales cúbicos (3000X), c. Framboide y cristales individuales (1700X), d. disposición de los cristales (350X).



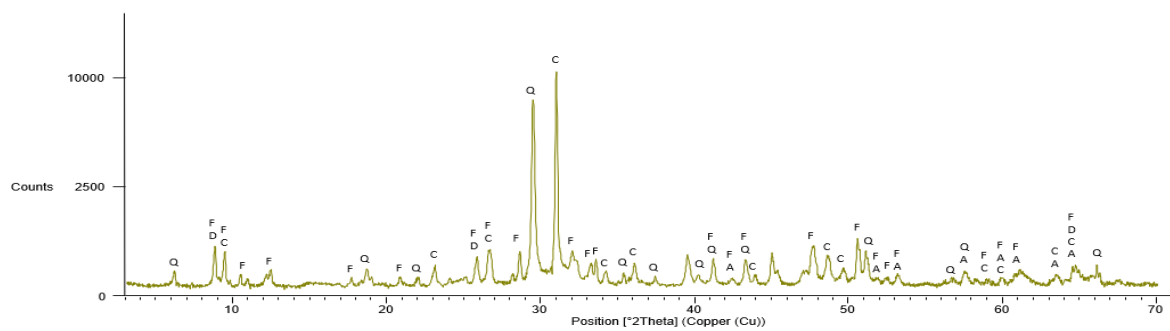
Análisis microquímico EDX sobre pirita framboidal.



Imagen de la bacteria *Acidithiobacillus thiooxidans*, uno de los microorganismos usados por el grupo de investigación en estas investigaciones. (Fuente: Science photo library.)

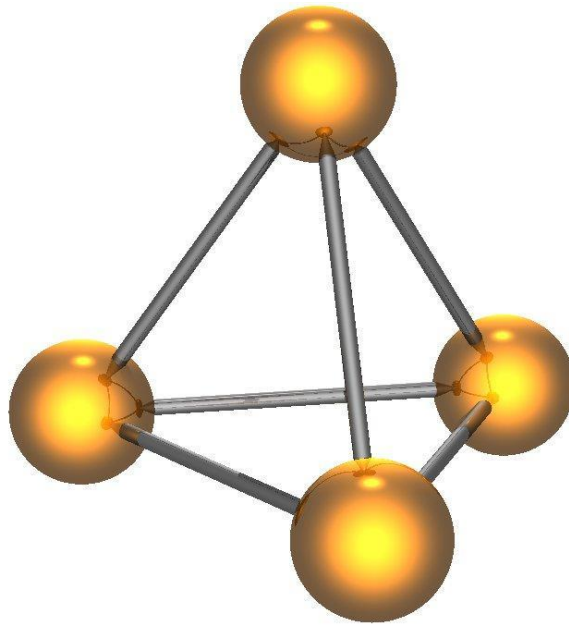


Producción de ácido biogénico usando la bacteria *A.thiooxidans*



Mineralogía de roca fosfórica extraída en el departamento del Huila buscando identificar el porcentaje de fósforo en ella.  
(Imagen compartida por la investigadora del grupo, Martha Natalia Echeverry)

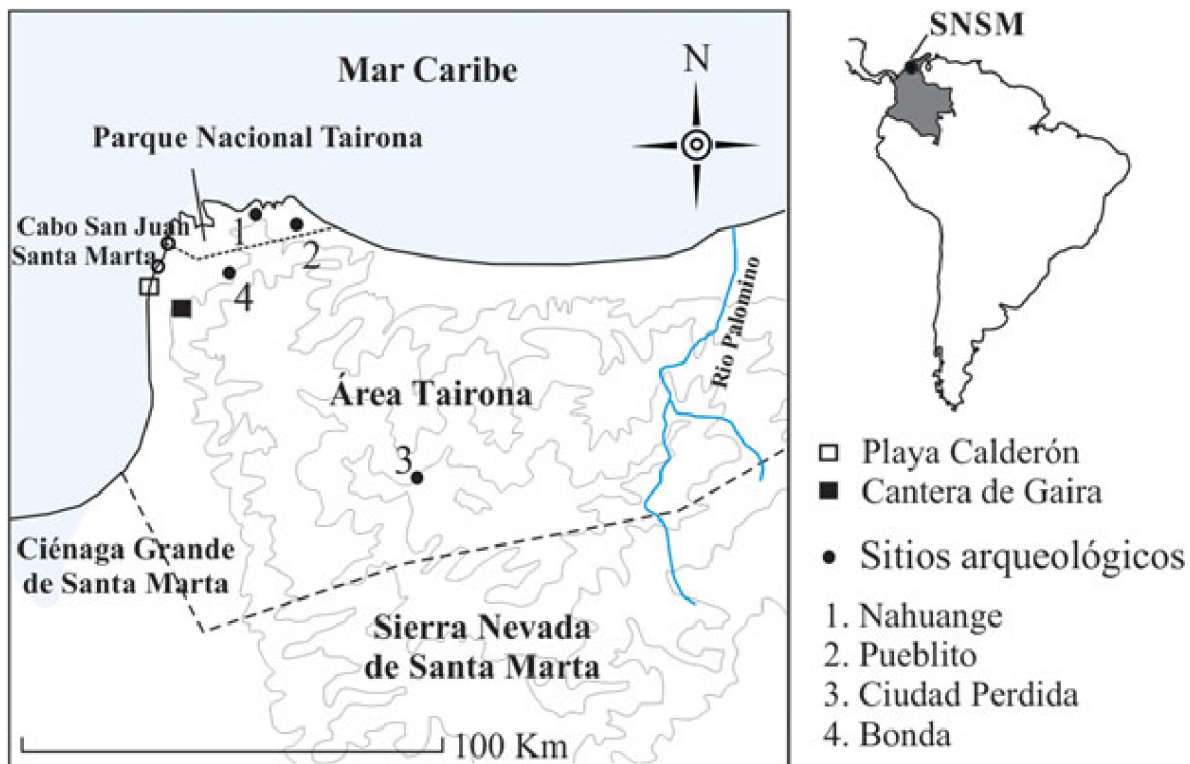




Molécula del fósforo. (Imagen tomada de Wikipedia)



Exploración de roca fosfórica en el Huila. (Foto toma de la web del Servicio Geológico Colombiano:  
[https://www2.sgc.gov.co/ProgramasDeInvestigacion/DireccionTecnicaRecursosMinerales/Paginas/Exploracion-de-roca-fosforica-en-el-departamento-del-Huila-\(Corredor-Aipe---La-Plata\)--Exploracion-de-magnesio-en-el-munici.aspx](https://www2.sgc.gov.co/ProgramasDeInvestigacion/DireccionTecnicaRecursosMinerales/Paginas/Exploracion-de-roca-fosforica-en-el-departamento-del-Huila-(Corredor-Aipe---La-Plata)--Exploracion-de-magnesio-en-el-munici.aspx))

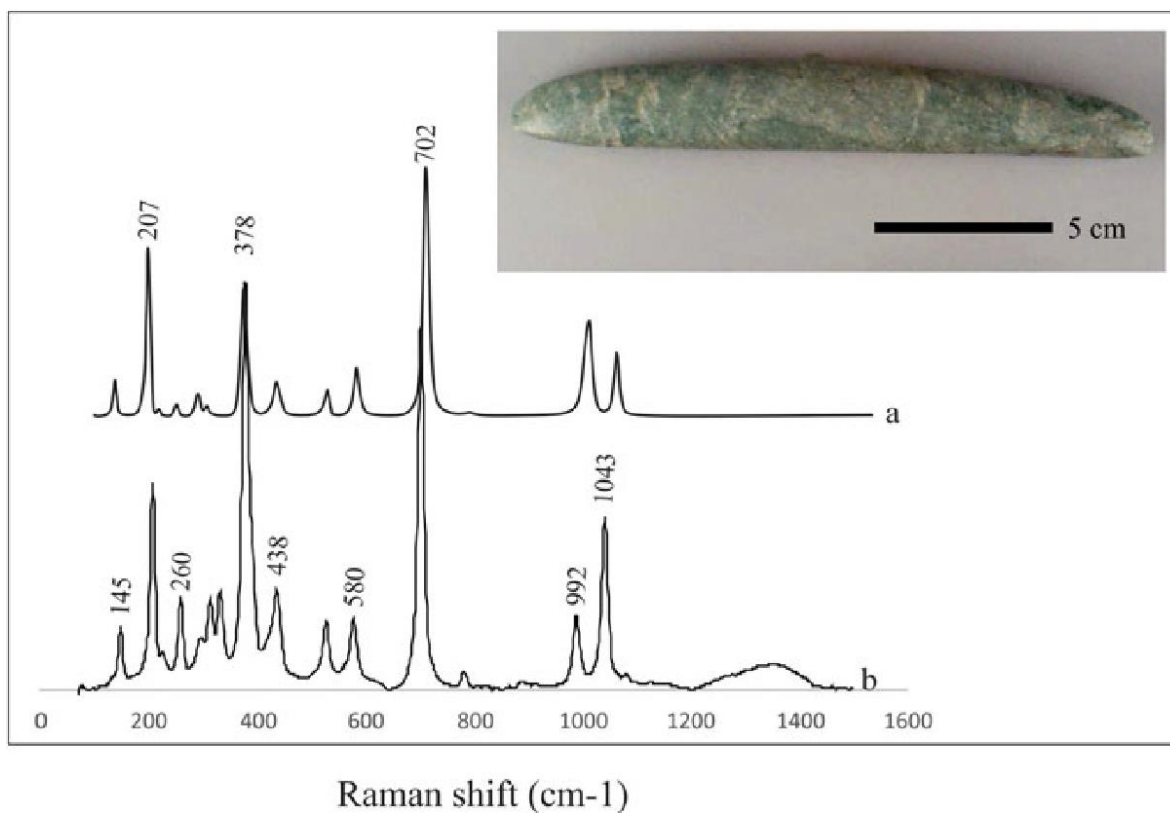


Ubicación geográfica de las sociedades prehispánicas Nahuange y Tairona, Sierra Nevada de Santa Marta en Colombia. (Imagen tomada del artículo PLACAS ALADAS de LAS SOCIEDADES NAHUANGE y TAIRONA (100-1600 DC), SIERRA NEVADA de SANTA MARTA, COLOMBIA: MATERIA PRIMA y ÁREAS de PROCEDENCIA publicado en *Latin American Antiquity*, October 2018, DOI: 10.1017/laq.2018.51)



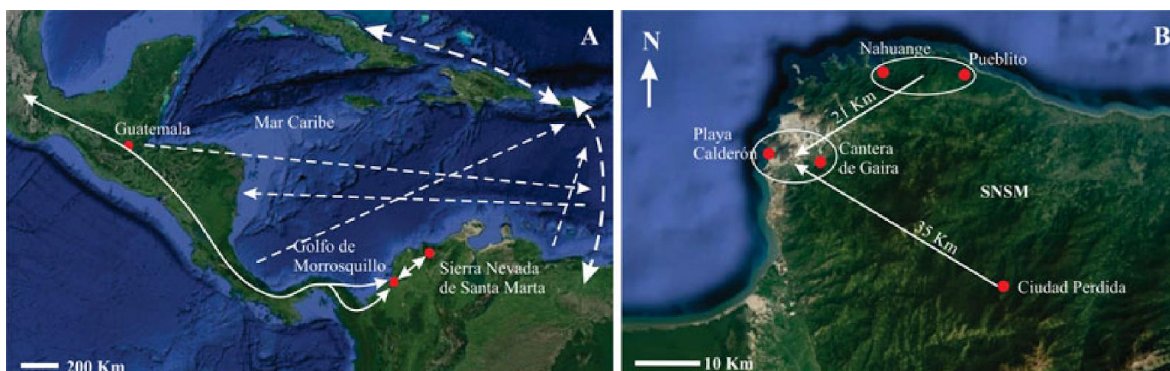
Placas aladas elaboradas en nefrita, serpentinita y calcedonia, clasificadas estilísticamente como pertenecientes al periodo Nahuange; de clasificación cronológica indeterminada entre Nahuange o Tairona (albergados en el Museo del Oro); y posiblemente perteneciente al periodo Nahuange (albergado en el Laboratorio de Arqueología de la Universidad del Norte). (tomado del artículo PLACAS ALADAS de LAS SOCIEDADES NAHUANGE y TAIRONA (100-1600 DC), SIERRA NEVADA de SANTA MARTA, COLOMBIA: MATERIA PRIMA y ÁREAS de PROCEDENCIA publicado en Latin American Antiquity, October 2018, DOI: 10.1017/laq.2018.51)





Espectro micro-Raman de la placa alada elaborada en jadeitita: (a) Espectro de referencia obtenido de la base de datos RRUFF (Lafuente et al. 2015); (b) Espectro de la placa alada L03397, albergada en la colección del Museo del Oro. (Color online)

(tomado del artículo PLACAS ALADAS de LAS SOCIEDADES NAHUANGE y TAIRONA (100-1600 DC), SIERRA NEVADA de SANTA MARTA, COLOMBIA: MATERIA PRIMA y ÁREAS de PROCEDENCIA publicado en *Latin American Antiquity*, October 2018, DOI: 10.1017/laq.2018.51)



(A) Ruta del jade en el Circuncaribe (modificado de Rodríguez Ramos 2011, 2013); (B) SNSM y ubicación de sitios arqueológicos y posibles fuentes geológicas. (Color online).

(tomado del artículo PLACAS ALADAS de LAS SOCIEDADES NAHUANGE y TAIRONA (100-1600 DC), SIERRA NEVADA de SANTA MARTA, COLOMBIA: MATERIA PRIMA y ÁREAS de PROCEDENCIA publicado en *Latin American Antiquity*, October 2018, DOI: 10.1017/laq.2018.51)





*Variscita (Imagen tomada de Wikipedia)*

