

# Guía para el desarrollo de la metodología para la caracterización fisicoquímica de los pigmentos inorgánicos

*Juan Manuel Cobo Rivera y Benjamín Valdez Salas*  
*Universidad Autónoma de Baja California*

*Javier Reyes Trujeque*  
*Universidad Autónoma de Campeche*

*Fernando Oviedo García*  
*Centro INAH Baja California*

## Resumen

Las pinturas rupestres del noreste de Baja California están asentadas sobre una matriz rocosa de afloramientos graníticos. En el presente estudio, se estableció una metodología secuencial para la caracterización fisicoquímica de los pigmentos, que involucra los procedimientos tradicionales con las técnicas instrumentales modernas de caracterización de materiales. En una secuencia de cinco etapas, se puede conocer la composición química de las pinturas (inorgánica e orgánica) mediante técnicas de análisis de superficie: petrografía, microscopía electrónica de barrido, microscopía óptica, análisis químicos con microsonda de electrones dispersados de rayos X y espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier. El objetivo final de este trabajo es el de ayudar a preservar las pinturas rupestres, recomendando acciones adecuadas para la conservación y restauración de las mismas.

## Introducción

En el noreste de Baja California las pinturas rupestres se encuentran asentadas sobre una matriz rocosa de los afloramientos graníticos conformados generalmente por cantos esferoidales producto de la meteorización esferoidal, bloques y frentes rocosos. Los pigmentos empleados fueron principalmente de origen mineral, aunque se encontraron también de origen orgánico. Los colores más frecuentes son blanco, verde grisáceo, negro y rojo y varias tonalidades de rojo hasta el amarillo. Las pinturas son muy estilizadas y esquematizadas, siendo su contenido artístico formas antropomorfas, manos humanas, zoomorfas, trazos geométricos y líneas en zigzag y onduladas.

El objetivo principal de este trabajo es determinar las propiedades físicas y químicas de las pinturas rupestres de Baja California, para recomendar acciones adecuadas que permitan la restauración y conservación de las pinturas y, de manera paralela ver el potencial de su aplicación tecnológica en la construcción actual. Para ello es necesario obtener su composición química y mineralógica, identificar las técnicas, materiales y herramientas utilizadas durante la realización de las pinturas rupestres, simular técnicas de preparación y aplicación, determinar los procesos químicos de adherencia, secado y curado de las pinturas.

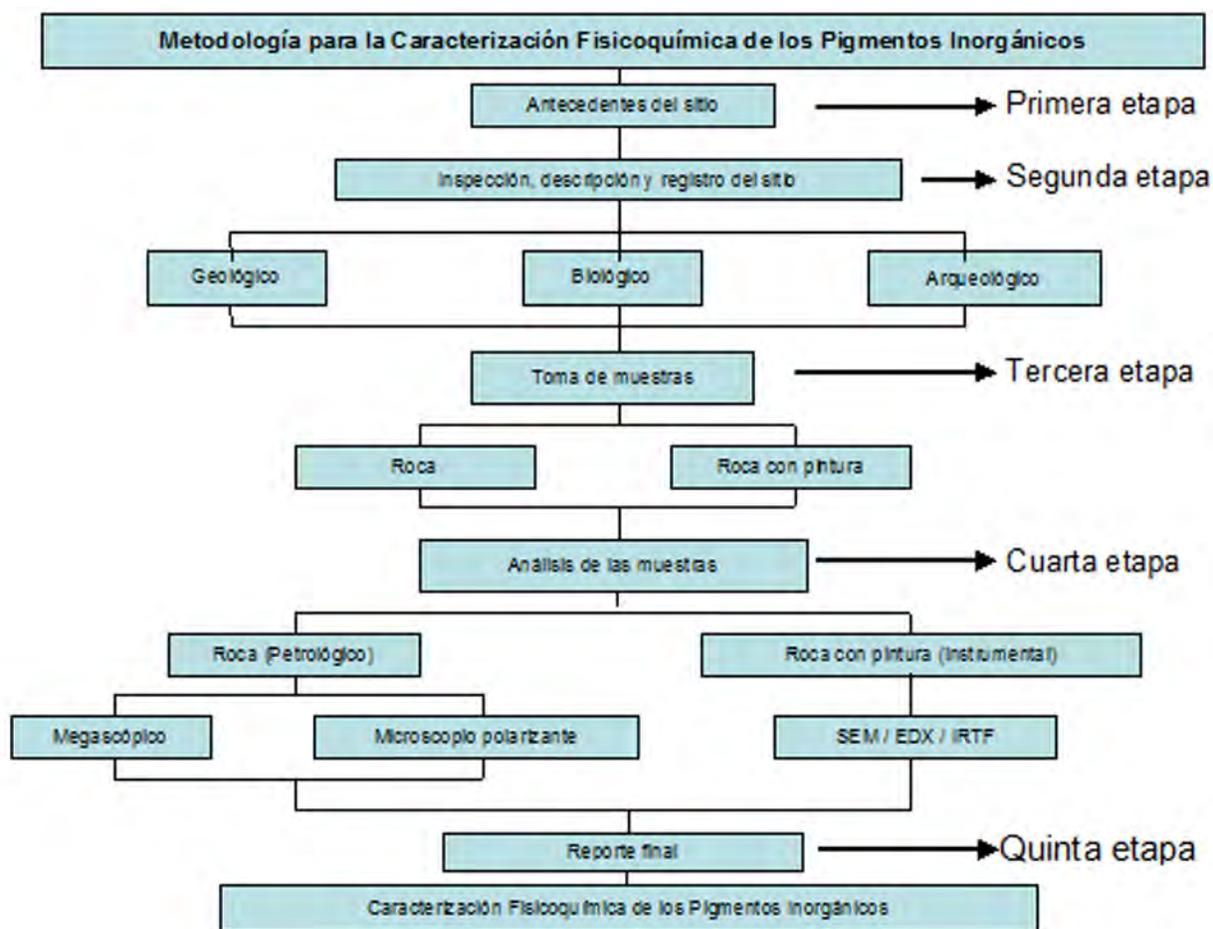


Figura 1. Etapas de la metodología.

## Metodología

Se diseñó y validó una metodología secuencial que involucra procedimientos tradicionales y técnicas modernas de caracterización de los materiales. La toma de muestras y sus dimensiones fueron especificadas en función de los requerimientos de las técnicas de instrumentación de análisis. El medio ambiente y el entorno donde se encuentran las pinturas fue otro factor determinante para conocer la intensidad con que los agentes atmosféricos y la materia orgánica han actuado sobre la superficie rocosa y los gráficos rupestres, por lo cual fue necesario establecer una secuencia de inspección minuciosa bajo los contextos geológicos y biológicos de los sitios arqueológicos y su relación con nuevos productos. El aspecto arqueológico marcó la pauta para determinar el número de muestras de roca con pintura de las que podíamos disponer y de la ubicación de su obtención.

La caracterización físicoquímica de los pigmentos inorgánicos se llevó a cabo en cinco etapas (Figura 1).

### Primera etapa: antecedentes.

En esta etapa, los involucrados y el analizador se familiarizan con el medio en donde van

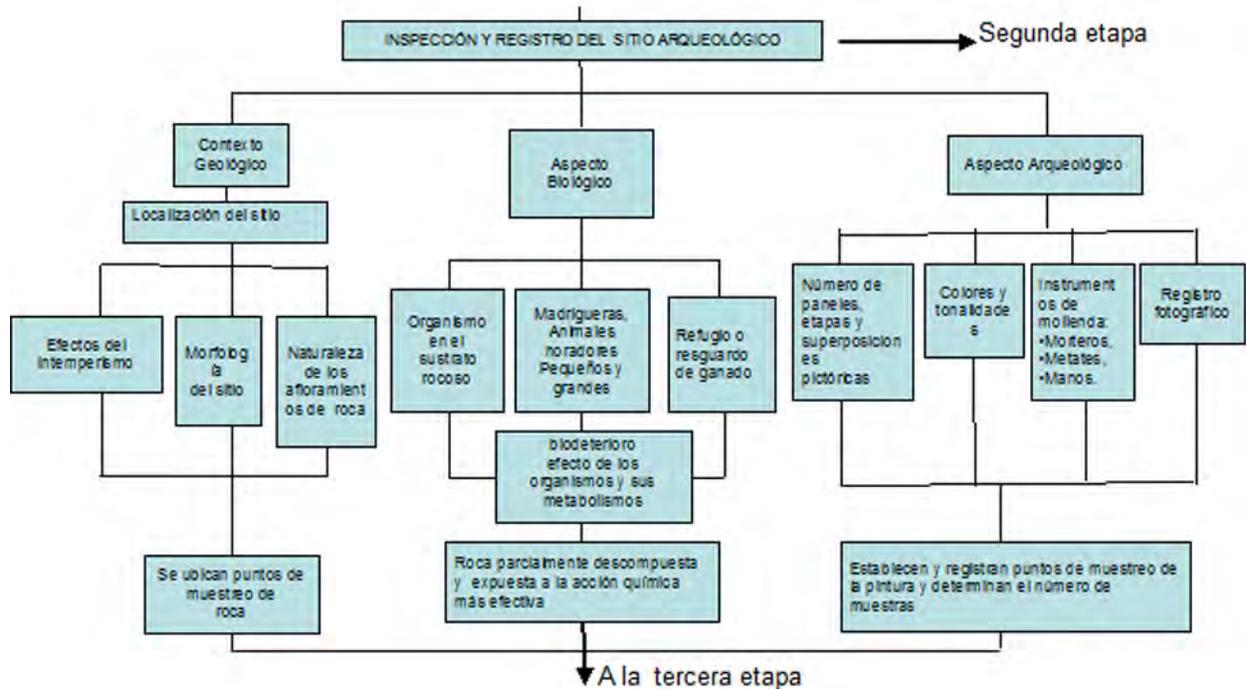


Figura 2. Segunda etapa.

a ser tomadas las muestras, así como sus posibles características, elevación con respecto al nivel del mar y clima de la región.

### Segunda etapa: inspección, descripción y registro del sitio.

En esta etapa, se tiene el primer contacto con los pigmentos de las pinturas y su entorno, y se lleva a cabo bajo los siguientes contextos: geológico, biológico y arqueológico (Figura 2).

#### Contexto Geológico

Localización del sitio o sitios. Para establecer la localización puntual del sitio o sitios, es necesario lo siguiente:

- Con un localizador satelital GPS, obtener las coordenadas geográficas o UTM (Universal Transverse Mercator) del sitio.
- En la carta topográfica de INEGI, escala 1:50,000, con curvas de nivel cada 10 m, ubicar el o los sitios visitados.
- Ubicar en fotografías aéreas los sitios de interés.

La información se complementó adicionando los caminos que concurren al sitio o sitios, las condiciones de éstos y las distancias que deben recorrerse para llegar a ellos. Como referencia y punto de partida se toma el poblado más importante de la región, o kilómetro de la carretera pavimentada más cercana, un cruce carretero o de ferrocarril, etc.

#### Efectos del intemperismo

Intemperismo químico. En este concepto se determinaron los reactivos químicos que han

intervenido en el laboratorio de la naturaleza, qué reacciones han tenido lugar y cuáles son los materiales resultantes. Procesos químicos actuantes: disolución, solución, lixiviación, etc.

Intemperismo mecánico. Se estudiaron los efectos mecánicos de las plantas y animales, de las heladas, de los cambios de temperatura y efectos mecánicos del intemperismo químico (exfoliación, etc.).

Grado de influencia del clima. Se determinaron las condiciones climáticas para conocer la clase y velocidad del intemperismo, considerando que el calor y la humedad son esenciales en los cambios químicos intensos.

Importancia de la topografía. Fue necesario verificar irregularidades de la topografía ya que esto favorece el intemperismo rápido (pendientes, topografía ondulada, altitudes, etc.).

### *Morfología del sitio*

Se realizó una descripción morfológica del afloramiento rocoso donde se encuentran realizadas las pinturas rupestres, identificando los procesos que han influido, los cambios que éstos han llevado a cabo, y los productos que se han generado (respaldos, frontones de roca, cascarones, hongos, laberintos y cantos esferoidales algunos de ellos embancados, etc.).

### *Naturaleza de los afloramientos de roca*

Se determinó el tipo o los tipos de rocas de la localidad específica donde se efectuó la descripción; espesor, estructura o formas; tipos de roca y su disposición. Expresión topográfica, color y tipo de suelo, vegetación, naturaleza de los afloramientos, grado de espesor y espesores promedio, forma de las capas o de otras estructuras (tabular, lenticular, lineal, etc.). Los caracteres primarios como graduación, laminaciones, estratificación cruzada, estriaciones, bandeamientos por flujo, inclusiones, etc., y estructuras secundarias como cruceros y efectos sobresalientes del intemperismo. Los fósiles, su distribución y características especiales de las rocas fosilíferas como posición y condición de los fósiles, también fueron tomados en cuenta. Así como la descripción de las rocas (color indicando si es roca sana o intemperizada, seca o húmeda y su clasificación de acuerdo al grano y sus características físicas.

Después de obtener la información relacionada con los conceptos de efectos del intemperismo, morfología del sitio y naturaleza de los afloramientos de roca, se establecieron los puntos de muestreo para obtener evidencia de estos conceptos, y se documentaron en un informe con evidencias fotográficas antes y después de la toma de muestras.

### *Contexto biológico*

#### *Organismos en el sustrato rocoso del afloramiento*

Es necesario documentar la presencia de bacterias, hongos, líquenes, protozoos y otros organismos, así como la alteración del sustrato rocoso debido a los procesos de digestión, asimilación y metabolismo llevados a cabo por estos organismos. También se documentó la presencia de madrigueras, animales horadadores pequeños y grandes, la alteración del afloramiento rocoso debido a los procesos de excavación y agujerado del sustrato por los animales en su estancia y tránsito.

Aquí, se estableció si la roca donde se encuentran las pinturas, las pinturas mismas y los

pigmentos, han quedado parcialmente descompuestas y/o expuestas a la acción química más efectiva de los organismos.

### *Contexto arqueológico*

Consta de cinco secciones:

1. Número de paneles, etapas y superposiciones pictóricas. Esto podrá determinarse únicamente en el sitio pictórico y de manera individual para cada resguardo con pinturas.
2. Colores y tonalidades. En esta sección se identifican el número de colores y de tonalidades presentes. Es recomendable utilizar el código de colores de Munsell para utilizar términos precisos de color.
3. Instrumentos de molienda, morteros, metates, manos. Se elaboró un croquis ubicando estos instrumentos dentro y en los alrededores de cada resguardo. Todos deberán de ser revisados minuciosamente en busca de residuos de pigmentos y/o pintura.
4. Registro fotográfico. En los sitios con pintura rupestre se obtuvo un registro fotográfico de los paneles pictóricos con el siguiente procedimiento:
  - a. La toma de fotografías se realizó ubicando el centro óptico de la cámara sobre una línea horizontal imaginaria que previamente se puede presentar -o estarse presentando- para establecer referencias de un punto de toma a otro. El procedimiento a seguir consiste en obtener la siguiente toma con un traslape horizontal de 60% (aprox.) de la anterior toma y así sucesivamente Figura 3a, la toma del punto 2 tiene un traslape lateral del 60% (aprox.) de la toma del punto 1, la toma del punto 3 tiene un traslape lateral del 60% (aprox.) de la toma del punto 2 y así sucesivamente.
  - b. Los gráficos rupestres y detalles que resulten de interés en la primera línea 1 de puntos de toma, deben quedar comprendidos dentro de la porción del 30% del hemisferio inferior, iniciando éste por debajo de la línea óptica (horizontal), el eje óptico de la cámara es perpendicular a la línea (horizontal) de puntos de toma y se desplaza (imaginariamente) sobre ésta, para los siguientes puntos de tomas (Figura 3b).
  - c. Todos los gráficos y detalles de los paneles pictóricos deberán quedar comprendidos dentro de las áreas de traslape, sin excepción. Generalmente con la primera línea de puntos de toma no cubre con traslape toda el área de los paneles pictóricos, por lo que hay que establecer otra u otras líneas horizontales imaginarias como se estableció en el punto 1, la que deberá cubrir un traslape de no menos del 30% de las tomas de la línea 1, la línea 2 (horizontal) de puntos de toma cubre con su parte inferior el 30% de las áreas de las tomas de la línea 1 y así sucesivamente (Figura 3c y d).
  - d. A partir de las fotografías con traslape, al observarse por parejas en un estereoscopio, de modo que cada imagen muestra en una parte de su superficie la misma zona desde los dos puntos diferentes, correspondiendo a dos puntos de toma sucesivos, se tiene una visión binocular, en relieve del área estudiada.
  - e. Si superponemos las fotografías empatando las áreas con traslape, podemos obtener “un mosaico no rectificado” del conjunto pictórico (Figura 3e).
  - f. Al utilizar únicamente las partes no distorsionadas de la fotografía y unir

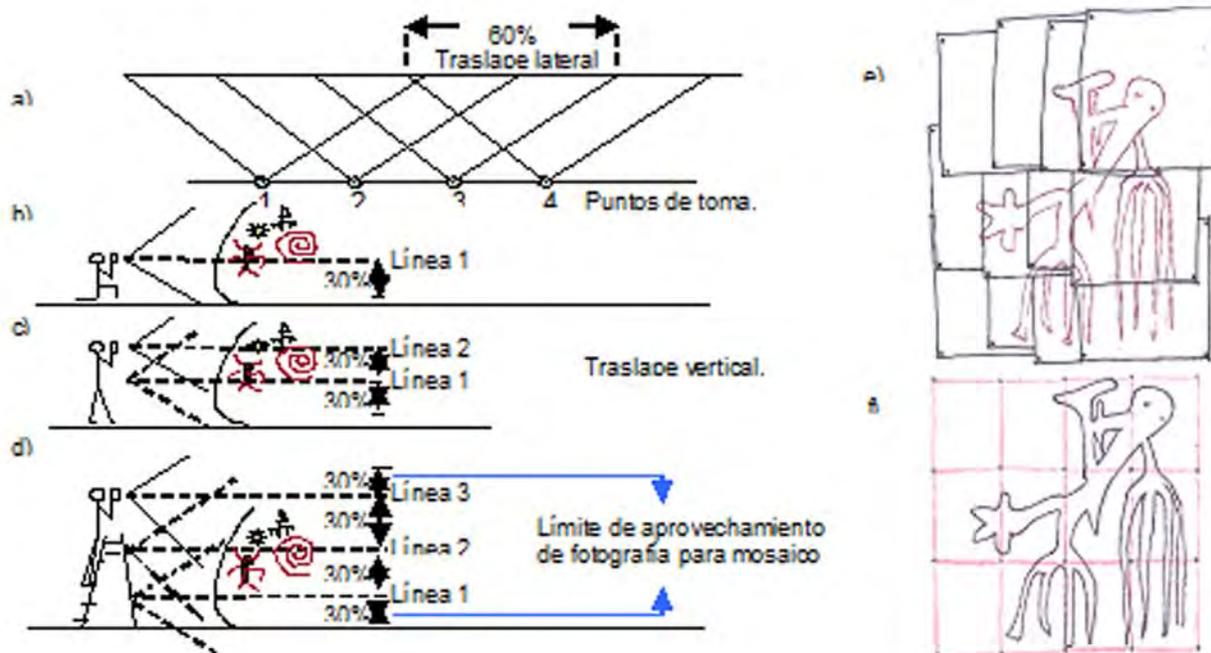


Figura 3. Toma de fotografías (a), (b), (c) y (d); mosaico no rectificado (e), obtenido sobreponiendo las fotografías en áreas comunes entre ellas; mosaico rectificado (f), usando únicamente los centros de cada fotografía.

convenientemente a través de rasgos que permitan disimular la unión con las correspondientes porciones aledañas podemos obtener “un mosaico rectificado” (Figura 3f).

- g. Al obtener una diapositiva del mosaico rectificado cabe la posibilidad de poder obtener los gráficos rupestres más o menos del tamaño original a través de su proyección, o más grandes o más pequeños de cómo son.
5. Registro arqueológico INAH, éste está plenamente establecido por el INAH, a través de un formato denominado Inventario de Zonas Arqueológicas (IZA).

### Tercera etapa: toma de muestras

Esta etapa constó de dos secciones denominadas: roca, y roca con pintura (Figura 4). Se llevaron a cabo dos tipos diferentes de muestreos, uno del monolito de roca donde se encuentran las pinturas rupestres (Figura 5a) y en el otro se obtuvieron esquirlas de roca con pigmento (Figura 5 b, c y d), con la finalidad de conocer los componentes de la roca con y sin pigmento.

A las muestras con pintura se les practicó un análisis petrográfico. Las dimensiones de la muestra de roca son de 8 a 16 cm de largo, 10 a 20 cm de ancho y de 3 a 6 cm de espesor. Mientras que para las muestras de roca con pintura las dimensiones son de 5 a 10 mm de largo, de 3 a 10 mm de ancho y un espesor de 2 a 4 mm.

Los escenarios favorables para la toma de la muestra fuera de la zona de la pintura, fue la zona fracturada o exfoliada, siempre y cuando fuese representativa del afloramiento rocoso. La roca con pintura se muestreó previa inspección y registro del sitio arqueológico.

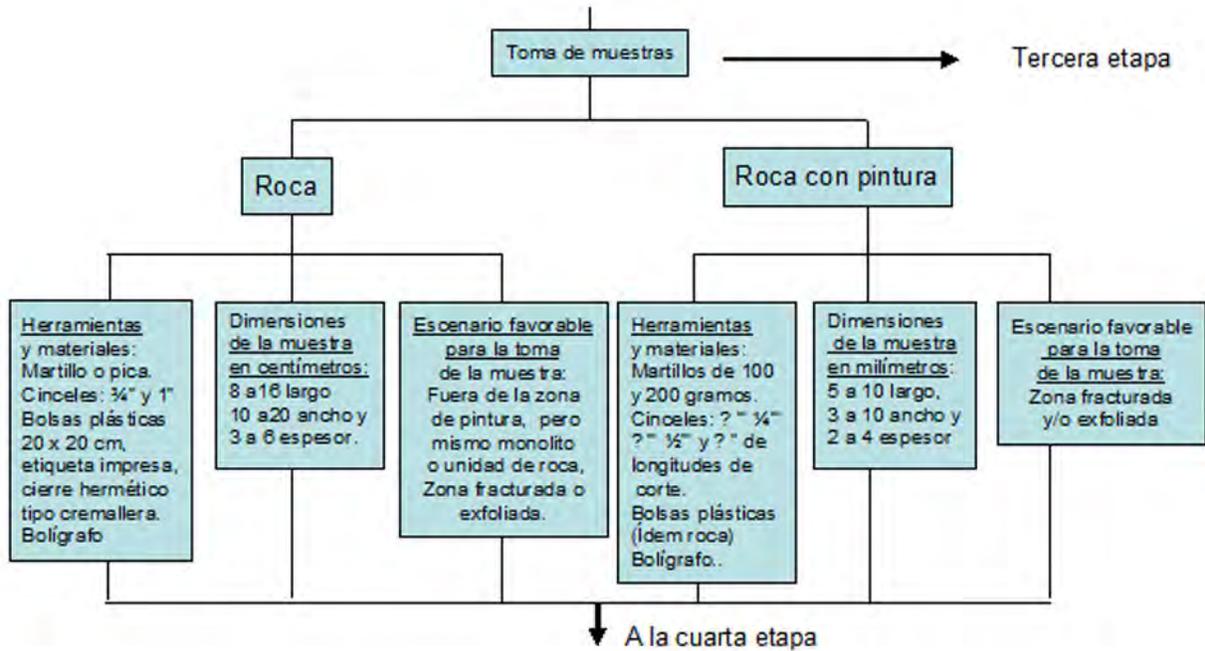


Figura 4. Tercera etapa.

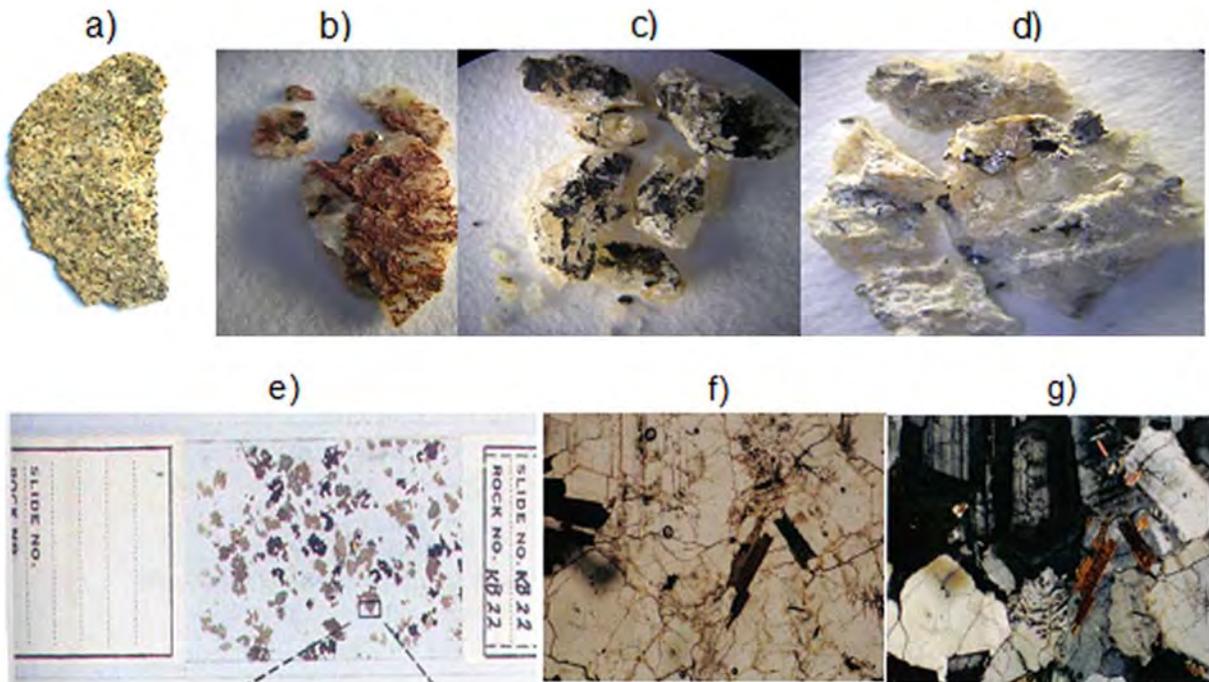


Figura 5. Roca ígnea intrusiva clasificada como una “granodiorita de biotita” (muestra de roca) (a); sitio arqueológico El Vallecito, conjunto El Tiburón, muestras de roca con pintura rojo, negro y blanco (b), (c) y (d); sección delgada (e); texturas, minerales y clasificación de la roca (f) y (g).

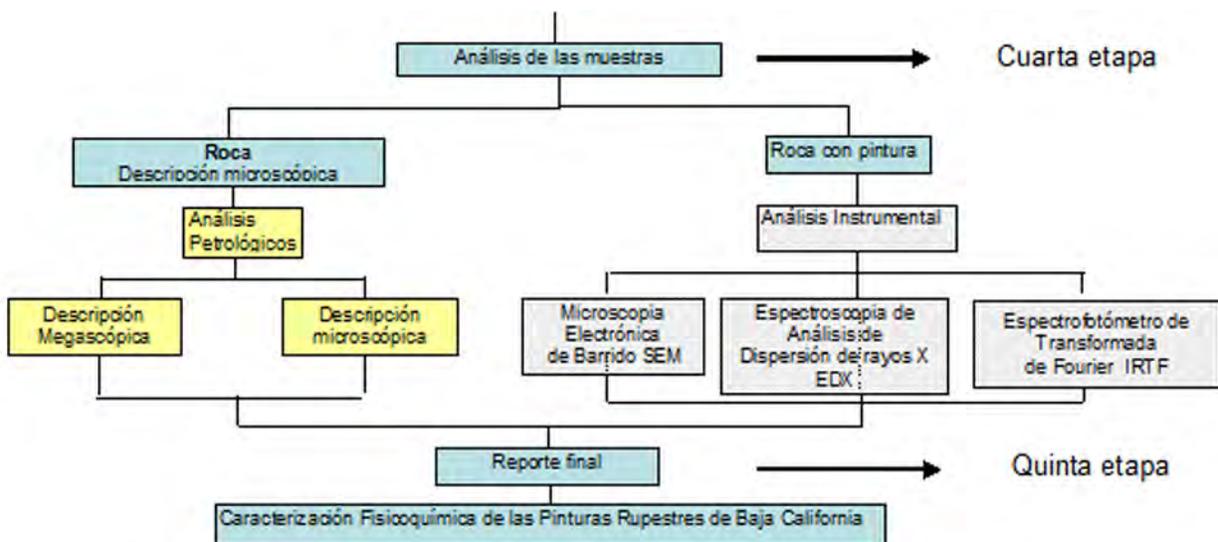


Figura 6. Cuarta y quinta etapas.

### *Codificación y registro fotográfico de las muestras*

Se estableció una nomenclatura para relacionar el sitio, el propósito del muestreo, el color, etc. mientras que para el registro fotográfico se utilizó una cámara fotográfica, una pantalla de color blanco, junto a la muestra una escala gráfica y un letrero con su clave de codificación y para la muestra de roca con pintura, un microscopio estereoscópico.

### **Cuarta etapa: análisis de las muestras**

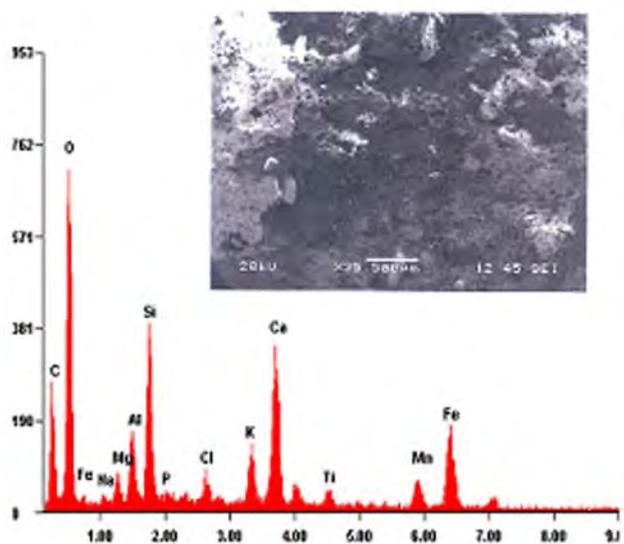
Se obtuvieron dos tipos de muestras: roca del afloramiento donde se encuentran las pinturas rupestres, y la muestra de roca con pintura (Figura 6). La muestra de roca se analizó con ayuda de un microscopio con luz polarizada. Antes de iniciar con la preparación de la muestra se le practicó una descripción megascópica a la muestra de roca, similar a la que se efectuó en la segunda etapa en el contexto geológico (Figura 2), en la sección naturaleza del afloramiento de roca.

### *Descripción de las secciones delgadas (láminas delgadas)*

Para la descripción de las secciones delgadas (Figura 5e), se elaboraron tablas con características propias de cada mineral, en secciones delgadas transparentes, incluyendo también, gráficos de variación de los valores de los índices de refracción y de los ángulos axiales en los minerales.

El equipo utilizado para el análisis fue un microscopio polarizante: para la observación de sustancias birrefringentes o con doble refracción es indispensable el examen con luz polarizada, con platina giratoria y nonio para medir el giro en aquellas sustancias que presenten el fenómeno de la birrefringencia con caracteres especiales de luminosidad o coloración.

En la descripción microscópica se destacó la textura, talla de los cristales, composición global, forma de los cristales, ocurrencia, inclusiones, color y tonos, exfoliación, partición, fractura, orientación, extinción, alteraciones, etcétera (Figura 5f y g).



Element	Wt%	At%
C K	24.33	37.30
O K	39.43	45.38
Na K	00.60	00.48
Mg K	01.39	01.06
Al K	02.85	01.94
Si K	05.46	03.58
P K	00.38	00.23
Cl K	01.10	00.57
K K	02.39	01.13
Ca K	07.60	03.49
Ti K	01.00	00.39
Mn K	03.18	01.07
Fe K	10.27	03.39

Figura 7. Micrografía de una muestra de roca con pintura de color negro, obtenida con un microscopio electrónico de barrido, y espectro de dispersión de rayos X.

#### *Análisis de superficies y composición química de las muestras de roca con pintura utilizando SEM-EDX*

Se utilizó la técnica de microscopía electrónica de barrido (SEM), con el propósito de generar una imagen en tres dimensiones, para evaluar las texturas en las imágenes y determinar el número de ellas (Figura 7). El microscopio contaba con un espectrómetro de dispersión de rayos X (EDX), que permitió obtener información sobre la composición química de las superficies analizadas.

Las muestras de la roca con pintura fueron cubiertas con una placa de vidrio sobre la superficie pintada, empleándose dos placas más en posición lateral para fijar las muestras de tal modo que fuera posible pulirlas sin dañar la pintura y obtener una superficie plana por el lado de la roca.

Para este análisis fueron de gran utilidad las fotografías de los fragmentos de roca con pintura, para lo cual se utilizó un microscopio estereoscópico. Estas sirvieron de referencia para seleccionar los puntos de análisis.

#### *Espectroscopia infrarroja con transformadas de Fourier*

El espectrofotómetro de transformada de Fourier IRTF permitió analizar el tipo de compuesto orgánico o inorgánico presente, permitiendo por comparación con bibliotecas comerciales, elucidar las estructuras moleculares con fines cuantitativos (Figura 8).

Para mejores resultados se utilizó un dispositivo de reflectancia total atenuada (ATR) acoplado al espectrofotómetro infrarrojo, el cual permitió el análisis directo sobre la muestra en forma de laminilla o polvo.

Con estas cuatro etapas se han caracterizado física y químicamente los pigmentos inorgánicos.

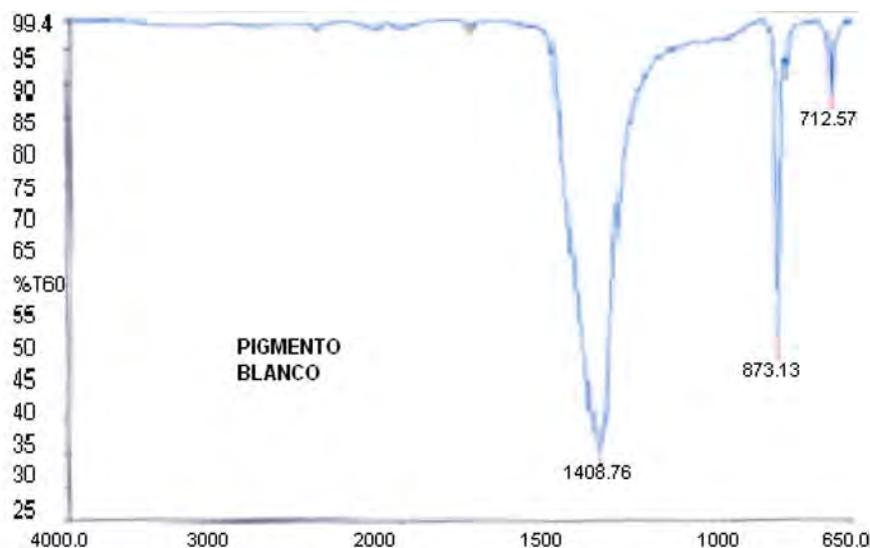


Figura 8. Espectro FITR del pigmento blanco utilizado en el sitio “El Vallecito”.

### Quinta etapa: reporte final

Se documentó el desarrollo y resultados de cada una de las etapas en un reporte cuyo contenido mínimo incluyó: título, resumen, introducción, materiales y métodos, resultados, discusión, conclusiones, recomendaciones y referencias. En la Figura 9 se muestra la totalidad de la metodología para la caracterización fisicoquímica de los pigmentos inorgánicos.

### Conclusiones

La presente metodología fue desarrollada y pudo ser validada a través de trabajo experimental. Esta herramienta permitió estudiar la composición química de las pinturas rupestres de Baja California, las cuales están constituidas de compuestos minerales, es decir predominantemente inorgánicos, siendo el carbón de fogata el único pigmento orgánico presente en los pigmentos.

Las técnicas de análisis petrográfico, análisis de superficie con microscopía electrónica de barrido y microscopía óptica, análisis químicos con microsonda de electrones dispersados de rayos X y espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier, resultaron ser eficientes para llevar a cabo la caracterización fisicoquímica de las pinturas rupestres. Esta metodología constituye una fuente de información original y única que podrá ser empleada por especialistas en el tema de conservación y restauración para actividades que buscan preservar las pinturas rupestres de Baja California.

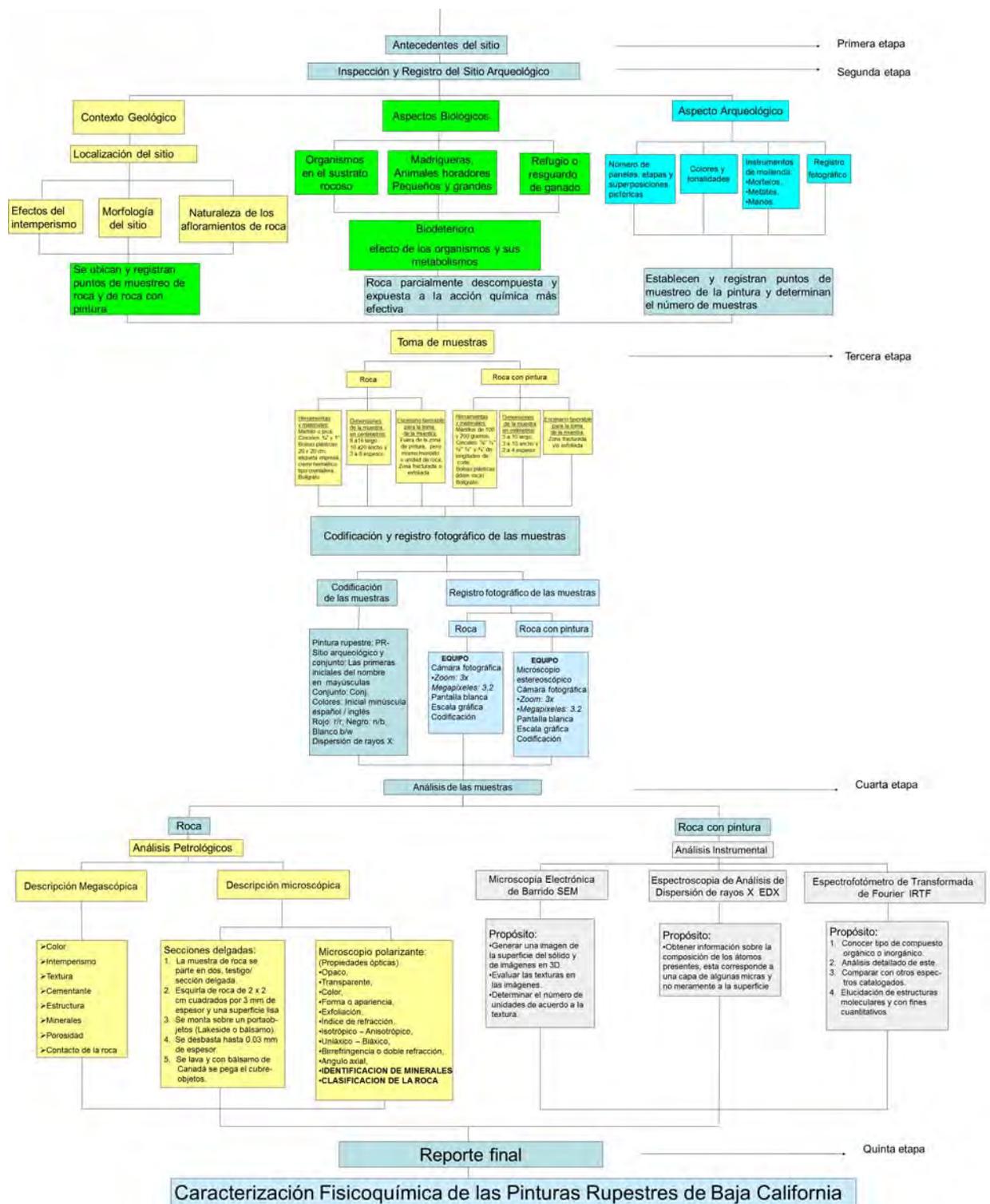


Figura 9. Metodología para la caracterización físicoquímica de los pigmentos.