



**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUÍS POTOSÍ**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**AREA CIENCIAS DE LA TIERRA**



**ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LOS PIGMENTOS  
DE LAS PINTURAS RUPESTRES DE EL VALLECITO,  
BAJA CALIFORNIA Y DE LOS MURALES DE  
MAYAPAN,  
YUCATAN.**

**TRABAJO RECEPCIONAL**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO GEOLOGO**

**PRESENTA**

**MARIA LAURA CERVANTES RIVERA**

**SAN LUÍS POTOSÍ, S.L.P.,NOVIEMBRE 2008**



17 de julio de 2008

A LA PASANTE MARÍA LAURA CERVANTES RIVERA  
P R E S E N T E.-

En atención a su solicitud de autorización de Temario, presentada por el Ing. Carlos Francisco Puente Muñiz, Asesor del Trabajo Recepcional que desarrollará usted, con el objeto de sustentar su Examen Profesional en la Licenciatura de Ing. Geólogo. Me es grato comunicarle que en la Sesión de Consejo Técnico Consultivo celebrada el día 17 de julio del presente año, fue aprobado el Temario propuesto:

TEMARIO:

**"ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LOS PIGMENTOS DE LAS PINTURAS RUPESTRES DE EL VALLECITO, BAJA CALIFORNIA Y DE LOS MURALES DE MAYAPÁN, YUCATÁN."**

Introducción.

1. Antecedentes.
2. Métodos Instrumentales y Metodología.
3. Resultados.
4. Discusión de Resultados.

Conclusiones.

Bibliografía.

Anexos.

Ruego a Usted tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, debe presentar Constancia de Servicio Social como requisito indispensable para sustentar su Examen Profesional.

**"MODOS ET CUNCTARUM RERUM MENSURAS AUDEBO"**



**FACULTAD  
DE INGENIERÍA**

Av. Manuel Nava 8  
Carretera Universitaria - CP 78290  
San Luis Potosí, S.L.P.  
tel. (444) 826 2330 al39  
fax (444) 826 2336  
www.uaslp.mx

\*bcb.

ING. ARMANDO VIRAMONTES ALDANA  
DIRECTOR



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE SAN LUIS POTOSÍ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIRECCIÓN

## **Resumen**

El presente trabajo se llevó a cabo con la finalidad de hacer un estudio comparativo entre los pigmentos utilizados en las pinturas rupestres de El Vallecito, B.C., con las de los murales, como es el caso: Mayapán, Yucatán, dos culturas en extremo diferentes, en relación al tiempo y la distancia, en que cada una de ellas se desarrolló, este estudio se efectuó en base al uso de las técnicas de caracterización como Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) y Espectroscopia de Dispersión de Energía de Rayos X (EDS). Los pigmentos comparados comprenden los colores: blanco, negro, naranja y rojo. Para el caso de los pigmentos de los murales de Mayapán, Yucatán, se tomaron los análisis químicos elementales que fueron obtenidos con una microsonda marca JEOL 5600 LV, los resultados fueron publicados por Y. Silva Velázquez *et al* (2005) y las muestras de los pigmentos obtenidos de las pinturas rupestres de El Vallecito, B.C., fueron analizados con una microsonda similar a la mencionada acoplada a un equipo JEOL 6360. Los resultados muestran una similitud en el uso de los pigmentos.

## CONTENIDO

	Página
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	2
<b>OBJETIVOS GENERALES</b> .....	3
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	3
<b>Capítulo 1 ANTECEDENTES</b> .....	4
1.1 FISIOGRAFÍA.....	5
1.1.1 Sitio arqueológico El Vallecito, Baja California.....	5
a) <i>Localización y acceso</i> .....	5
b) <i>Clima</i> .....	6
c) <i>Provincia fisiográfica</i> .....	6
1.1.2 Sitio arqueológico Mayapán, Yucatán.....	7
a) <i>Localización y acceso</i> .....	7
b) <i>Clima</i> .....	7
c) <i>Provincia fisiográfica</i> .....	7
<b>Capítulo 2 MÉTODOS INSTRUMENTALES Y METODOLOGÍA</b> .....	10
2. METODOS INSTRUMENTALES Y METODOLOGIA.....	11
2.1 METODOLOGIA DE CAMPO.....	11
2.2 PETROGRAFÍA.....	11
2.2.1 Metodología de Laboratorio.....	11
a) Preparación.....	11
b) Descripción de la sección delgada.....	12
2.3 MÉTODOS INSTRUMENTALES.....	13
2.3.1 Microscopía electrónica de barrido (MEB) y Espectroscopía por dispersión de energía de rayos X (EDS).....	13
2.4 METODOLOGÍA.....	15

	Página
<b>Capítulo 3 RESULTADOS</b> .....	17
<b>3 RESULTADOS</b> .....	18
<b>3.1 PINTURA RUPESTRE</b> .....	18
3.1.1 Lienzo pétreo.....	19
3.1.2 Elaboración de la pintura.....	20
3.1.3 Tiza.....	20
3.1.4 Pasta.....	21
3.1.5 Componentes químicos de la roca.....	21
3.1.6 Aspectos de las pinturas.....	21
<b>3.2 MURALES MAYAS</b> .....	21
3.2.1 Técnica pictórica.....	21
3.2.2 Soporte de la pintura.....	22
3.2.3 Elementos químicos.....	22
a) <i>Elementos químicos de la roca</i> .....	22
b) <i>Elementos químicos del soporte del mural</i> .....	23
c) <i>Elementos químicos de los pigmentos</i> .....	23
d) <i>Elementos químicos de primer orden o esenciales</i> .....	23
e) <i>Elementos químicos de segundo orden o accesorios</i> .....	23
f) <i>Elementos químicos de tercer orden o traza</i> .....	23
g) <i>Elementos químicos de cuarto orden o de reacción</i> .....	24
h) <i>Elemento químico insignia o abanderado del color</i> .....	24
<b>3.3 MICROGRAFÍAS OBTENIDAS POR MEB Y ANÁLISIS QUÍMICOS ELEMENTALES A LOS PIGMENTOS OBTENIDOS POR EDS</b> .....	24
<b>3.3.1 Sitio arqueológico El Vallecito, Baja California</b> .....	24
a) <i>Color blanco</i> .....	24
b) <i>Color negro</i> .....	25
c) <i>Color naranja</i> .....	25
d) <i>Color rojo</i> .....	26

	Página
3.3.2 Sitio arqueológico Mayapán, Yucatán.....	27
a) <i>Color blanco</i> .....	28
b) <i>Color negro</i> .....	30
c) <i>Color naranja</i> .....	31
d) <i>Color rojo</i> .....	31
<b>Capítulo 4 DISCUSION DE RESULTADOS.....</b>	<b>33</b>
<b>4 DISCUSION DE RESULTADOS.....</b>	<b>34</b>
4.1 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (MEB).....	34
4.1.1 MICROGRAFÍAS.....	34
a) <i>De los pigmentos de color blanco</i> .....	34
b) <i>De los pigmentos de color negro</i> .....	35
c) <i>De los pigmentos de color naranja</i> .....	35
d) <i>De los pigmentos de color rojo</i> .....	37
4.2 ESPECTROSCOPIA POR DISPERSIÓN DE ENERGÍA DE RAYOS X (EDS).....	38
Tabla de Microtexturas y Microestructuras.....	39
Clasificación de los Elementos Químicos determinados por DES.....	40
4.2.1 Análisis químico elemental obtenido por EDS.....	41
a) <i>De los pigmentos de color blanco</i> .....	41
b) <i>De los pigmentos de color negro</i> .....	41
c) <i>De los pigmentos de color naranja</i> .....	43
d) <i>De los pigmentos de color rojo</i> .....	45
4.3 ROCA Y SOPORTE.....	46
4.3.1 Roca.....	46
4.3.2 Soporte.....	47
4.4 PIGMENTOS.....	47

	Página
4.5 SUPERFICIE DE LA PINTURA (LIENZO PÉTREO):	
PINTURA RUPESTRE.....	50
4.6 ANÁLISIS GLOBAL DE LOS COMPONENTES ELEMENTALES DE LOS PIGMENTOS UTILIZADOS EN LAS PINTURAS RUPESTRES DE EL VALLECITO Y EN LOS MURALES DE MAYAPÁN.....	50
4.6.1 Sitio arqueológico El Vallecito, Baja California.....	50
4.6.2 Sitio arqueológico Mayapán, Yucatán.....	53
4.7 SOPORTE DEL MURAL, SUPERFICIE DE REACCIÓN.....	54
4.8 ELEMENTO INSIGNIA O ABANDERADO DEL COLOR.....	58
4.9 REEMPLAZOS IÓNICOS Y/O SUSTITUCIONES IÓNICAS....	59
4.9.1 Sitio arqueológico El Vallecito, Baja California.....	59
4.9.2 Sitio arqueológico Mayapán, Yucatán.....	59
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>61</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>64</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>70</b>
Anexo 1 Estudio Comparativo Entre los Pigmentos utilizados....	71
Anexo 2 Arte, Pintura Rupestre y Murales Maya.....	72
Anexo3 Reacciones Químicas de los Procesos.....	73

## Índice de Figuras

	Página
Figura 1. Localización de los sitios arqueológicos El Vallecito, Baja California y de Mayapán, Yucatán.....	2
Figura 2. Muestra de roca y de roca con pintura.....	11
Figura 3. Sistema de Análisis Espectrométrico de rayos X.....	15
Figura 4. Fotografías de rocas y micrografías por MEB de los Soportes de murales.....	19
Figura 5. Sección delgada: Luz natural y luz polarizada.....	20
Figura 6. Micrografías de los pigmentos de color blanco.....	25
Figura 7. Micrografías de los pigmentos de color negro.....	28
Figura 8. Micrografías de los pigmentos de color naranja.....	31
Figura 9. Micrografía del pigmento de color rojo.....	37
Figura 10. Gráficas de los elementos químicos / %atómico, de los pigmentos de color blanco, negro, naranja y rojo.....	42
Figura 11. Análisis global de los elementos químicos determinados en los pigmentos de El Vallecito y de Mayapán.....	56

## Índice de Tablas.

Tabla 1. Análisis químico elemental obtenido por EDS de los pigmentos de color blanco.....	27
Tabla 2. Análisis químico elemental obtenido por EDS de los pigmentos de color negro.....	29
Tabla 3. Análisis químico elemental obtenido por EDS de los pigmentos de color naranja.....	30
Tabla 4. Análisis químico elemental obtenido por EDS de los pigmentos de color rojo.....	32
Tabla 5. Microtexturas y microestructuras.....	39
Tabla 5.1 Clasificación de los Elementos Químicos determinados por EDS.....	40
Tabla 6. Pigmentos utilizados en los sitios arqueológicos.....	51
Tabla 7. Elementos insignia.....	59

## **Mapas de Localización**

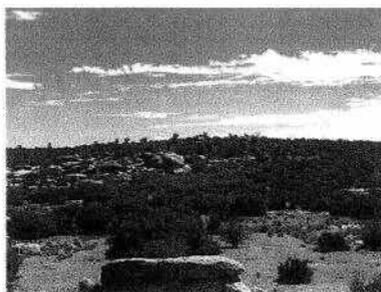
	<b>Página</b>
<b>Mapa 1</b> Vías de Comunicación "El Vallecito" B.C.Norte.....	<b>5</b>
<b>Mapa2</b> Mapa de Fisiografía "El Vallecito" B.C. Norte.....	<b>6</b>
<b>Mapa3</b> Mapa de Fisiografía "Mayapán", Yucatán.....	<b>8</b>
<b>Mapa4</b> Vías de Comunicación "Mayapán" Yucatán.....	<b>9</b>

# **INTRODUCCIÓN**

## INTRODUCCIÓN.

El arte rupestre desarrollado por grupos de nómadas cazadores-pescadores-recolectores que fueron capaces de dejar una gran diversidad de rastros que expresan distintas formas de interpretar el mundo y de comunicarse con los demás que a pesar de las edades milenarias de algunos y centenarias de otros de este arte rupestre aun persisten en la actualidad, en la mayoría de las veces de manera íntegra, entre ellos las pinturas. En este estudio se compararon los pigmentos de las pinturas rupestres de El Vallecito, Baja California con los utilizados en algunos de los murales de Mayapán, Yucatán por los Mayas, dos culturas distintas y distantes en la distancia y en el tiempo. La primera mostrándonos que tenía conocimientos de algunos materiales y estos los utilizaban usando técnicas aunque sencillas pero que garantizan sus fines, siendo estas perdurables hasta nuestros días y la segunda considerada por los arqueólogos como la última capital Maya de esta importante civilización previa a la llegada de los hispanos (1250-1450 d.C.) era poseedora de un sistema de gobierno, con su administración y practicantes de los aspectos religiosos con una arquitectura de estas culturas que en la actualidad todavía asombra al mundo, ver figura 1.

El Vallecito, Baja California



Mayapán, Yucatán



Figura 1. Localización de los sitios arqueológicos de El Vallecito, B. C. y de Mayapán, Yucatán. Esta última tomada de [www.unas-fotos.blogspot.com](http://www.unas-fotos.blogspot.com)

Después de llevar a cabo la caracterización fisicoquímica de las pinturas rupestres de Baja California y de conocer los resultados obtenidos en la caracterización fisicoquímica de pigmentos y soportes en pinturas murales

como es el caso Mayapán, Yucatán, resultó interesante hacer un análisis comparativo entre ambos estudios, sobre todo, en las imágenes de superficie de los pigmentos obtenidas con el microscopio electrónico de barrido (MEB) y los resultados de la Espectroscopía por Dispersión de Energía de Rayos X (EDS), utilizando estas técnicas en ambos estudios, seleccionándose para esto los mismos colores. El blanco, el negro, el naranja y el rojo.

Las muestras de pintura rupestre se obtuvieron del sitio arqueológico El Vallecito, B. C., el color blanco se tomó del Conjunto El Hombre Enraizado, el color negro y el naranja del Conjunto Los Solecitos o Wittinñur ("piedra pintada") y el color rojo del Conjunto La Cueva del Indio.

En Mayapán, Yucatán, fueron estudiados los murales de los siguientes edificios: Templo de Los Símbolos Solares y del Templo Redondo.

#### **OBJETIVOS GENERALES.**

- a) Identificar el origen y la composición de los pigmentos de color blanco, negro, naranja y rojo, utilizados tanto por los pintores rupestres en El Vallecito, Baja California, como por los artistas mayas en los murales de Mayapán, Yucatán.
- b) Conocer las técnicas de la aplicación de los pigmentos en ambos sitios arqueológicos (El Vallecito, B. C.– Mayapán, Yuc.).

#### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

Que los resultados obtenidos en este estudio sirvan a los especialistas en el área de la conservación y la restauración, actividades que buscan preservar las pinturas rupestres de Baja California y a los murales de Mayapán, Yuc.

Capítulo 1  
**ANTECEDENTES**

## ANTECEDENTES.

### 1.1 FISIOGRAFÍA.

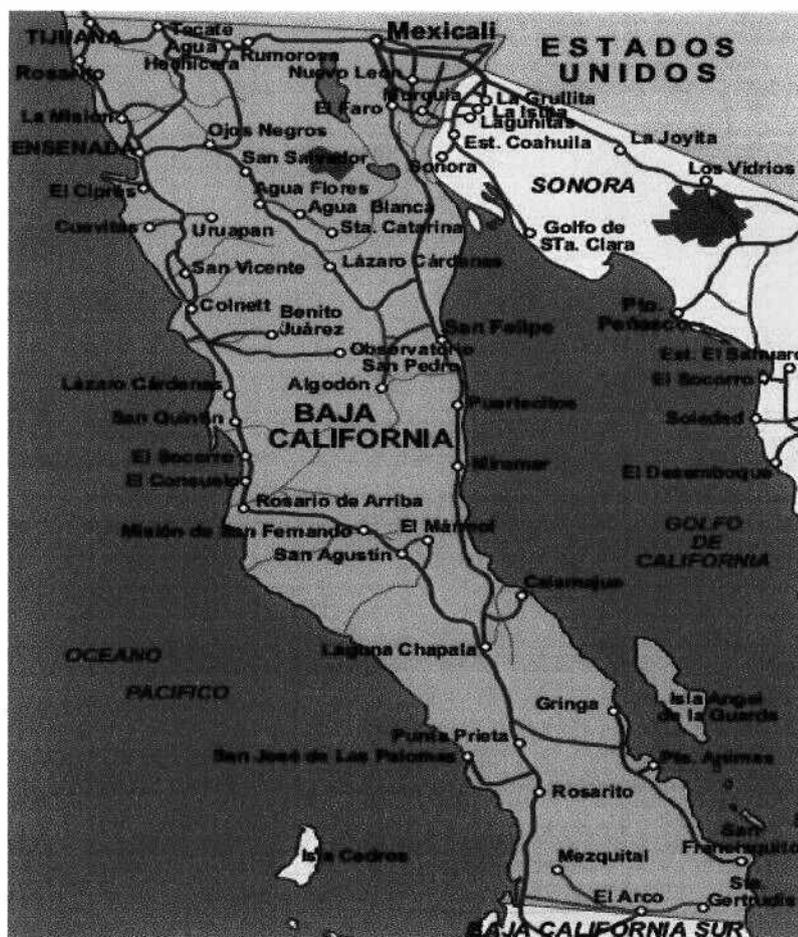
#### 1.1.1 Sitio arqueológico El Vallecito, Baja California.

##### a) Localización y acceso.

El sitio arqueológico El Vallecito, se encuentra en el extremo norte del estado de Baja California, a unos cuantos cientos de metros de la frontera con Estados Unidos de Norteamérica.

El Vallecito, se encuentra al oeste de la ciudad de Mexicali, capital del estado, para llegar al sitio se accesa la carretera federal No. 2 hasta el poblado La Rumorosa (kilómetro 73.5), encontrándose El Vallecito a 3 kilómetros al norte de este poblado. En este lugar se identificaron 32 conjuntos con pinturas rupestres.

Vías de Comunicación, sitio Arqueológico "El Vallecito", Baja California Norte



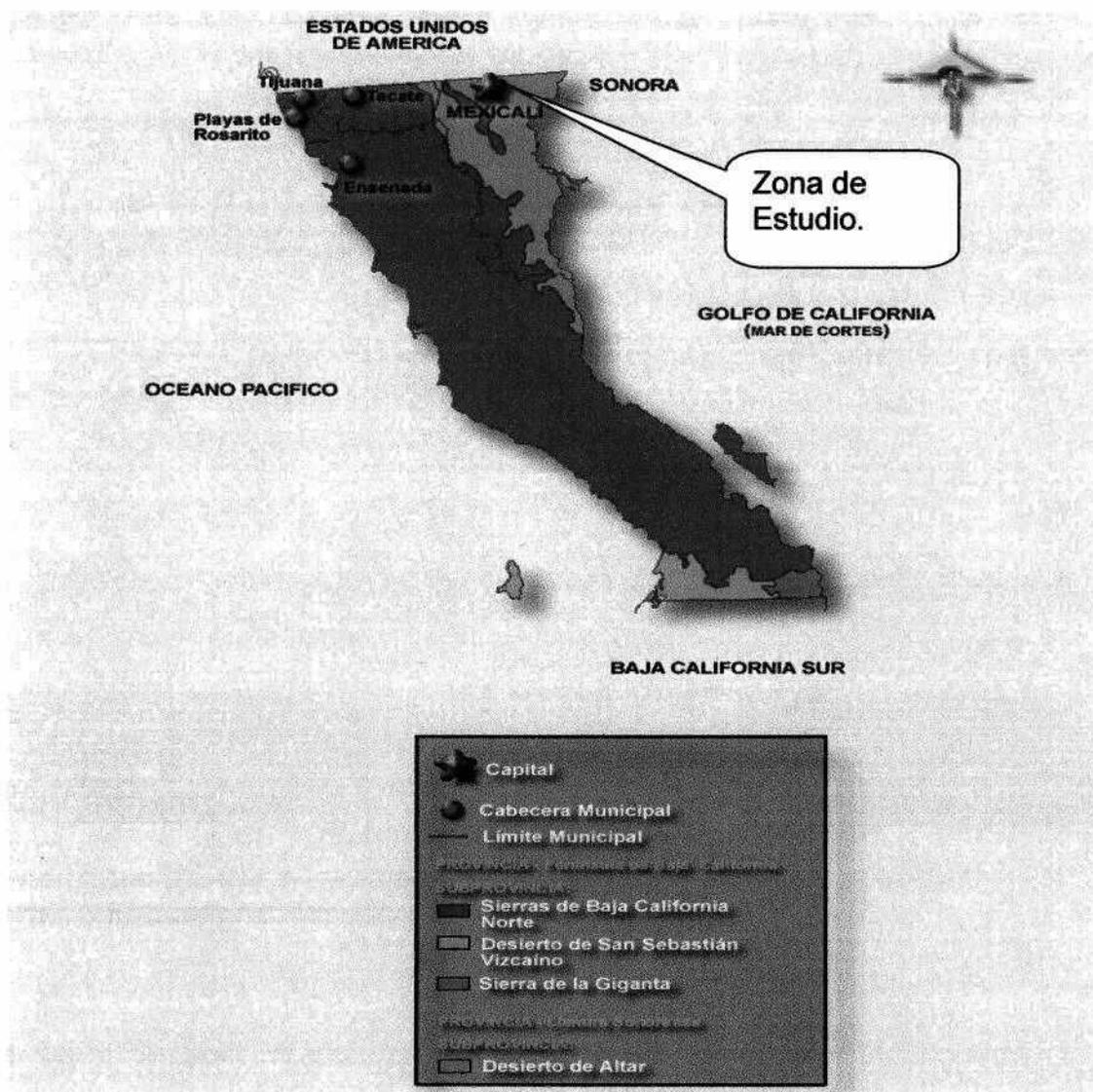
<http://www.mapasmexico.net/mapa-bajacalifornia.html>

b) *Clima.*

El clima es muy árido también denominado muy seco. El clima es del tipo BW de acuerdo con Köppen modificado por E. García.

c) *Provincia fisiográfica.*

El sitio arqueológico se encuentra comprendido en la provincia fisiográfica de Sierras de Baja California, cercano al flanco este de la Sierra de Los Cucapah a 1300 metros sobre el nivel del mar, que forma parte de la Sierra de Juárez y del batolito peninsular representado por rocas graníticas.



<http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/estados/bc/fisio.cfm?c=444&e=02>

### 1.1.2 Sitio arqueológico de Mayapán, Yucatán.

#### a) *Localización y acceso.*

Mayapán se encuentra en el estado de Yucatán, al sureste de la ciudad de Mérida capital del estado. Para llegar al sitio se accesa la carretera estatal No. 18 hasta la población de Telchaquillo, encontrándose a un kilómetro de este poblado.

Mayapán es considerado por los historiadores como el centro más importante así como la última gran capital de la civilización maya (1250–1450 d. C.) periodo previo a la llegada de los europeos.

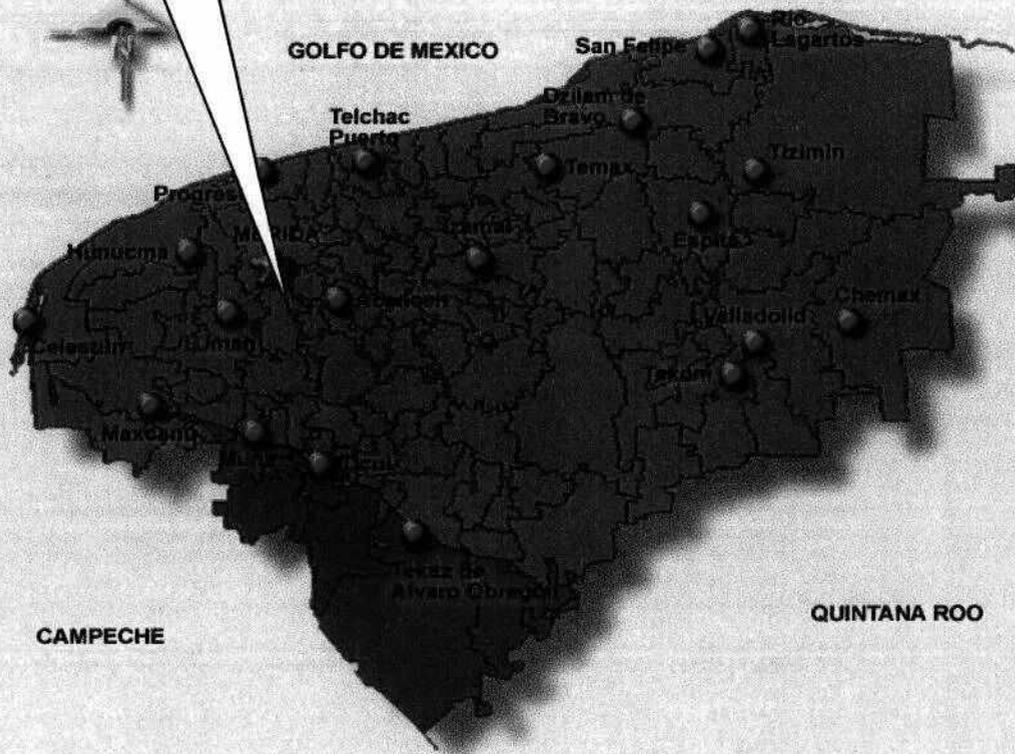
#### b) *Clima.*

El clima es caliente subhúmedo con lluvias en verano, es de tipo Aw de acuerdo con Köppen modificado por E. García.

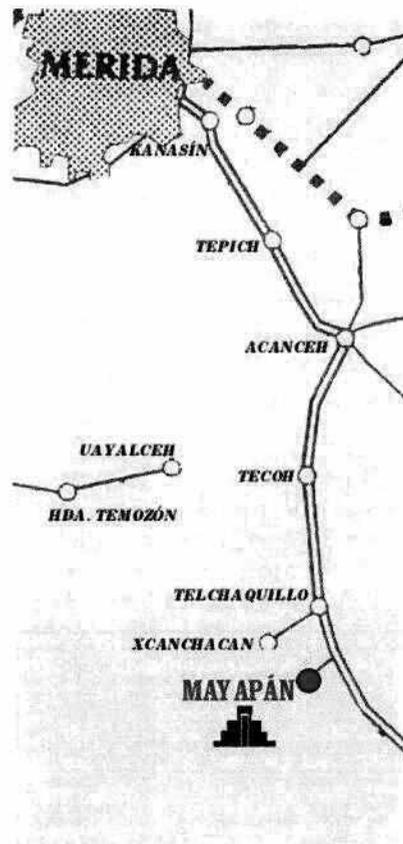
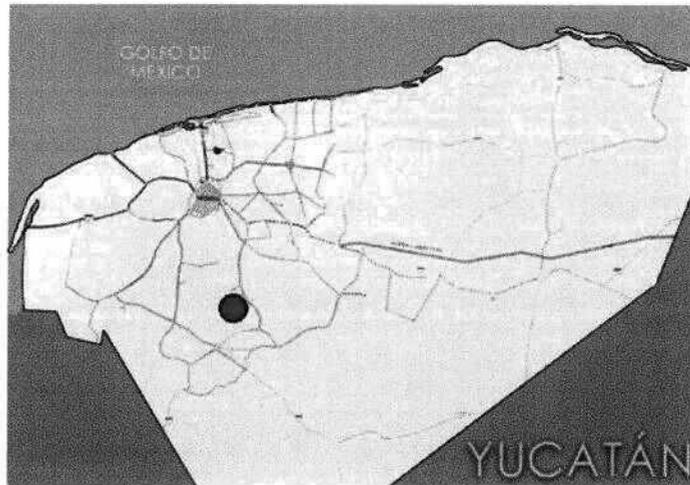
#### c) *Provincias fisiográficas.*

Este sitio arqueológico se encuentra en La Península de Yucatán, sitio dominado por rocas calizas compactas, de color crema claro a veces cretosa, al intemperizarse esta caliza da un suelo cretoso que se conoce con el nombre de saxcab. Esta caliza se encuentra en gran parte de la zona central y sur de la península, asignándosele una edad del Eoceno.

Zona de  
Estudio Sitio  
Arqueológico  
Mayapán.



## Vías de Comunicación, sitio Arqueológico "Mayapán", Yucatán



<http://www.yucatan.com.mx/especiales/arqueologia/mayapan.asp>

## Capítulo 2

# **MÉTODOS INSTRUMENTALES Y METODOLOGÍA**

## 2. MÉTODOS INSTRUMENTALES Y METODOLOGÍA.

### 2.1 Metodología de Campo

Para analizar las pinturas rupestres, en particular las propiedades físicas y la composición química del sustrato rocoso y los pigmentos, para tal efecto se llevó a cabo un muestreo de la roca donde se encontraron las pinturas con la finalidad de llevar a cabo la petrografía de esta y se muestreó también la roca con pintura, las dimensiones de estas muestras oscilaron entre las siguientes dimensiones: de 3 a 10 mm de ancho, de 5 a 10 mm de largo y un espesor entre 2 y 4 mm. Ver Figura 2.

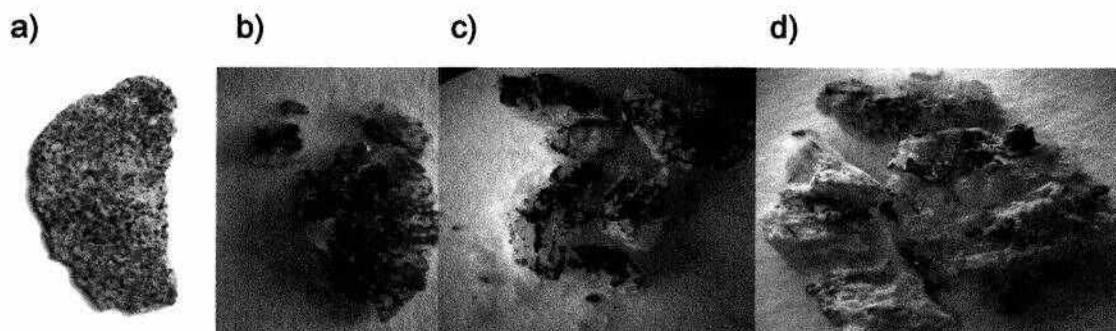


Figura 2 Muestra de roca y de roca con pintura: a) Roca ígnea intrusiva clasificada como una "Granodiorita de biotita" (muestra de roca). b). c), d). Muestras de roca con pintura (rojo, negro y blanco)

Muestreo bajo la autorización del proyecto: Caracterización Físicoquímica de las pinturas rupestres de El Vallecito B.C. UABC-INAH. del Estado de Baja California, 2006.

### 2.2 PETROGRAFÍA.

#### 2.2.1 Sección delgada. (Metodología de laboratorio)

##### a) Preparación.

La muestra de roca, se partió en dos porciones, empleándose una porción para la elaboración de la sección delgada y la otra porción quedó como testigo para futuros estudios o aclaraciones.

De una de las porciones de roca se obtuvo una esquirla, con una superficie lisa apta para ser colocada sobre un portaobjetos una esquirla ideal tiene una superficie de 2 centímetros cuadrados y tres milímetros de espesor. La esquirla de roca fue montada sobre un cristal portaobjetos con bálsamo de Canadá ( $n=$

1.537) o Lakeside 70 (n=1.540), previamente calentados cuyos índices de refracción (n) son muy próximos, pero es ligeramente mayor el del Lakeside 70. La esquila de roca ya pegada al portaobjetos, se pasó a la pulidora utilizando carborundo y esmeril del grano más grueso al más fino, hasta obtener un grosor de 0.03 mm, espesor que debe ser uniforme en toda la lámina delgada. Posteriormente la muestra fue lavada para liberarla del polvo residuo de pulimentar y fue secada, se cubrió con cristal portaobjetos cuyo espesor es de 0.17 mm o menor al que se pegó con bálsamo de Canadá caliente.

En este trabajo se empleó una sierra SAMPLMET 2, marca Buehler y una pulidora Ecomet 3 (Grinder–Polisher), de velocidad variable, marca Buehler y material abrasivo.

*b) Descripción de la sección delgada.*

Para la descripción de la sección delgada, se utilizaron las tablas que contienen las características que son propias para cada mineral, la mayoría de estas tablas están diseñadas para minerales transparentes en secciones delgadas y los gráficos de variación de los valores de los índices de refracción y de los ángulos axiales en los minerales.

La identificación de las especies minerales fue basada en las propiedades ópticas sugeridas por cada una de las tablas consultadas.

Para la identificación de los minerales transparentes anisotrópicos se utilizó el siguiente esquema.

**Descripción del mineral**

- Color (tabla de minerales coloreados).
- Forma o apariencia (tablas de minerales en cristales euhédricos individuales y forma de los agregados cristalinos y estructuras).
- Exfoliación (en una, dos, tres o más direcciones).
- Índice de refracción (mayor o menor que el bálsamo).
- Doble refracción o birrefringencia (gráfico de colores de interferencia para los minerales comunes, es también en base al espesor de la sección delgada).

**Carácter óptico.**

- Uniáxico positivo o negativo.

- Biáxico positivo o negativo; ángulo axial (2V), gráficos para minerales positivos o negativos.

En la descripción microscópica se destacó la textura, talla de los cristales, composición global, forma de los cristales, abundancia, maclas, ocurrencia, inclusiones, color y tonos, exfoliación, partición, fractura, orientación, extinción, alteraciones, etcétera.

El estudio petrográfico fue realizado utilizando un microscopio trinocular polarizante, modelo POH-3, marca Nikon.

## 2.3 MÉTODOS INSTRUMENTALES.

### 2.3.1 Microscopia electrónica de barrido (MEB) y Espectroscopia por dispersión de energía de rayos X. (EDS).

La microscopía electrónica de barrido produce imágenes con electrones, con radiaciones emitidas o reflejadas por el espécimen del mismo lado que recibe el haz electrónico, de manera que generalmente se observa una superficie de un objeto opaco al haz, lo que lo hace comparable al microscopio de luz estereoscópico o de disección (Vázquez y Echeverría, 2000).

Los microscopios electrónicos permiten ver objetos más pequeños y texturas más finas que los microscopios ópticos, esto se debe a que tiene mayor poder de resolución. El poder de resolución es una característica numérica o parámetro de un sistema óptico de luz o de electrones que define su capacidad de dar imagen de detalles muy pequeños del objeto.

El microscopio electrónico de barrido proporciona imágenes y datos físico-químicos de la superficie de cuerpos generalmente opacos a los electrones, por medio de un delgadísimo haz de electrones que recorre dicha superficie y de detectores que transducen las señales que de ella emanan, transformándolas en corriente eléctrica que se emplean en formar una imagen en un monitor de televisión.

Para realizar estas funciones los microscopios electrónicos de barrido cuentan con las siguientes partes: a) óptica electrónica, b) cámara de espécimen, c) circuitos de alimentación de la óptica electrónica, de generación de alto voltaje y de producción de barrido, d) detectores de electrones secundarios emitidos

por la muestra de electrones retrodispersos y otros tipos, e) dispositivos para observación y registro de las imágenes.

En general, los análisis de rayos X se realizaron después de haber registrado una imagen de la zona de la muestra que se desea estudiar. Esta imagen permite adaptar dentro de ciertos límites, el diámetro de haz a circunscribir al tamaño de la estructura que se desea analizar. De esta forma los rayos X portarán la información de átomos situados en el volumen emisor de la zona iluminada y se podrá realizar una buena correlación entre estructura y composición elemental. En los microscopios electrónicos de barrido actuales las imágenes se digitalizan de rutina, se pueden memorizar y se pueden observar aun cuando el haz haya dejado de barrer la zona, lo que facilita poner en posición el haz sobre la estructura que se va a analizar.

La cuantificación de la abundancia de un elemento presenta algunos problemas pues mediciones en diferentes regiones de especímenes tridimensionales, es decir no planos o casi planos, dependen mucho de la topografía de la superficie del objeto, de manera que serían comparables únicamente las medidas realizadas sobre superficies con similares ángulos con respecto al haz y al detector.

Los sistemas de detección de rayos X de los microscopios electrónicos incluyen sistemas para analizar los rayos emitidos por la muestra, estos se pueden caracterizar por sus diferencias de energía y de longitud de onda, por lo que en realidad son verdaderos espectrómetros. En nuestro caso la espectrometría por dispersión de energía se utilizó en el análisis de las muestras de pintura y de roca con pintura. El detector consiste en un cristal semiconductor en el que la incidencia de un fotón de radiación X produce la ionización de un número de átomos de su estructura cristalina. Este número será mayor cuanto más grande sea la energía del fotón. Como la intensidad de emisión es generalmente muy baja, hay tiempo para recoger esta ionización en forma de señal eléctrica y aprovechando la rapidez de los sistemas de computo modernos de digitalizar el voltaje y archivarlo, antes de que incida otro fotón. El sistema permite reconocer las frecuencias de emisión de una gran variedad de energías, medir a que transición de que átomos corresponden y hacer una

gráfica semicuantitativa en el monitor en la que el usuario encontrará identificados los átomos que estén emitiendo radiación analizable en la región irradiada de la muestra y sus abundancias relativas. Ver Figura 3.

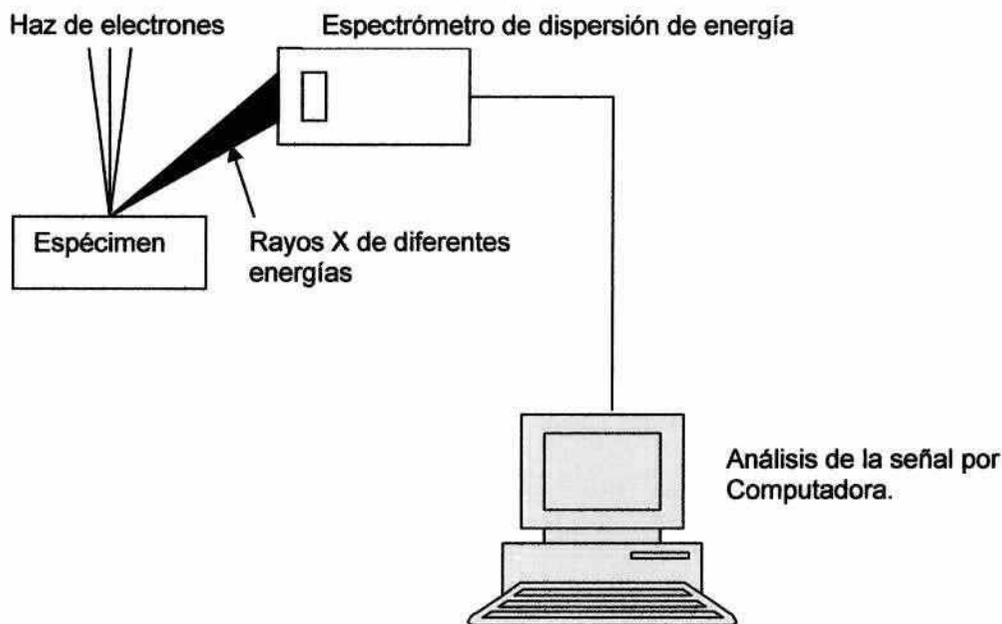


Figura 3. Sistema de Análisis Espectrométrico de rayos X. Los rayos X emitidos por la muestra se pueden caracterizar analizando sus energías.

### 2.3 METODOLOGÍA.

La metodología para desarrollar el estudio comparativo entre la caracterización fisicoquímica de las pinturas rupestres de El Vallecito y de los murales de Mayapán, consistió en cinco etapas:

#### Primera etapa

Se establecieron los colores a compararse en el entendimiento de que cada color seleccionado estuviera presente en los dos sitios arqueológicos, por lo que se procedió a sacar una relación de colores presentes en los dos sitios.

#### Segunda etapa.

Se determinaron las técnicas aplicadas en uno y otro estudio, siendo coincidentes para los dos sitios la Microscopía electrónica de barrido (MEB) y la Espectroscopía por dispersión de energía de rayos X (EDS).

#### Tercera etapa.

Se llevaron a cabo las comparaciones entre las micrografías o microfotografías obtenidas por MEB y los resultados de composición química obtenidos por EDS. Inicialmente de forma individual por cada sitio, siendo la condición que fuera del mismo color.

Cuarta etapa.

Se compararon los pigmentos utilizados en uno y otro estudio, su relación. Así como su correlación de su utilización en uno y otro sitio.

Quinta etapa.

Se documentaron y se discutieron los resultados.

## Capítulo 3

# **RESULTADOS**

### 3 RESULTADOS.

#### 3.1 PINTURA RUPESTRE.

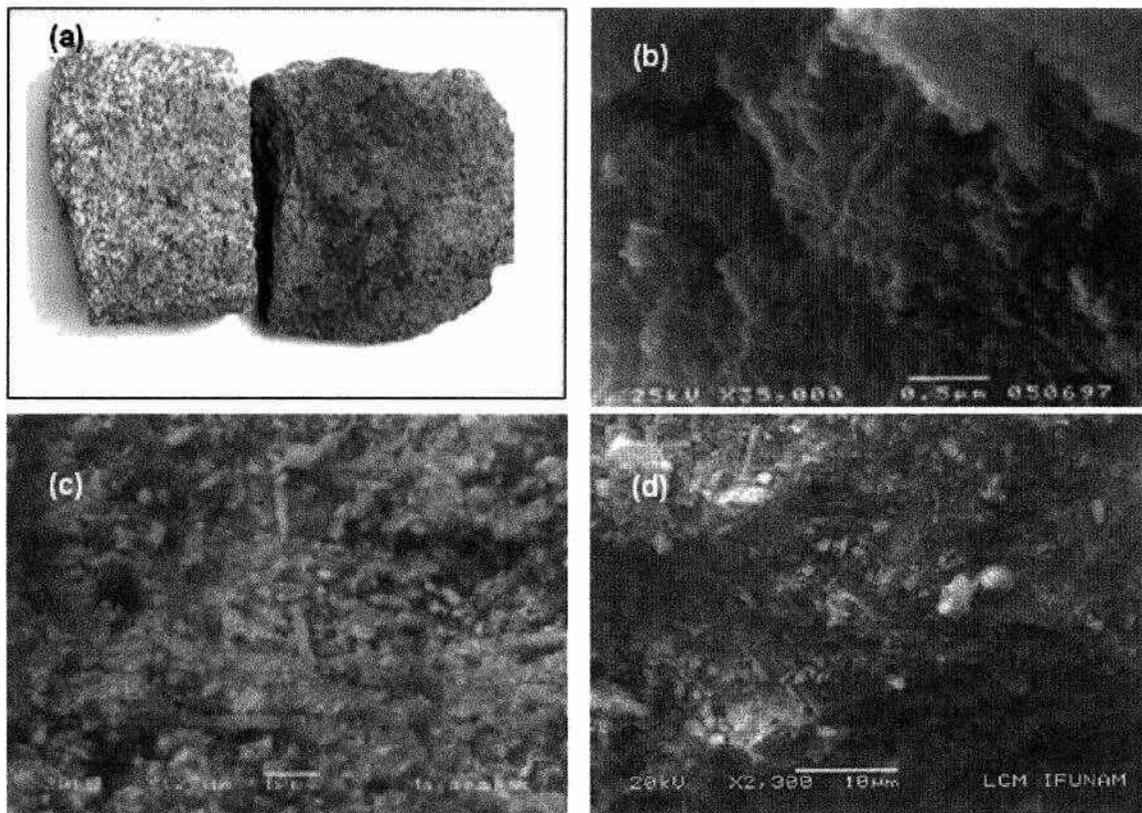
La pintura rupestre asentada sobre una matriz rocosa de los afloramientos graníticos conformados por cantos esferoidales producto de la meteorización esferoidal, bloques y frentes rocosos.

<b>ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LOS PIGMENTOS UTILIZADOS EN:</b>	
<b>SITIOS ARQUEOLÓGICOS:</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Las Pinturas Rupestres de El Vallecito, Baja California.</li> <li>2. Los Murales Mayas de Mayapán, Yucatán</li> </ol>
<b>COLORES:</b>	Blanco, negro, naranja y rojo.
<b>METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS INSTRUMENTAL:</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Microscopía electrónica de barrido (MEB).</li> <li>2. Espectroscopía de Dispersión de Energía de Rayos X (EDS).</li> </ol>
<b>CONCORDANCIAS:</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mismos colores.</li> <li>2. Mismas metodologías de análisis.</li> </ol>
<b>DISCORDANCIAS:</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diferencia cultural.</li> <li>2. Ubicaciones distantes.</li> <li>3. Discrepancia en el tiempo.</li> <li>4. Medio ambiente diferente.</li> </ol>

**Nota:** Todos los resultados de los análisis químicos elementales y micrografías del sitio arqueológico de Mayapán fueron tomados de Y. Silva *et al* 2005.

### 3.1.1 Lienzo pétreo.

La muestra corresponde a una roca ígnea intrusiva de tonos rosados con abundantes minerales ferromagnesianos diseminados, con textura fanerítica de grano medio y se compone de feldespatos blancos (plagioclasas) y rosados (potásicos) con abundante biotita, ver figuras 2 y 4 secciones a).

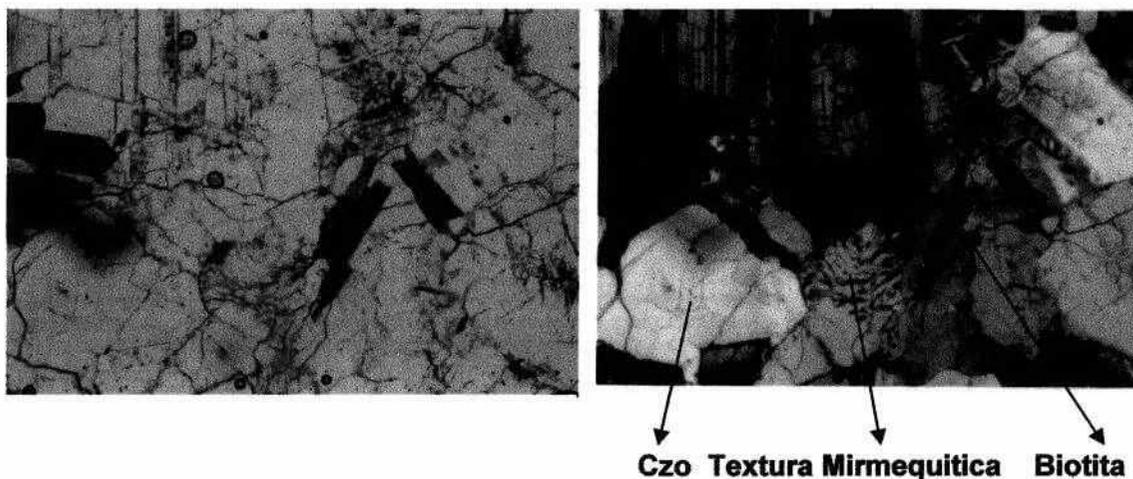


Figuras 4.- Fotografía de rocas y Micrografía de MEB de los soportes de murales. (a) Granodiorita de biotita, roca intrusiva en las superficies de esta roca, fueron desarrolladas las pinturas rupestres de El Vallecito, B. C. (b) Soporte del Templo de los Símbolos Solares. (c) Soporte del Templo Redondo, se aprecia una matriz granular que cubre fibras alrededor de 5 $\mu$ m. (d) Templo de Los Nichos Pintados, micrografía de la superficie del soporte. Las secciones (b), (c) y (d) se tomaron de Y. Silva V., *et al* (2005).

La textura fanerítica de grano medio hace que su superficie sea irregular (rugosa) ya que su partición generalmente sigue el contorno de los granos

formándose abundantes crestas y valles de las dimensiones de los granos minerales que constituyen la roca.

La roca en que se encuentran las pinturas rupestres de El Vallecito en Baja California, se analizó bajo un microscopio de luz polarizada, clasificándose esta como una granodiorita de biotita, siendo su composición global: cuarzo 30%, plagioclasa 40%, feldespato potásico (microclina y ortoclasa) 18%, biotita 10%, moscovita 2%, con trazas de apatito y de minerales opaco, ver Figura 5.



**Figura 5** Sección delgada. Luz natural y luz polarizada. Texturas, minerales y clasificación de la roca. Sitio arqueológico El Vallecito. Conjunto El Tiburón. Roca Granodiorita de biotita. Textura holocristalina, fanerítica de grano medio. Algunos cristales de biotita y otros pequeños de moscovita que crece sobre las plagioclasas. Al centro arriba cristal zonal de plagioclasa y debajo de la misma de mirmequitas. A la izquierda de mirmequitas hay cuarzo. Fotografía izquierda luz natural 5x, fotografía derecha luz polarizada 5x.

### 3.1.2 Elaboración de la pintura.

La elaboración de la pintura rupestre dependía del pigmento que se iba a aplicar, pudiendo haberse utilizado una tiza o una pasta.

### 3.1.3 Tiza.

La tiza se aplicaba para llevar a cabo el trazo y/o para terminar la pintura, frotando el pigmento contra la superficie de la roca, dejando partículas del pigmento por lo abrasivo e irregular de la superficie rocosa, los pigmentos que pudieran ser utilizados como tiza fueron el mineral de yeso y el carbón de fogata.

FMIT-4749

### 3.1.4 Pasta.

Otra manera de llevar a cabo los gráficos rupestres era utilizando una pasta que obtenían moliendo el pigmento y mezclándolo con agua, el cual era aplicado con la punta de los dedos ejerciendo presión contra la superficie de la roca, esta acción ocasionaba que la pasta se quedara alojada en las microcuenas principalmente de la superficie del afloramiento, como es el caso de los pigmentos como el caolín y de los óxidos de hierro (limonita, goethita y hematita).

### 3.1.5 Componentes químicos de la roca.

Químicamente la superficie rocosa está constituida por sílice, aluminosilicatos de calcio, sodio, potasio, magnesio y hierro, algunos son hidratados y también se encuentran fosfatos.

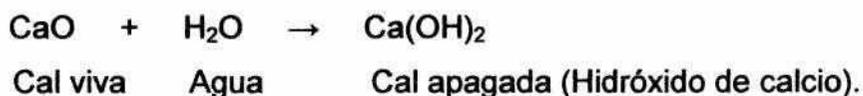
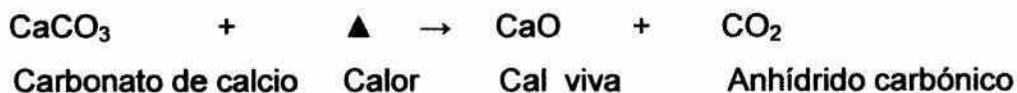
### 3.1.6 Aspectos de la pintura.

Las pinturas son muy estilizadas y esquematizadas siendo su contenido artístico formas antropomorfas, manos humanas, zoomorfas, trazos geométricos y líneas en zigzag y onduladas.

## 3.2 MURALES MAYAS.

### 3.2.1 Técnica pictórica.

En los murales al parecer se empleó la técnica del fresco, que consiste en la aplicación de la pintura sobre la superficie húmeda hecha con hidróxido de calcio. El pigmento se une a la mezcla alcalina y forma una película que se fija sobre la superficie del muro.



Cal apagada (Hidróxido de calcio)	Anhídrido carbónico	Carbonato de calcio	Agua
--------------------------------------	------------------------	------------------------	------

### 3.2.2 Soporte de la pintura.

Los soportes de la pintura de los murales del sitio arqueológico de Mayapán, Yucatán, fueron elaborados de cal (CaO), ver Figura 4, secciones b), c) y d), esta capa se encuentra en contacto con el pigmento, Los morteros con los que elaboraron los soportes los componían material granular acompañados de material fibroso, ver Figura 4, sección c), seguramente para mejorar la resistencia mecánica del mortero. En el soporte se distinguieron tres capas la primera formada de partículas irregulares de tamaño similar es rica en Ca y O, esta se encuentra en contacto con el pigmento, la segunda y la tercera capa presentan una morfología similar entre ellas buscando con estas capas obtener una superficie sin poros o huecos (Y. Silva V., et al 2005).

### 3.2.3 Elementos químicos.

Los elementos químicos determinados por los análisis químicos elementales por EDS se clasificaron en tres grupos, los elementos químicos componentes: 1) de la roca, 2) del soporte del mural y 3) de los pigmentos y cada uno de estos grupos se subdividieron en cinco subgrupos los denominados de Primer orden o esenciales, Segundo orden o accesorios, Tercer orden o elementos traza y Cuarto orden o de reacción, estos últimos generan nuevos componentes. Además se identificó un elemento químico que es característico en cada color y a este elemento se le denominó elemento insignia o abanderado del color.

#### a) *Elementos químicos de la roca.*

A la roca, donde se encuentran las pinturas rupestres de El Vallecito, Baja California, primeramente se le efectuó un estudio con microscopio petrográfico para identificar sus componentes minerales, y a partir de esto se establecieron sus fórmulas químicas las que sirvieron de base para identificar los elementos químicos determinados por EDS correspondiente a la roca.

**b) *Elementos químicos componentes del soporte del mural.***

Los componentes elementales de los soportes corresponden principalmente a los constituyentes de los materiales para el terminado de este lo que se conoce como enlucido que era una capa de cal y arena muy fina misma que era alisada para dar al pintor la superficie requerida para llevar a cabo el mural.

**c) *Elementos químicos de los pigmentos.***

Se caracterizaron a través de la composición química elemental de la formulación química del pigmento y elementos y/o compuestos que pudieran estar asociados a los pigmentos utilizados.

**d) *Elementos de primer orden o esenciales.***

Son los elementos en que su presencia es indispensable para constituir el mineral, roca o pigmento.

**e) *Elementos de segundo orden o accesorios.***

Son los elementos que pudieran estar o no y si se encuentra este pudiera ser una característica adicional al mineral, roca o pigmento.

**f) *Elementos tercer orden o traza.***

Son todos los elementos químicos determinados por análisis químicos elemental EDS, cuya presencia es menor de 1% del peso atómico que no es parte esencial, ni accesoria de los pigmentos, de la(s) roca(s), de los soportes, sino que su presencia obedece a una asociación de minerales al pigmento cuando este es mineral, sustitución en parte o total de un elemento a otro, arcillas, polvos o partículas en el aire depositadas sobre los pigmentos, rocas, soportes, donde algunos de sus componentes no guardan correlación alguna con la superficie donde se depositan y su composición puede ser de lo más variado y sorprendente y su origen puede ser orgánico o inorgánico.

g) *Elementos de cuarto orden o de reacción.*

Son aquellos elementos o compuestos que reaccionan químicamente con los componentes de la roca, del soporte, del pigmento, estos elementos o compuestos pueden encontrarse también en la atmósfera y fijarse en la superficie de la roca, del soporte o del pigmento o pueden proporcionarse de manera artificial humedeciendo la superficie como parte del proceso pictórico demandado por el pintor. Estas reacciones forman nuevos compuestos y/o sustituyendo de manera parcial o total un elemento a otro.

h) *Elemento químico insignia o abanderado del color.*

Existe un elemento químico que es característico para cada uno de los colores encontrándose este en uno y otro pigmento (orgánico e inorgánico), este elemento es el responsable del color del o los pigmento(s). El elemento insignia del color se manifiesta ya sea como un nuevo componente de los elementos químicos ya determinados que son parte de la roca o del soporte del mural, otra manera más de manifestarse el elemento insignia es incrementando la presencia de tal o cual elemento identificado como elemento insignia que también es parte de la roca o del soporte.

### 3.3 MICROGRAFÍAS OBTENIDAS POR MEB Y ANÁLISIS QUÍMICOS ELEMENTALES A LOS PIGMENTOS OBTENIDOS POR EDS.

#### 3.3.1 Sitio arqueológico El Vallecito, Baja California.

a) *Color blanco.*

Los resultados para el pigmento de color blanco provenientes del Conjunto El Hombre Enraizado, muestran que la superficie donde se aplicó el pigmento es básicamente granular heterogéneo con tamaños que varían de 2 a 30  $\mu\text{m}$ , de redondeado a subredondeado, encontrándose una que otra placa de aristas angulosos posiblemente de yeso, el pigmento sobresale en la micrografía por el color blanco, se encuentra de manera discontinua debido a la frotación del pigmento sobre la superficie irregular de la roca, ver Figura 6, sección a).

El análisis químico elemental, en este análisis el O y C presentaron los mayores contenidos (Tabla 1, columna a). Los porcentajes en peso atómico de Ca, Si y S, también son considerables.

b) *Color negro.*

La muestra de este pigmento se obtuvo del Conjunto Los Solecitos o Wittinñur. En la micrografía de la Figura 7, sección (a), el pigmento se encuentra cubriendo las partes más sobresalientes de la superficie, resultando esta cubierta de forma irregular, las áreas cubiertas con pigmento muestran una textura fina y uniforme.

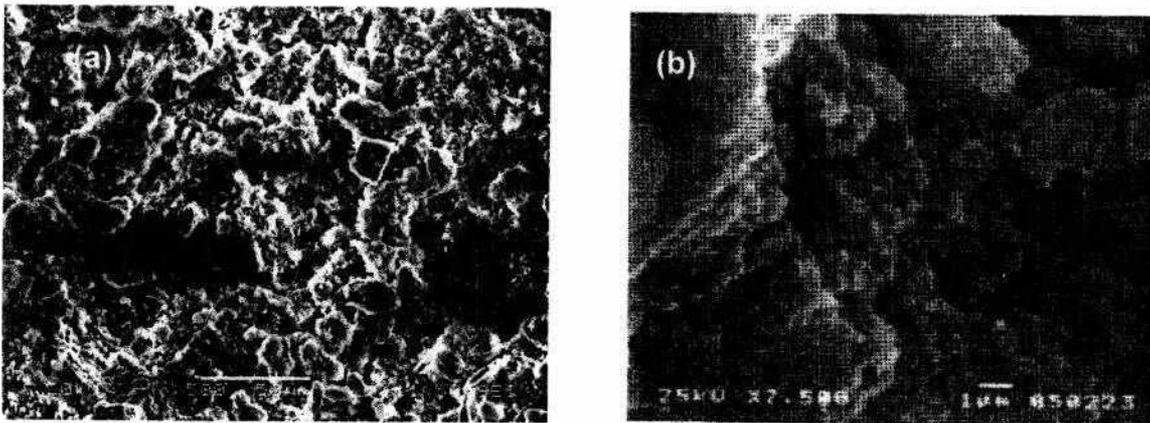


Figura 6.- Micrografías de MEB, (a) Sitio arqueológico El Vallecito, Conjunto El Hombre Enraizado, pigmento de color blanco. (b) Micrografía del pigmento blanco proveniente del Templo de los Símbolos Solares. Se observa una superficie granular, este último tomado de Y. Silva V., *et al* (2005).

En la Tabla 2, columna a), se presenta el análisis químico elemental de EDS realizado a la muestra de roca con pintura negra, los mayores contenidos están en los elementos: O en primer lugar, seguido del C, siendo también importantes los porcentajes en peso atómico los de N, Si, Ca, S, Al y Na.

c) *Color naranja.*

La muestra de este pigmento al igual que la del color negro se obtuvo del Conjunto Los Solecitos o Wittinñur.

Este pigmento se encuentra formando una película más o menos homogénea y continua cubriendo una gran mayoría de la micrografía, ver Figura 8, sección a).

Los elementos químicos determinados por el análisis químico elemental EDS, que se llevó a cabo a la muestra de roca con pigmento naranja se presentan en la Tabla 3, columna a). El O presenta el mayor contenido, el Si aunque muy inferior al O su presencia es considerable, los porcentajes en peso atómico de Ca, Al, Fe, S y Mg, son importantes.

d) *Color rojo.*

De Piedras Gordas, se obtuvo la muestra con pigmento de color rojo. El análisis químico elemental de EDS, practicado a la muestra de roca con pintura de color rojo, se presenta en la Tabla 4, columna a), el mayor contenido está en el O, siendo también considerables los porcentajes en peso atómico de C, Fe, y Si.

*Tabla 1. Análisis químico elemental obtenido por EDS de los pigmentos de color blanco. a) Conjunto El Hombre Enraizado, El Vallecito, B. C. y b) Templo Los Símbolos Solares, Mayapán, Yucatán. Este último fue tomado de Y. Silva V., et al. (2005).*

Sitio arqueológico	Baja California. Pintura rupestre	Yucatán. Cultura Maya
	El Vallecito. Conjunto El Hombre Enraizado	Mayapán. Templo Los Símbolos Solares
Elemento	a) % at.	b) % at.
C	<b>13.29</b>	<b>3.46</b>
O	<b>63.89</b>	<b>42.75</b>
Na	0.77	----
Mg	0.54	0.88
Al	<b>1.23</b>	0.43
Si	<b>5.95</b>	0.59
P	<b>1.15</b>	----
S	<b>4.59</b>	0.09
Cl	0.30	----
K	0.67	----
Ca	<b>7.63</b>	<b>51.08</b>
Pigmento	Mineral de yeso: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Cal fraguada: $\text{CaCO}_3$

### 3.3.2 Sitio Arqueológico de Mayapán, Yucatán.

Todos los resultados sobre este sitio arqueológico fueron tomados de Y. Silva V., et al (2005).

a) *Color blanco.*

Este pigmento se obtuvo del Templo de Los Símbolos Solares de acuerdo con ellos, la micrografía muestra que la superficie del pigmento consta

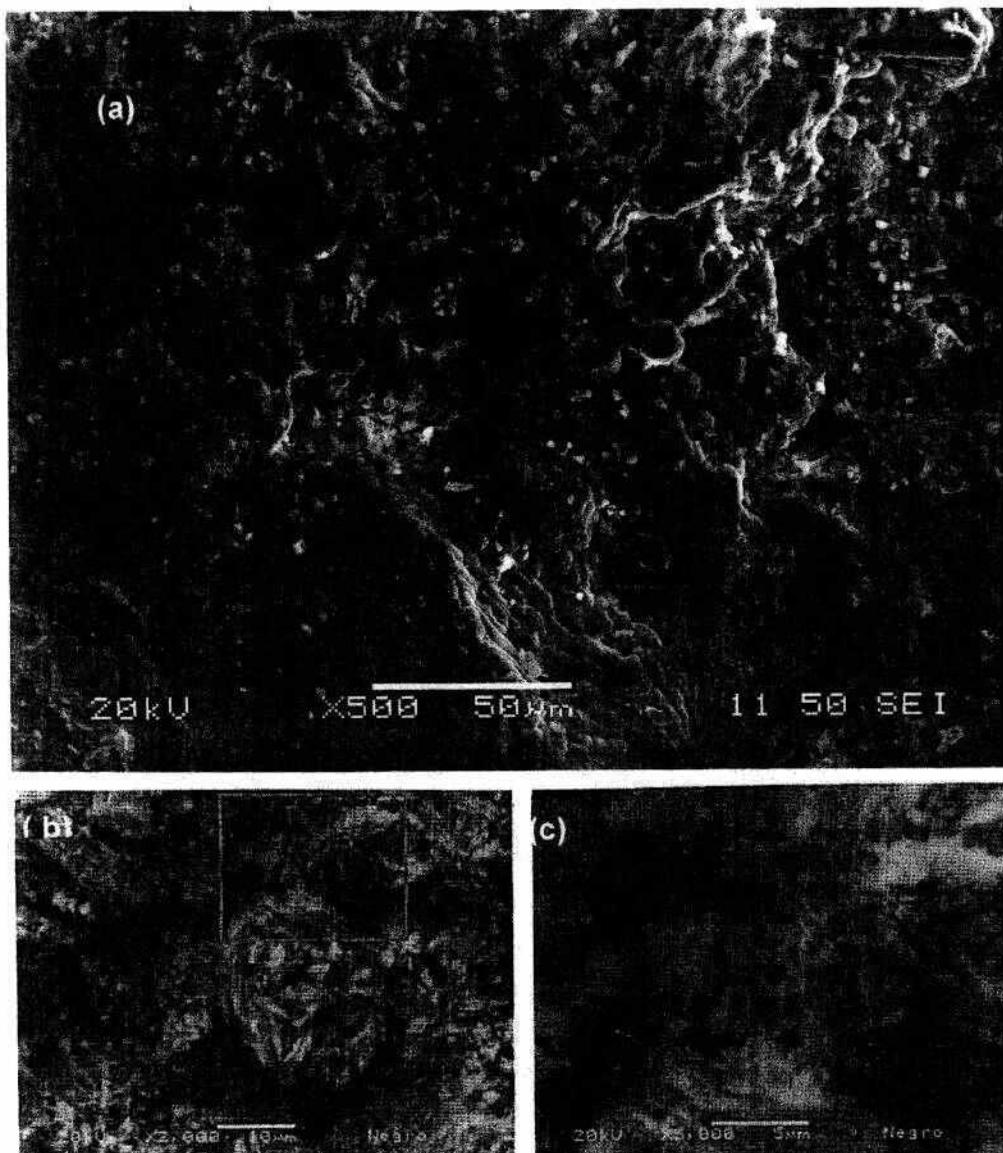


Figura 7.- Micrografías de los pigmentos de color negro, a) Sitio arqueológico El Vallecito, Conjunto Los Solecitos o Wittinñur, Pigmento Carbón de Fogata, b) y c) Micrografía de la superficie del Pigmento negro perteneciente al mural del Templo Redondo, en la sección c se tiene un acercamiento de una porción de b. Fuente de b) y c) Y. Silva V., *et al* (2005).

de una matriz granular que se le atribuye al carbonato de calcio, ver Figura 6, sección b) o bien a una combinación de calcita con aragonita, sin descartar la

presencia de hidróxido de calcio o cal debido al alto contenido de Ca y O, como se muestra en la Tabla 1, columna b), que contiene los resultados del análisis químico elemental. Fuente Y. Silva V *et al* (2005).

*Tabla 2. Análisis químico elemental obtenido por EDS de los pigmentos de color negro, a) Conjunto Los Solecitos o Wittinñur, El Vallecito, Baja California. y b) Templo Redondo, Mayapán, Yucatán. Este último fue tomado de Y. Silva V., et al (2005).*

Sitio arqueológico	Baja California	Yucatán
	Pintura rupestre	Cultura Maya
	El Vallecito	Mayapán
	Conjunto Los Solecitos	Templo Redondo (mural).
Elemento	a) % at.	b) % at
C	<b>35.94</b>	<b>7.97</b>
N	<b>5.78</b>	----
O	<b>44.50</b>	<b>51.0</b>
F	0.71	----
Na	<b>1.20</b>	----
Mg	0.35	<b>1.06</b>
Al	<b>1.47</b>	0.67
Si	<b>3.77</b>	0.93
P	0.23	0.49
S	<b>2.43</b>	0.16
Cl	0.34	0.06
K	0.33	0.06
Ca	<b>2.56</b>	<b>36.89</b>
Ti	----	0.06
Fe	0.39	0.41
Pigmento	Carbón de fogata: C, O, H, N, S.	Negro de carbón C, O, H, N, S.

b) *Color negro.*

El pigmento negro proviene del Templo Redondo. Las micrografías de la superficie del pigmento, En la Figura 7, secciones b) y c) se observa que el material utilizado presenta crecimientos ricos en Ca y O.

*Tabla 3. Análisis químico elemental por EDS de los pigmentos de color naranja, a) Conjunto Los Solecitos o Wittinñur, El Vallecito, B. C. y b) Templo Redondo, Mayapán, Yucatán Este último fue tomado de Y. Silva V., et al ( 2005).*

Sitio arqueológico	Baja California.	Yucatán.	
	Pintura rupestre	Cultura Maya	
	El Vallecito, Conjunto Los Solecitos	Mayapán Templo Redondo	Partículas brillantes
Elemento	a) % at.	b) % at.	c) %at
C	<b>9.19</b>	<b>4.75</b>	<b>4.80</b>
O	<b>60.68</b>	<b>40.27</b>	<b>28.82</b>
Mg	<b>1.17</b>	0.65	<b>1.18</b>
Al	<b>3.68</b>	<b>2.14</b>	<b>7.00</b>
Si	<b>13.57</b>	<b>4.13</b>	<b>10.33</b>
P	0.92	<b>1.26</b>	0.62
S	<b>1.80</b>	0.05	0.17
Cl	----	0.06	0.04
K	0.95	0.27	0.47
Ca	<b>4.61</b>	<b>39.23</b>	<b>11.55</b>
Ti	----	0.15	0.19
Cr	----	0.04	0.05
Mn	----	0.02	---
Fe	<b>3.43</b>	<b>6.76</b>	<b>34.55</b>
Cu	----	0.14	
Zn	----	0.03	0.22
Pigmento:	Goethita: $\text{HFeO}_2$	Hematita: $\text{Fe}_2\text{O}_3$ Lepidocrocita: $\text{FeO}(\text{OH})$ . Goethita: $\text{HFeO}_2$	

En la Tabla 2, columna b), se presenta el análisis químico elemental por EDS. En el caso del Mural del Templo Redondo, se considera que se utilizó la técnica “negro de carbón”, técnica encontrada en gran parte de la zona maya.

c) *Color naranja.*

Al igual que el pigmento de color negro, el pigmento naranja se obtuvo del Templo Redondo. La micrografía de la Figura 8, sección b) muestra una superficie irregular con cúmulos de micropartículas de mayor contraste, presumiblemente de óxidos de hierro en base al análisis químico elemental realizado, de acuerdo a la Tabla 3, columna c). Fuente Y. Silva V. *et al* (2005).

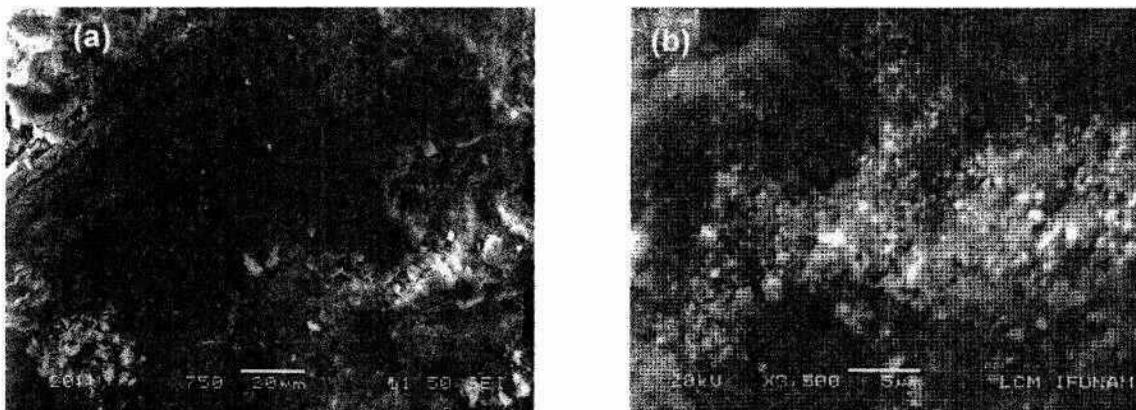


Figura 8.- Micrografía de la superficie de los pigmentos de color naranja, a) Sitio arqueológico El Vallecito. Conjunto Los Solecitos o Wittinñur, Pigmento óxidos de hierro mineral de goethita ( $\text{HFeO}_2$ ), se aprecia el desarrollo de una película de óxidos de hierro, aumento de 750X, potencial de aceleración 20kV. b) Pigmento naranja proveniente del Templo Redondo, micrografía de MEB donde, se observa una superficie irregular con partículas de tamaño micrométrico y mayor contraste, aumento de 3500X y un potencial de aceleración de 20kV. Este último fue tomado de Y. Silva V., *et al* (2005).

d) *Color rojo.*

En este pigmento se tomaron cuatro muestras, procedentes de los cuatro edificios, para este estudio comparativo hemos tomado los resultados de la muestra del Templo Redondo, los que presentan una mayor concordancia con los resultados de El Vallecito, Baja California.

*Tabla 4. Análisis químico elemental obtenido por EDS de los pigmentos de color rojo: a) Piedras Gordas, Baja California., y b) Templo Redondo, Mayapán, Yucatán. Este último fue tomado de Y. Silva V., et al 2005.*

Sitio	Baja, California Pintura rupestre	Yucatán. Cultura Maya
Arqueológico	Piedras Gordas	Mayapán. Templo Redondo:
Elemento	a) % at.	b) % at.
C	<b>29.87</b>	<b>8.53</b>
O	<b>52.70</b>	<b>3.78</b>
Mg	---	0.07
Al	<b>1.21</b>	0.18
Si	<b>5.03</b>	0.08
P	---	0.01
S	---	0.04
K		0.22
Ca	<b>1.10</b>	<b>53.02</b>
Ti		0.47
Cr		0.10
Mn		0.03
Fe	<b>10.09</b>	<b>32.95</b>
Ni		0.09
Cu		0.11
Zn		0.12
Y		0.18
*Pigmento	*Hematita: Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	No identificaron la Hematita
**Trazo		

EL Análisis químico elemental por EDS, el Ca es el más abundante, ver Tabla 4, columna b). Los porcentajes en peso atómico de Fe, C y O, también son significativos, el resto de los elementos determinados se encuentran en menos de 0.5 por ciento.

## Capítulo 4

# **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

En esta sección se comparan las micrografías obtenidas con el microscopio electrónico de barrido MEB y los análisis químicos llevados a cabo con la técnica EDS. Las micrografías obtenidas de los diferentes pigmentos de los sitios arqueológicos El Vallecito – Mayapán tratando de encontrar similitudes en sus características como son microtextura, microestructuras, etc., así como sus diferencias entre las imágenes de los pigmentos del mismo color y con los resultados de los análisis químicos se compararon los componentes del mismo color de uno y del otro sitio, poniendo énfasis en la composición de las superficies (roca y soporte) donde se aplicaron los pigmentos de ambos sitios arqueológicos, siendo de gran importancia el o los elementos que son parte de la(s) superficie(s) donde se llevaron a cabo las pinturas.

#### 4.1 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (MEB).

##### 4.1.1 Micrografías.

###### a) *De los pigmentos color blanco.*

En la Figura 6, secciones a) y b), ambas micrografías de los pigmentos tanto de la pintura rupestre como del mural Maya, se observa una textura granular, aunque el aumento en que fueron impresas esas imágenes difieren una de la otra en 15 veces más, una con 500x (rupestre) la otra con 7500x.

Micrografía Pintura rupestre.- esta presenta una textura granular heterogénea la talla de los granos va de 4 a 20  $\mu\text{m}$ , se muestran redondeados a subredondeados bien clasificados, sólo se observa un cristal de forma trapezoidal, que sobresale por su forma que es diferente al resto de los demás granos. Ver Figura 6, sección a).

En la pintura rupestre los bordes de los granos de la superficie rocosa sirvieron para desprender las partículas del pigmento aplicado como tiza, para detenerlas y alojarlas en la superficie irregular de la roca, que por diferencia de dureza y por abrasión ejercida de la tiza de yeso con dureza 2 sobre la superficie rocosa con dureza de 6 a 7 de la escala de Mohs; quedando porciones de la tiza dejando una huella sobre la superficie de la roca, constituyendo esta el trazo del dibujo rupestre. El pigmento es de color blanco lechoso, mostrando en sus límites un aspecto fibroso.

Micrografía Templo Maya.- los granos son de color claro a blanco que van de 0.25 a 1.25  $\mu\text{m}$  siendo el tamaño más abundante el de 0.75  $\mu\text{m}$  y todos ellos son parte del pigmento de color blanco los cuales tiene un aspecto sacaroide

*b) De los pigmentos de color negro.*

Pintura rupestre.

La imagen muestra una superficie con terrazas escalonadas sobre estas se encuentran fragmentos granulares dispersos, su tamaño va de poco menos 1(0.625)  $\mu\text{m}$  hasta 14  $\mu\text{m}$ , la mayoría de ellos son redondeados y sólo algunos de ellos son de forma tabular, la tonalidad de estos fragmentos es más clara que la del resto de la imagen.

Las superficies de las terrazas se encuentran más o menos uniformemente cubiertas de pigmento de color negro que muestra una textura fina y homogénea, ver Figura 7, sección a).

### Cultura Maya

En la micrografía del pigmento de color negro perteneciente al Templo Redondo, sobre la superficie del pigmento se han desarrollado unas estructuras aciculares, como se puede apreciar en la Figura 7, sección b), estas estructuras en color claro, ricas en Ca y O. Fuente Y. Silva V., *et al* (2005).

*c) De los pigmentos de color naranja.*

Pintura rupestre

En esta micrografía se observa una película uniforme formada por un cemento de óxidos férricos, estos cementos ferruginosos son comunes en depósitos terrestres y ocurren cuando existe una alternancia de condiciones húmedas y secas, esto conduce a la introducción de hierro en disolución, seguida por oxidación o si el ambiente resulta favorable, los minerales de hierro, pueden en condiciones oxidantes ceder el hierro para formar el cemento. Esta película inicialmente se forma en el trazo del dibujo rupestre, la que posteriormente se extiende fuera del contorno del dibujo.

### Cultura Maya.

La micrografía muestra una superficie irregular con cúmulos de micropartículas de mayor contraste, ver Figura 8, sección b), presumiblemente de óxidos de hierro debido al análisis químico elemental (Y. Silva V., *et al* 2005). A través de la Microscopía óptica se dice el haber observado la mezcla de pigmentos amarillo y rojo para producir la coloración naranja de acuerdo con Y. Silva V. *et al* (2005).

Hematita + Lepidocrocita + goethita

Ambas micrografías no presentan similitud alguna, la de la zona Maya no se aprecia la película de cemento ferruginoso que presenta la pintura rupestre, una causa de que la película no se desarrolle, pudiera ser la diferencia del clima de una y otra zona, y no por falta de hierro.

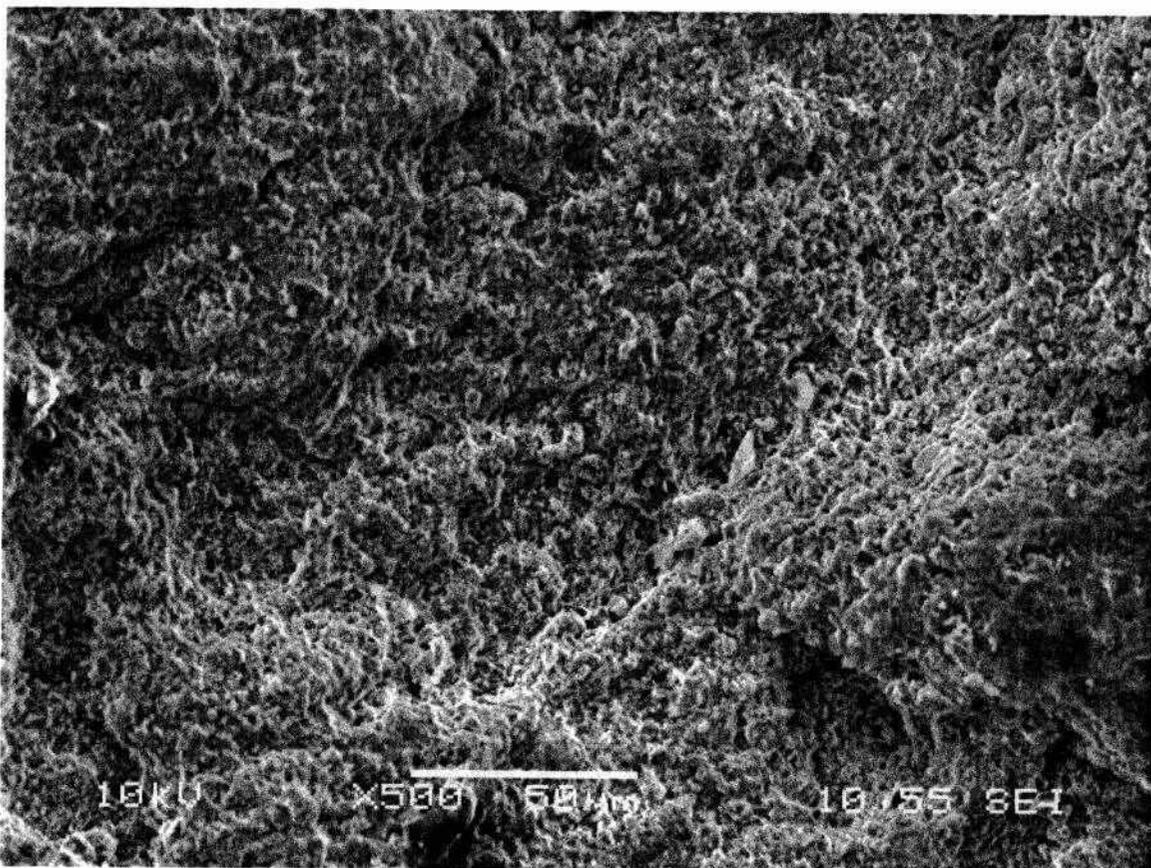


Figura 9. Micrografía de la superficie del pigmento de color rojo. Sitio arqueológico Piedras Gordas con abundantes dendritas en tonalidades de gris a blanco, formadas por productos de alteración de los feldespatos que fragmentaron la película de cemento ferruginoso e iniciaron a cubrir ésta, dando un aspecto general aborregado, aumento 500x, potencial de aceleración 10kV.

d) *De los pigmentos color rojo.*

Para este pigmento sólo se cuenta con la micrografía obtenida de la muestra de roca con pigmento del sitio Piedras Gordas, no se tienen del Templo Redondo. La micrografía muestra una tonalidad en su mayoría a ser clara y una textura de aspecto general aborregado ver Figura 9.

La Tabla 5. Microtexturas y microestructuras de las micrografías obtenidas con microscopía electrónica de barrido, MEB de la superficie de los pigmentos obtenidos de los sitios arqueológicos de El Vallecito, Baja California y de Mayapán, Yucatán muestra un condensado de estas características.

#### 4.2 ESPECTROSCOPIA POR DISPERSIÓN DE ENERGÍA DE RAYOS X (EDS).

Con la técnica de Espectroscopía por Dispersión de Energía de Rayos X (EDS), se analizaron los pigmentos, roca con pigmento y los soportes. Para el sitio arqueológico El Vallecito y sólo de los conjuntos analizados en este estudio se detectaron 15 diferentes elementos químicos presentes tanto en los pigmentos como en la roca, los elementos determinados en los pigmentos son: \*H, C, N, O, S, Ca, Fe y los elementos correspondientes a la roca (ígne) fueron \*H, O, F, Na, Mg, Al, Si, P, Cl, K, Ca y Fe. Los elementos presentes en los pigmentos y en la roca son: \*H, O, Ca y Fe.

En el área de Mayapán y sólo de los sitios involucrados en este estudio comparativo se detectaron 15 elementos químicos que son parte de los pigmentos y de soporte, Los determinados en los pigmentos son: \*H, C, O, S, Ca y Fe, y en los soportes, Los principales son C, O y Ca, además se encuentran presentes: Mg, Al, Si, P, S, K, Mn, Fe y Mo. Los elementos presentes en los pigmentos y en el soporte son: C, O, Ca y Fe,

La mayoría de los elementos traza en los análisis químicos elementales por EDS de la zona de Mayapán, que son parte de los minerales contenidos en las rocas carbonatadas que forman la fracción residual de minerales que son insolubles en ácido clorhídrico, algunos de estos elementos se considera que reaccionan químicamente con elementos y/o compuestos en el medio ambiente.

**TABLA DE MICROTERTURAS Y MICROESTRUCTURAS DE LAS MICROGRAFÍAS DE LAS SUPERFICIES DE LOS PIGMENTOS OBTENIDOS DE LOS SITIOS ARQUEOLÓGICOS DE EL VALLECITO, BAJA CALIFORNIA Y DE MAYAPÁN, YUCATÁN.**

PINTURA RUPESTRE, EL VALLECITO	CULTURA MAYA, MAYAPÁN	COMENTARIOS
<b>PIGMENTO BLANCO</b>		
Conjunto El Hombre Enraizado	Templo Símbolos Solares	
<i>Microtextura:</i> Granular, tamaño de las partículas de 4 a 20µm, de contornos redondeados a subredondeados, bien clasificados	<i>Microtextura:</i> Granular, tamaño de las partículas de 0.25 a 1.25µm, tamaño más abundante 0.75 µm, Aspecto general : sacaroide	La única similitud es que presentan una Microtextura granular, aunque en el sitio de Mayapán las partículas son más finas y presentan un aspecto sacaroide.
<b>PIGMENTO NEGRO</b>		
Conjunto Los Solecitos o Wittinñur	Templo Redondo	
<i>Microtextura (roca):</i> Granular tamaño de las partículas de 1 a 14µm, la mayoría de sus contornos son redondeados y algunos tabulares. <i>Microtextura (pigmento):</i> Fina y homogénea. <i>Microestructura:</i> Terrazas escalonadas	<i>Microestructura:</i> Aciculares.	No se aprecia similitud alguna.
<b>PIGMENTO NARANJA</b>		
Conjunto Los Solecitos o Wittinñur (Piedra Pintada)	Templo Redondo	
<i>Microtextura:</i> Fina y uniforme. <i>Microestructura:</i> Película muy fina que cubre homogéneamente la superficie de la roca	<i>Microtextura:</i> Superficie irregular formada por partículas micrométricas. <i>Microestructura:</i> De cúmulos	En ambas micrografías no se aprecia ninguna similitud. En la de la zona Maya no se desarrolló la película de cemento ferruginoso, pudiera deberse a la diferencia del clima que existe entre las dos zonas arqueológicas.
<b>PIGMENTO ROJO</b>		
Piedras Gordas		
<i>Microestructura:</i> Dendritas en tonalidades del gris al blanco, formadas por productos de alteración de los feldespatos que fragmentaron la película de cemento ferruginoso e iniciaron a cubrir la zona de la pintura, dando un aspecto general aborregado	Sin micrografía.	La película de cemento ferruginoso ha sido fragmentada e invadida por los productos de alteración de los feldespatos que forman la roca.

Tabla 5

# CLASIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS QUÍMICOS DETERMINADOS POR EDS.

<b>GRUPOS:</b>	<b>SUBGRUPOS: (abundancia y significado)</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Componentes de la roca.</li> <li>2. Componentes del soporte del mural.</li> <li>3. Componentes de los pigmentos</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>a) Primer orden o esenciales.</li> <li>b) Segundo orden o accesorios.</li> <li>c) Tercer orden o elementos traza               <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Presencia &lt;1% at</li> <li>■ En las rocas carbonatadas la fracción residual insoluble.</li> </ul> </li> <li>d) Cuarto orden o de reacción (forman nuevos compuestos).</li> </ol>
<b>OTROS:</b>	
Elementos insignia o abanderados del color.	

Tabla 5.1

#### 4.2.1 Análisis químico elemental obtenido por EDS.

##### a) *De los pigmentos de color blanco.*

Se llevaron a cabo estos análisis a los pigmentos de color blanco del Conjunto "El Hombre Enraizado" de B. C., y al obtenido del Templo Los Símbolos Solares de Yucatán. Los valores de los elementos determinados por EDS de ambos sitios se muestran en la Tabla 2, estos valores se aprecian en la Figura 10, gráfica a).

El oxígeno es el elemento más abundante en la muestra de la pintura rupestre pero no así en la del mural el cual es superado por el calcio, este último elemento en la muestra de la pintura rupestre es por alteración de las plagioclasas de la roca, además de que es parte de los pigmentos utilizados en ambos sitios, la presencia del azufre en el sitio rupestre confirma que el pigmento utilizado fue el mineral de yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) y en el templo de Los Símbolos Solares fue la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) o hidrato de calcio conocida como cal apagada ( $\text{CaO}$ ) y el azufre se presenta en trazas como componente del soporte.

El silicio y el aluminio son parte de los minerales componentes de la roca ígnea y en el caso de Mayapán son parte del soporte (mortero) de los murales.

El magnesio se encuentra como componentes de los siguientes minerales: biotita, hornblenda, actinolita que son parte de los minerales que forman la roca ígnea de El Vallecito y también se encuentra en las rocas calizas, calizas dolomíticas y dolomías que son del ámbito de Mayapán.

El fósforo y cloro son parte del mineral de apatito el que se encuentra inclusionando a la biotita en la roca ígnea.

La fuente del K son los feldspatos ortoclasa y microclina, en la biotita y la moscovita presentes en la roca ígnea. El Na se encuentra en la plagioclasa, la hornblenda minerales componentes de la roca ígnea.

##### b) *De los pigmentos de color negro.*

En la Tabla 3, se presentan los elementos y en que proporción de % atómico de su ocurrencia tanto para el pigmento de Baja California, como para Yucatán, con sus valores se elaboraron las gráficas correspondientes que se muestran

en la Figura 10, gráfica b). En la gráfica correspondiente a la pintura rupestre, el elemento predominante es el oxígeno seguido por el carbono, este último elemento junto con el nitrógeno, oxígeno y azufre forman parte de los componentes del pigmento de color negro identificado como "Carbón de fogata". El carbono también se adhiere a la roca durante la alteración de los feldespatos.

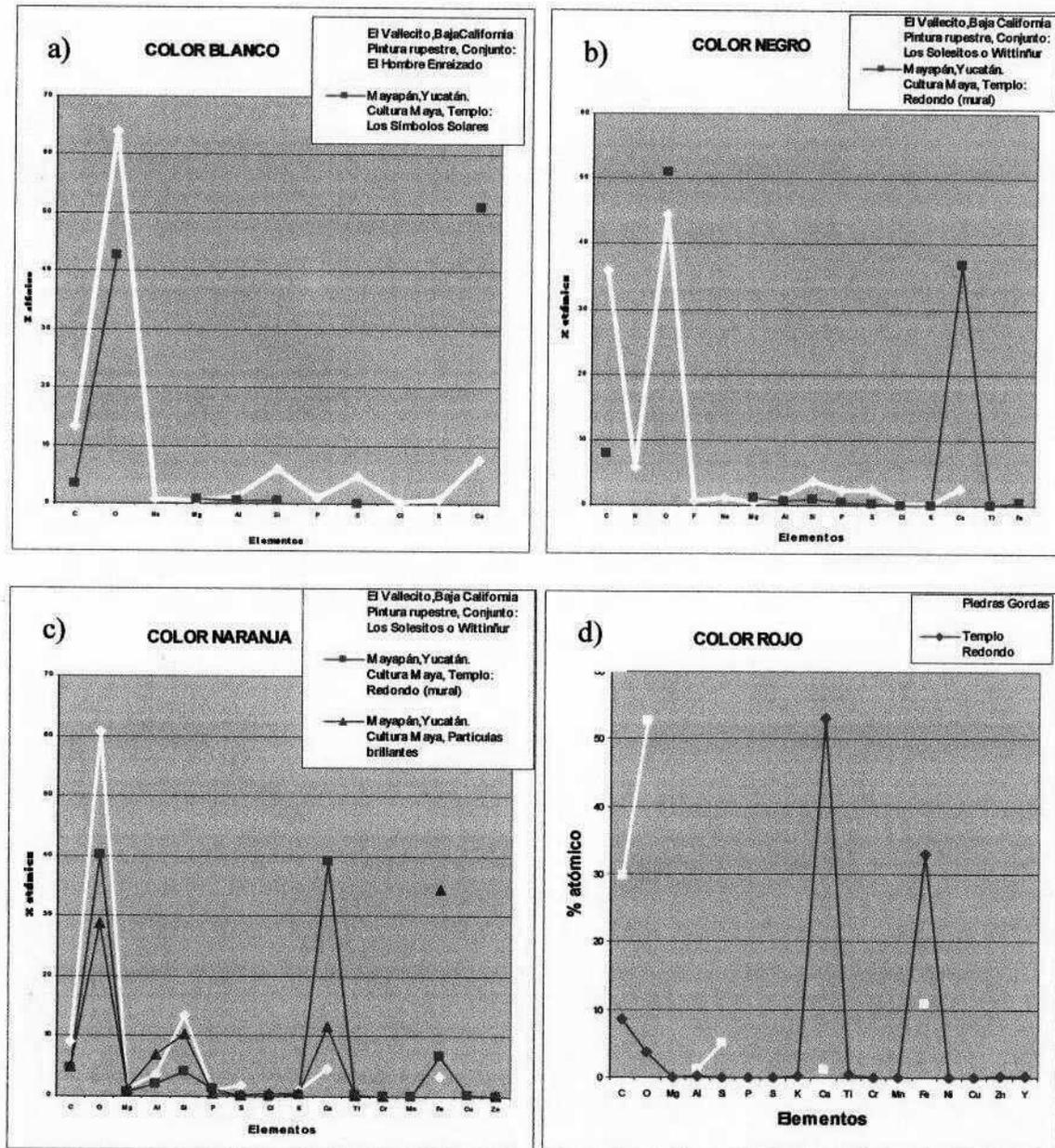


Figura 10, gráfica a). Color blanco, El Hombre Enraizado – Templo Símbolos Solares. Gráfica b) Color negro. Los Solecitos o Wittinñur – Templo Redondo. Gráfica c) Color naranja. Los Solecitos O Wittinñur – Templo Redondo/ Partículas brillantes. Gráfica d). Color rojo. Piedras Gordas – Templo Redondo.

Los elementos más abundantes determinados en el mural son el oxígeno y el calcio y en menor proporción pero de manera significativa se encuentra el carbono, este junto con el oxígeno y el azufre son parte del pigmento "Negro de carbón" utilizado en el mural para el color negro. Los elementos y sus valores fueron graficados y mostrados en la Figura 10, gráfica b) destacando el carbono en este color.

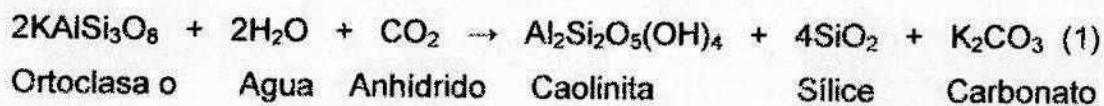
El titanio se encuentra como dióxido de titanio Rutilo ( $\text{TiO}_2$ ) se encuentra en las calizas, calizas dolomíticas y dolomías en muy pequeñas proporciones. Los demás elementos tienen el mismo origen descrito para los pigmentos de color blanco.

*c) De los pigmentos de color naranja.*

En la Tabla 3 se encuentran los valores determinados por los análisis químicos elementales EDS, el elemento más abundante en los dos primeros análisis es el oxígeno, en el Templo Redondo sobresale la presencia del calcio que después del oxígeno es el elemento de mayor presencia, seguramente esto se debe a la composición del soporte donde fue desarrollado el mural, que presumiblemente es de composición calcárea ( $\text{CaCO}_3$ , o  $\text{CaO}$ ).

En el Análisis elemental EDS efectuado a las partículas brillantes la presencia del hierro es muy significativa, así como también la del oxígeno ver Tabla 3, columna c), este análisis puntual parece indicar que se trata de óxidos de hierro. Sin embargo en la pintura rupestre sobresale el silicio sobre el mural maya y esto es atribuible a la composición de la roca que es de origen ígneo y en la cual abundan los minerales con silicio.

La presencia del carbono y del aluminio es significativa. El carbono en la pintura rupestre se agrega a la roca ígnea durante el proceso de alteración de los feldespatos siendo los productos de alteración carbonatos principalmente de calcio, óxidos y material arcilloso.



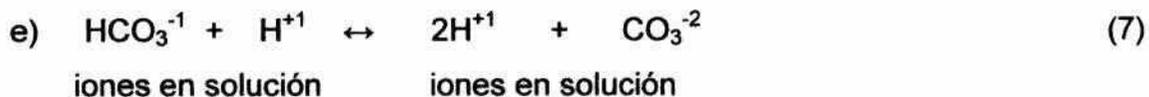
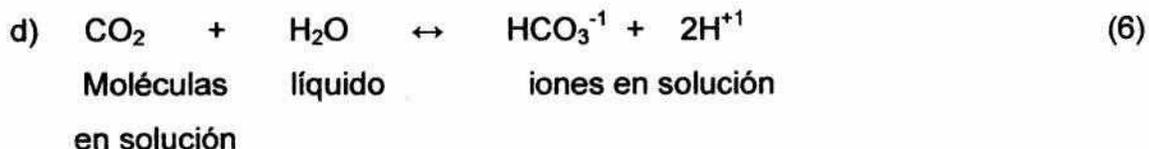
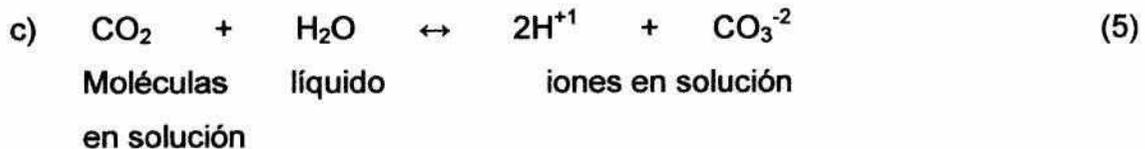
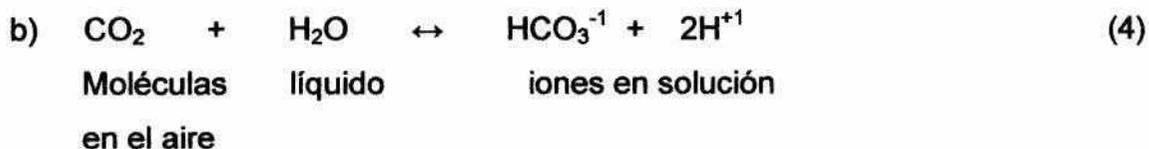
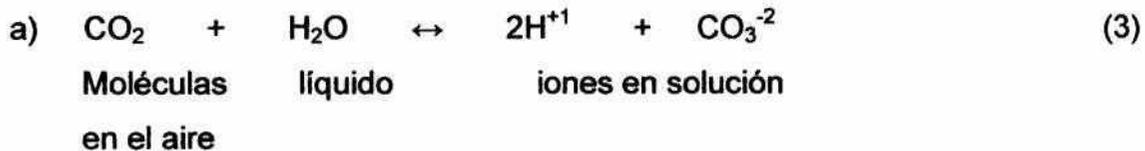
Microclina carbónico de potasio



Albita Agua Anhidrido Caolinita Silicio Carbonato  
carbónico de sodio

Y en los soportes de los murales de Mayapán están expuestos a un enriquecimiento de carbono a través del ion carbonato o bicarbonato llamado a esto proceso de carbonatación.

La combinación de los iones de carbonato  $\text{CO}_3^{-2}$  o de bicarbonato  $\text{HCO}_3^{-1}$  con un material geológico puede llamarse carbonatación, estas reacciones naturales son muy importantes y se ven involucradas en casi toda actividad biológica, el agua se disuelve o se combina con el bióxido de carbono (Bayly, 1972).

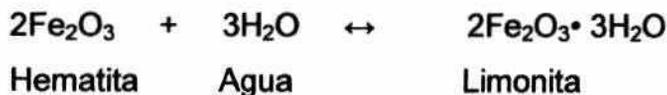


Los materiales calcáreos pueden ser alterados, la solución más común es:



Los minerales de carbonato y de bicarbonato son los más fácilmente tomados en solución y el anhídrido carbónico, derivado especial de la materia orgánica en descomposición la cual ayuda a esta reacción, al deshidratarse el carbonato forma un cemento calcáreo quedando como mortero adherido entre si y las paredes de la roca receptora.

Otro elemento que sobresale es el Fe, ver Figura 10, sección c), el que se considera como principal responsable de la coloración naranja, este elemento junto con el oxígeno constituyen los óxidos de hierro y cuando se involucra al proceso la absorción del agua el color pasa de rojo a naranja hasta el amarillo que es el color de la limonita:



Esta reacción resulta exotérmica y fácilmente reversible al aplicarse calor.

#### d) *De los pigmentos de color rojo.*

Con relación a los análisis químicos elementales por EDS se observan los valores determinados por esta técnica en la Tabla 4, tanto para el sitio arqueológico de Baja California como para el de Yucatán sus gráficas están desarrolladas en la Figura 10, sección d) en la que destaca la presencia del oxígeno que vuelve a ser el elemento más abundante también en este pigmento, seguido del calcio cuya fuente ya ha sido mencionada.

Al igual que en los otros pigmentos la presencia de aluminio y de silicio en El Vallecito son parte de los minerales componentes de la roca ígnea y en el caso Mayapán son parte del soporte (mortero) de los murales.

El hierro en El Vallecito es parte del mineral de hematita  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ambos minerales pudieron ser usados como pigmentos. En Mayapán el hierro pudiera ser parte de la hematita utilizada como pigmento del color rojo.

El magnesio es más abundante que el aluminio, el magnesio es parte de las rocas calizas y en las dolomías es un componente esencial y su presencia se debe a que es parte de los componentes del soporte (mortero).

#### 4.3 ROCA Y SOPORTE.

##### 4.3.1 Roca

Los feldespatos de la roca del sitio arqueológico El Vallecito, son atacados lentamente pero de manera continua por el intemperismo químico, que es el ácido carbónico dando lugar a la formación de arcillas. En el intemperismo de las plagioclasas el otro feldespato abundante en la roca, las reacciones son complejas, porque las proporciones de calcio y de sodio varían, pero los productos esenciales son bicarbonatos solubles de estos elementos y arcillas. El cuarzo que es el otro mineral que forma la roca es extremadamente resistente a los cambios químicos. Los minerales ferromagnesianos como la biotita son minerales de composición compleja que bajo la acción del intemperismo produce diversos materiales, tales como hidróxido de hierro que se designan comúnmente bajo la denominación general de limonita (Dana, 1960).

En la superficie de la roca en que se encuentran las pinturas rupestres ocurren procesos de caolinización, oxidación y carbonatación.

##### Soporte

Al intemperizarse las rocas carbonatadas estas en parte generan sedimentos entre ellos los minerales insolubles en ácido clorhídrico que forman los suelos, estos materiales debieron ser parte de los materiales de construcción.

En el área de Mayapán los soportes y enlucidos fueron elaborados de acuerdo a los materiales y sedimentos que forman los suelos de la región de estudio, las rocas calcáreas son predominantes en el área, en las calizas el contenido de  $\text{CaO}$  y  $\text{CO}_2$  es extremadamente alto y un componente importante es el  $\text{MgO}$ , la presencia de cuarzo cristalino y de ftanita o pedernal la que además contiene  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{CO}_2$ , y  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (mezcla de arcillas) con la aportación de materiales arcillosos es común la presencia de óxido de potasio, las calizas pueden ser notablemente ricas en un componente menor como fósforo, óxido

de hierro o sulfuro, muchas calizas están integradas por estructuras esqueléticas o detritos derivadas de estas. La composición de los componentes inorgánicos de los invertebrados marinos Clarke y Wheler (1922), son  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ,  $\text{Ca}_3\text{P}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $(\text{Al}, \text{Fe})_2\text{O}_3$ . Otro componente de las rocas calizas, calizas dolomíticas y dolomitas es el titanio este también puede ser parte del mineral de hematita usado como pigmento de color rojo, que puede tener ilmenita ( $\text{TiO}_3\text{Fe}$ ) El aragonito es un mineral muy inestable y su composición es carbonato de calcio, podría además contener un poco de estroncio o plomo o zinc, a presión ordinaria el aragonito empieza a convertirse en calcita. El feldespato  $\text{Na}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Al}(\text{Si}_{3-x}\text{Al}_x)\text{O}_8$  es un componente menor común de muchas calizas y dolomías y estas pueden estar contaminadas con materiales arcillosos, como illita, caolinita, montmorrillonita ( $\text{Si}, \text{O}, \text{Al}, \text{OH}$ ), otros componentes menores como glaucomita  $(\text{K}_2\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{Al}_6(\text{Si}_4\text{O}_{10})_3 (\text{OH})_{12}$ , La colofana (apatito)  $(\text{PO}_4)_3\text{Ca}_5(\text{F}, \text{CL}, \text{OH})$ , donde el manganeso puede sustituir en parte al calcio, la colofana aparece principalmente como detrito esquelético fosfático y la pirita  $\text{S}_2\text{Fe}$  puede contener pequeñas cantidades de níquel, cobalto y arsénico que se encuentra diseminada y puede estar presente la materia bituminosa.

#### 4.3.2 Soporte.

Los soportes de los murales de Mayapán están sujetos a procesos de carbonatación que vienen a enriquecerlos de carbono a través de ion carbonato  $\text{CO}_3^{-2}$  y/o bicarbonato  $\text{HCO}_3^{-1}$  estas reacciones naturales están relacionadas con la actividad biológica.

#### 4.4 PIGMENTOS.

En este estudio se incluyeron sólo cuatro colores, estos son blanco, negro, naranja y rojo, en los que se encuentran involucrados ocho pigmentos (ver Tabla 6), de los cuales sólo dos de ellos son de origen orgánico, ambos fueron utilizados para el color negro, siendo su principal componente y responsable del color el carbono en ambos pigmentos, nos referimos al denominado

“Carbón de fogata” en las pinturas rupestres y el “Negro de carbón” en los murales de Mayapán los que provienen del carbón vegetal.

En el color blanco se identificaron dos pigmentos el utilizado en las pinturas rupestres corresponde al mineral de yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) y el de Mayapán también es de origen mineral, pero este se sometió a un proceso de transformación, calcinando la caliza y/o calcita, para obtener la cal ( $\text{CaO}$ ).

Para el color naranja se determinó el uso de cuatro pigmentos todos ellos de origen mineral. En las pinturas rupestres se estableció el uso de la goethita ( $\text{HFeO}_2$ ) estimándose para la zona Maya (Mayapán) la utilización de la Hematita  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , Lepidocrocita  $\text{FeO}(\text{OH})$  y se insinúa la mezcla del rojo con el amarillo lo que equivaldría a mezclar Hematita con Limonita  $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$ .

En Piedras Gordas en el color rojo se utilizó como pigmento del mineral de hematita y para Mayapán el empleo de este mineral no se confirmó aunque el hierro es abundante no se identificó este mineral para este color. El sitio muestreado que correspondió al Templo Redondo. Y. Velásquez *et al* (2005).

Son siete los elementos que constituyen los pigmentos y estos son: \*H, C, N, O, S, Ca y Fe., el Hidrógeno aunque no se determina por análisis químico elemental EDS es parte de la formulación de algunos pigmentos.

COLOR	PIGMENTO	COMPOSICIÓN	SITIO ARQUEOLÓGICO
Blanco	Mineral de Yeso	$\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	El Vallecito, Baja California. Conjunto El Hombre Enraizado.
	Cal	$\text{CaO}$ (cal viva) $\text{Ca(OH)}_2$ (cal apagada) $\text{CaCO}_3$ (cal fraguado)	Mayapán, Yucatán. Templo Símbolos Solares.
Negro	Carbón de fogata	$\text{C}, \text{O}^*, \text{H}, \text{N}, \text{S}$	El Vallecito, Baja California. Conjunto Los Solecitos o Wittinñur
	Negro de Carbón (carbón vegetal)	$\text{C}, \text{O}^*, \text{H}, \text{N}, \text{S}$	Mayapán, Yucatán. Templo Redondo (mural)
Naranja	Goethita	$\text{HFeO}_2$	El Vallecito, Baja California. La Cueva del Indio
	Hematita Lepidocrocita Goethita Hematita + Limonita	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ $\text{FeO(O*H)}$ $^*\text{HFeO}_2$ $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO(O*H)}$ n $^*\text{H}_2\text{O}$	Mayapán, Yucatán. Templo Redondo (mural)
Rojo	Hematita	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	Piedras Gordas, Baja California.
	No se identificó la Hematita	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	Mayapán, Yucatán. Templo Redondo

#### **4.5 SUPERFICIE DE LA PINTURA (LIENZO PÉTREO): PINTURA RUPESTRE.**

Lienzo pétreo o superficie rocosa donde se llevaron a cabo las pinturas rupestres en El Vallecito no muestran indicios de que estas hayan sido preparadas y/o modificadas para llevar a cabo la pintura en ocasiones el pintor aprovechó algunos de los abultamientos o hundimientos naturales de la superficie rocosa para darle más realce a su dibujo. Las pinturas rupestres fueron desarrolladas en grandes bloques rocosos subredondeados y redondeados encontrándose los dibujos en el hemisferio inferior de los bloques. Generalmente el diagrama rupestre se encuentra elaborado en un solo color y ocasionalmente en dos colores, en su mayoría se encuentran protegidos de la acción directa de los rayos solares, de la lluvia y del viento.

Como ya ha sido mencionado, desde el punto de vista químico la composición de la superficie rocosa corresponde a sílice, silicatos de aluminio de potasio, sodio, calcio, hierro y magnesio, algunos hidratados fosfatos y silicatos de titanio y calcio. Los productos de alteración de estos componentes generan silicatos de aluminio hidratados (arcillas), carbonatos y sílice.

En las pinturas rupestres el pigmento se encuentra alojado y anclado en las microfisuras de la superficie de la roca formada por la partición intergranular, sirviendo de soporte al resto del pigmento y además por fuerzas iónicas y covalentes.

#### **4.6 ANÁLISIS GLOBAL DE LOS COMPONENTES ELEMENTALES DE LOS PIGMENTOS UTILIZADOS EN LAS PINTURAS RUPESTRES DE EL VALLECITO Y EN LOS MURALES DE MAYAPÁN.**

##### **4.6.1 Sitio arqueológico El Vallecito, Baja California.**

A nivel global los análisis químicos elementales EDS practicado a las muestras de roca con pigmento del sitio arqueológico El Vallecito, reflejan de manera general pero de forma puntual la composición de los pigmentos y de los principales componentes elementales de los minerales que forman la roca de este sitio, ver Figura 11, sección a).

Tabla 6. Pigmentos utilizados en los sitios arqueológicos El Vallecito, Baja California y el de Mayapán, Yucatán.

COLOR	PIGMENTO	COMPOSICIÓN	SITIO ARQUEOLOGICO
Blanco	Mineral de Yeso	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	El Vallecito, B.C. Conj. El Hombre Enraizado
	Cal	CaO (cal viva). Ca(OH) <sub>2</sub> (cal apagada). CaCO <sub>3</sub> (cal fraguada).	Mayapán, Yucatán Templo Símbolos Solares.
Negro	Carbón de fogata	C, O, *H, N, S.	El Vallecito, B.C. Conj. Los Solecitos
	Negro de carbón	C, O, *H, N, S.	Mayapán, Yucatán Templo Redondo
Naranja	Goethita	HFeO <sub>2</sub>	El Vallecito, B.C. Conj. Los Solecitos
	Hematita	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mayapán, Yucatán
	Lepidocrocita	FeO(OH)	Templo Redondo
	Goethita Hematita + limonita	HFeO <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + FeO(OH)• nH <sub>2</sub> O	(mural).
Rojo	Mineral de Yeso con impurezas Fe <sup>+3</sup> Yeso + hematita	CaSO <sub>4</sub> • 2H <sub>2</sub> O con Fe <sup>+3</sup> CaSO <sub>4</sub> • 2H <sub>2</sub> O + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	El Vallecito, B.C. Conj. La Cueva del Indio.
	Hematita	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Piedras Gordas, BC.
	Hematita	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mayapán, Yucatán Templo de Los Nichos Pintados

El Vallecto: \*H, C, N, O, S, Ca, Fe (\*) Determinado por Petrografía.

Mayapán: \*H, C, O, S, Ca, Fe. (\*) Incluido por fórmula.

El oxígeno es el elemento más abundante determinado por EDS se encuentra en todos los minerales que forman la roca a excepción de los minerales opacos y en los pigmentos inorgánicos y orgánicos utilizados en El Vallecito.

En el proceso de la alteración de los feldespatos de la roca, el oxígeno está presente en el agua y el anhídrido carbónico atmosférico que reaccionan químicamente con los feldespatos.

El carbono es el segundo elemento más abundante, aunque este elemento no es parte de los minerales que componen la roca, este se adhiere a ella durante el proceso de alteración de los feldespatos en que estos cambian a materiales arcillosos, óxidos y carbonatos. El carbono es el principal componente del pigmento Carbón de fogata, es además el elemento insignia en el color negro.

El silicio es el elemento que ocupa el tercer lugar en abundancia, entre los elementos químicos determinados para El Vallecito se encuentran en todos los minerales que componen la roca que son: cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico, biotita, moscovita a excepción del apatito y de los minerales opacos. El silicio de los feldespatos al ser alterados pasa a formar arcillas (caolinita).

El cuarto elemento en abundancia corresponde al calcio, este elemento sólo está presente en las plagioclasas y en el apatito, que son minerales de la roca. El calcio es parte del mineral de yeso usado como pigmento del color blanco, este es elemento insignia del color blanco.

El hierro, este elemento se encuentra en quinto lugar de la ocurrencia y sólo se encuentra en la biotita que es un componente del mineral de la roca, el hierro es un elemento insignia de los colores naranja y rojo tanto de El Vallecito como de Mayapán.

El azufre, ubicado en sexto lugar, este elemento no forma parte de los componentes minerales de la roca, es parte de los pigmentos de color blanco (yeso) y negro (carbón de fogata), este elemento también se encuentra presente en el color naranja, pudiera deberse su presencia a la oxidación de la pirita y/o de la marcasita:



En séptimo lugar se encuentra el aluminio, este elemento se encuentra en los minerales de la roca a excepción del apatito y de los minerales opacos. En la alteración de los feldespatos el aluminio pasa de ser componente de estos últimos a ser componente de las arcillas, este elemento no se encuentra en ninguno de los pigmentos.

En octavo lugar se encuentra el nitrógeno este elemento no es parte de ninguno de los componentes minerales de la roca. Pero se encuentra únicamente en el pigmento de color negro denominado carbón de fogata.

Por último tenemos a los elementos traza como el sodio y el potasio que son parte de los feldespatos, el magnesio que está contenido en la biotita, el fósforo, el flúor y el cloro que se encuentran contenidos en el mineral de apatito.

#### 4.6.2 Sitio arqueológico Mayapán, Yucatán.

A nivel global los análisis químicos elementales EDS llevados a cabo a las muestras de los pigmentos de los murales del sitio arqueológico de Mayapán, ver Figura 11, sección b).

El calcio es el elemento más abundante determinado por EDS en los análisis de los pigmentos, este es el segundo elemento más abundante de los componentes del soporte. Este elemento es parte del pigmento de color blanco óxido de calcio (OCa) y/o carbonato de calcio, para este color este elemento es insignia.

El segundo elemento en abundancia en los pigmentos es el oxígeno y el más abundante en el soporte, este se encuentra entre los componentes de los pigmentos analizados.

El hierro es el tercer elemento en abundancia, este se encuentra presente en los componentes del soporte y su presencia es a nivel de traza, este también es parte de los pigmentos utilizados para los colores naranja y rojo y es el elemento insignia para estos colores.

El cuarto elemento es el carbono, este se adhiere al mural al reaccionar la cal apagada con el anhídrido carbónico atmosférico formando carbonatos y también al hidratarse la cal viva y al reaccionar esta con los óxidos de hierro

(pigmento) y el anhídrido carbónico en el aire, parte de los carbonatos así formados son carbonatos de hierro, de calcio y de magnesio, estos carbonatos pueden ser de composición intermedia.

El carbono es el componente principal del pigmento Negro de carbón, siendo este elemento insignia en el color negro de ambos sitios arqueológicos.

El calcio, el oxígeno y el carbono son los componentes de la roca caliza, y también forman el producto final del proceso de la utilización de la cal en la construcción, que consiste en cal viva, apagado de la cal y fraguado de la cal

El quinto elemento corresponde al silicio que es parte de los componentes del soporte.

Los elementos traza como el aluminio, el magnesio, el fósforo, el potasio, el azufre y el manganeso son parte de los materiales que constituyen el soporte, además se encuentra presente en cantidades aun inferiores a los mencionados con excepción del titanio, el cobre, el iridio, el zinc, el cromo, el cloro y el níquel.

El cromo que registran los análisis químicos elementales con EDS a los pigmentos de los colores naranja y rojo a nivel traza de Mayapán pudrían provenir de la única arcilla que tiene cromo, que es la volkonskoita  $(Al, Fe^{+3}, Cr)_2(Si, Al)_4O_{10} (OH)_2 n H_2O$ .

La presencia de zinc y de cobre determinada por los análisis químico elemental de EDS de los pigmentos de color naranja y rojo de los minerales de Mayapán pudiera deberse al mineral auricalcita que es raro y su composición corresponde a un carbonato básico hidratado de zinc y de cobre y de fórmula  $CO_3 \cdot 2(Zn, Cu) \cdot 3(Zn, Cu) (OH)_2$ , tanto el cobre como el zinc su presencia es a nivel de trazas.

#### 4.7 SOPORTE DEL MURAL, SUPERFICIE DE REACCIÓN.

La superficie donde se desarrollaron los murales de Mayapán eran preparadas dándoles un acabado terso y libre de poros, para ello a la superficie se le aplicaba una capa de cal (hidróxido de calcio) con sedimento muy fino para alisarla y facilitar el desarrollo de la pintura mural.

En este estudio se parte de la suposición que esta superficie es capaz de reaccionar químicamente con compuestos del medio ambiente y con el pigmento, dando como resultado la formación de un nuevo compuesto, que se une químicamente con la superficie (pared) alisada que en este caso es  $\text{CaCO}_3$  y con el pigmento. Para los casos de la goethita (naranja), hematita (rojo) y limonita (amarillo) se forma carbonato de hierro en los límites de la superficie (pared) alisada y el pigmento.

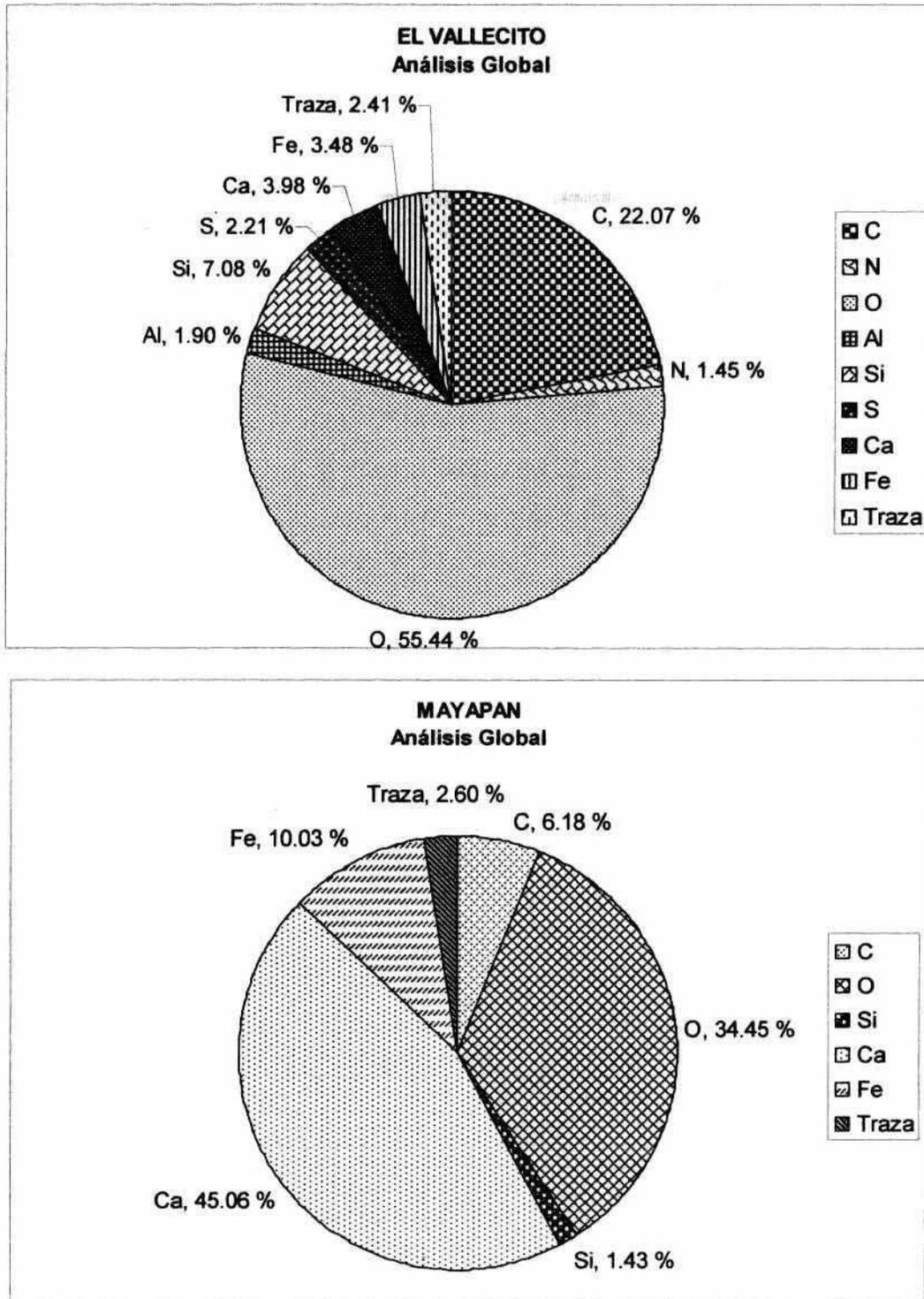


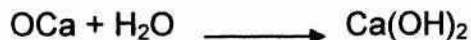
Figura 11. Análisis global de los elementos determinados por EDS en los pigmentos de El Vallecito, Baja California y en Mayapán, Yucatán.

**Color Blanco**

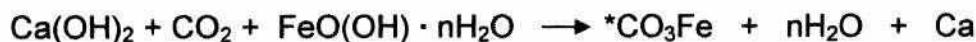
Superficie del soporte                      \*Producto de la reacción química entre la superficie del soporte y el anhídrido carbónico.

**Color Naranja**

Superficie del soporte              Goethita Pigmento              \*Producto de la reacción química entre la superficie del soporte, el anhídrido carbónico y el pigmento.

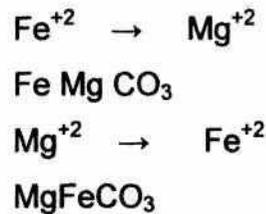
**Color Rojo**

Superficie del soporte              Hematita              \*Producto de la reacción química entre la pared del soporte, el anhídrido carbónico y el pigmento

**Color Amarillo**

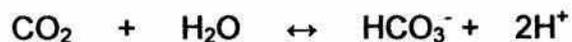
Superficie soporte              Limonita              \*Producto de la reacción química entre la superficie del soporte y el pigmento

Además de estas reacciones químicas y debido a que todos los miembros del grupo de la calcita son isoestructurales es posible la sustitución de los cationes metálicos dentro de los límites impuestos por sus tamaños relativos, el hierro, el manganeso y el magnesio se sustituyen unos a otros y tienen minerales con composiciones intermedias (Dana, 1960).



#### 4.8 ELEMENTO INSIGNIA O ABANDERADO DEL COLOR.

Existe un elemento químico que es característico para cada uno de los colores encontrándose este en ambos pigmentos (orgánico e inorgánico), tal parece que el elemento es el responsable del color del o los pigmento(s). El elemento insignia del color se manifiesta ya sea como un nuevo componente de los elementos químicos ya determinados que son parte de la roca o del soporte del mural, otra manera más de manifestarse el elemento insignia es incrementando la presencia de tal o cual elemento identificado como elemento insignia que también es parte de la roca o del soporte, como fue el caso del calcio Ca en el color blanco, el carbono C en el color negro y el hierro en los colores naranja y negro. El carbono es el principal componente de los pigmentos utilizados Carbón de fogata en El Vallecito y del Negro de carbón en Mayapán ambos de origen orgánico, además este elemento se adhiere a la roca durante la alteración de los feldespatos formando carbonatos entre otros y en Mayapán se integra a los soportes durante el fraguado de la cal y en el proceso de carbonatación.



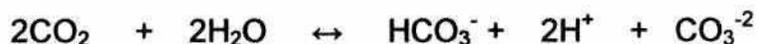
Moléculas Líquido Iones en solución

en el aire o

en solución



Iones en solución Iones en solución



En el color blanco de ambos sitios arqueológicos el calcio es el elemento insignia de los pigmentos utilizados, en El Vallecito es parte del sulfato y en Mayapán es parte del carbonato. En el color negro nuevamente coincide el elemento insignia de los pigmentos utilizados en los dos sitios arqueológicos y este corresponde al carbono. Al parecer en ambos sitios arqueológicos los pigmentos son inorgánicos de origen mineral faltando sólo de confirmar el del Templo Redondo, estos corresponden a óxidos e hidróxidos de hierro, ver Tabla 8.

Tabla 7. Elementos insignia.

SITIO ARQUEOLÓGICO	COLOR	ELEMENTO INSIGNIA
El Vallecito	Blanco	Calcio Ca.
Mayapán		
El Vallecito	Negro	Carbono C.
Mayapán		
El Vallecito	Naranja y rojo	Hierro Fe.
Mayapán		

#### 4.9 REEMPLAZOS IÓNICOS Y/O SUSTITUCIONES IÓNICAS..

La sustitución atómica influye en la composición química de la mayoría de los minerales, los cuales representan un complejo de sustitución iónica.

##### 4.9.1 Sitio arqueológico El Vallecito

Las posibles sustituciones iónicas entre los componentes de los pigmentos y los componentes de la roca.

Del pigmento a la roca:  $\text{Ca} \leftrightarrow \text{Mg}$ ;  $\text{Fe}^{+2} \leftrightarrow \text{Mg}$ ;  $\text{Fe}^{+3} \rightarrow \text{Mg}$  y  $\text{Fe}^{+2} \rightarrow \text{Ca}$ .

De la roca al pigmento:  $\text{Mg} \leftrightarrow \text{Ca}$ ;  $\text{Mg} \leftrightarrow \text{Fe}^{+2}$ ;  $\text{Mg} \rightarrow \text{Al}$  y  $\text{Fe}^{+2} \rightarrow \text{Ca}$ .

Entre los componentes de la roca:  $\text{F} \leftrightarrow \text{OH}$ ;  $\text{F} \leftrightarrow \text{Cl}$ ;  $\text{Na} \rightarrow \text{K}$ ;  $\text{Mg} \leftrightarrow \text{Ca}$ ;  $\text{Mg} \leftrightarrow \text{Fe}^{+2}$   
 $\text{Mg} \rightarrow \text{Al}$ ;  $\text{Cl} \leftrightarrow \text{OH}$ ;  $\text{Fe}^{+2} \rightarrow \text{Ca}$  y  $\text{Fe}^{+3} \rightarrow \text{Mg}$ .

##### 4.9.2 Sitio arqueológico Mayapán, Yucatán.

Las posibles sustituciones iónicas entre los componentes de los pigmentos y los componentes de los soportes de los murales.

Del pigmento al soporte:  $\text{Ca} \leftrightarrow \text{Mg}$ ;  $\text{Ca} \rightarrow \text{K}$ ;  $\text{Fe}^{+2} \rightarrow \text{Ca}$ ;  $\text{Fe}^{+2} \rightarrow \text{Mg}$  y  $\text{Fe}^{+3} \rightarrow \text{Mg}$ .

Del soporte al pigmento:  $\text{Mg} \leftrightarrow \text{Ca}$ ;  $\text{Mn} \rightarrow \text{Ca}$ ;  $\text{Mn} \rightarrow \text{Fe}^{+2}$ ;  $\text{Fe}^{+2} \rightarrow \text{Ca}$ ;  $\text{Fe}^{+2} \leftrightarrow \text{Mg}$  y  $\text{Fe}^{+3} \rightarrow \text{Mg}$ .

Entre los componentes del soporte:  $\text{Mg} \leftrightarrow \text{Ca}$ ;  $\text{Mg} \rightarrow \text{Al}$ ;  $\text{Ca} \rightarrow \text{K}$ ;  $\text{Mn} \rightarrow \text{Ca}$ ;  $\text{Mn} \rightarrow \text{Mg}$ ;  $\text{Mn} \rightarrow \text{Fe}^{+2}$ ;  $\text{Fe}^{+2} \rightarrow \text{Ca}$ ;  $\text{Fe}^{+2} \leftrightarrow \text{Mg}$  y  $\text{Fe}^{+3} \rightarrow \text{Mg}$ .

# **CONCLUSIONES**

## **CONCLUSIONES.**

- En este estudio comparativo, se analizaron y se compararon los pigmentos de color blanco, negro, naranja y rojo presentes en ambos sitios arqueológicos.
- Las técnicas utilizadas para su estudio en ambos sitios fueron Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) y la Espectroscopía por Dispersión de Energía de Rayos X (EDS).
- Las pinturas rupestres de El Vallecito, B. C., fueron desarrolladas en la superficie de la roca ígnea, clasificada como granodiorita de biotita, esta superficie no fue preparada y/o acondicionada para llevar a cabo la pintura. Los murales de Mayapán, Yucatán fueron desarrollados en una superficie compuesta por un mortero ex profeso para ello, denominado soporte, siendo su principal composición calcárea.
- La superficie rocosa de las pinturas rupestres corresponden a aluminosilicatos de calcio, sodio, potasio, magnesio y hierro, algunos de estos silicatos son hidratados, también se encuentran fosfatos y los murales de Mayapán sus soportes son de composición calcárea.
- En cada color se identificó un elemento insignia o abanderado del color, el cual resultó ser característico del color, para el blanco fue el calcio, para el negro fue el carbono, para el naranja y el rojo fue el hierro, estos elementos mencionados fueron para ambos sitios arqueológicos,
- En este estudio se incluyeron los colores blanco, negro, naranja y rojo, en los que se encuentran involucrados ocho pigmentos, de los cuales dos son de origen orgánico (Carbón de fogata y Negro de carbón) el resto de los pigmentos se les atribuye un origen mineral.
- A cada elemento químico determinado por análisis químico elemental se le estableció sus posibles fuentes de procedencia a excepción del Cromo y del Cobre que no se tuvo una fuente clara y congruente de su procedencia.
- Se establecieron los posibles enlaces iónicos entre los elementos de los pigmentos y de la roca.

- Comparando las micrografías del mismo color de ambos sitios e incluso de similar pigmento no muestran similitudes en sus estructuras, sólo ocasionalmente en la textura de aspecto granular pero sus tamaño difieren de una y otra, ni en la forma de sus granos, esto pudiera deberse a la diferencia de clima que hay entre las dos regiones así como de su superficie de desarrollo.
- La superficie donde se desarrollaron los murales de Mayapán fueron preparados dándoles un acabado plano y terso, libre de poros, además esta superficie fuera capaz de reaccionar químicamente con el pigmento y/o pigmento, medio ambiente y compuestos del medio ambiente. Dando como resultado la formación de nuevos compuestos.
- La superficie (CaO) donde se desarrollo el mural reaccionó químicamente con el pigmento y con compuestos del medio ambiente, formando nuevos componentes que se enlazaron con la superficie y/o el cuerpo de la pintura.
- El carbono, no es un componente de los minerales que forman la roca, en El Vallecito se adhiere a la roca durante el proceso de alteración de los feldespatos, formando carbonatos y en Mayapán este elemento contenido en el anhídrido carbónico atmosférico reaccionó químicamente con la cal apagada incrementando así su presencia en el soporte.
- En El Vallecito afloran bloques rocosos producto de la exfoliación concéntrica, su partición sigue el contorno de los granos, dando una superficie áspera, así como abultamientos y hundimientos que en ocasiones fueron aprovechadas estas irregularidades para dar realce algunos de los aspectos de sus gráficos rupestres.

# **BIBLIOGRAFÍA**

**BIBLIOGRAFÍA.**

- Álvarez de Williams, A. (1975). *Travelers among the Cucapá*. Los Angeles. Dawson's Book Shop.
- Anthony, J.W., Williams, S.A., Bideaux, R.A., Grant, R.W. (1995). *Mineralogym of Arizona*. Third Edition. The University of Arizona Press Tucson.
- Aschmann, H. (1996). *The Natural and Human History of Baja California*. California Dawson.
- Bendímez, J. y Laylander, D. (1999). *El arte rupestre del norte de Baja California*. Antología de la arqueología de Baja California. INAH. México.
- Bendímez, J. (1999). *Antecedentes históricos de los indígenas de B.C.* Antología de la arqueología de BAJA California. INAH. México.
- Brown, V., Allan, D. & Stara, J. (2002). *Rocks and Minerals of California* (3rd. Ed). California: Naturegraph Publishers. Inc.
- Chalmin, E., Menu, M., and Vignaud, C. (2003). *Analysis of rock art painting and technology of Paleolithic painters*. *Measurement Science and Technology* 14 1590-1597.
- Corona, M. E y Arroyo, C. J. (2002). *Relaciones hombre-fauna*. Instituto Nacional de Antropología e Historia-Plaza y Valdez. México.
- Cabrera Garrido, J. M. (1969). "El Azul Maya; Sobre el Colorante Orgánico y La Técnica de Fabricación del Pigmento". *Informes y trabajos del Instituto de Conservación y Restauración de Obras de Arte, Arqueología y Etnología*. No. 8 Ministro de Educación y Ciencia – Dirección General de Bellas Artes. Madrid, España.
- Clark, R. J. H., Curri, M. L. (1998). "*The Identification of Raman Microscopy and X-Ray Diffraction of Iron-Oxide Pigments and of the Red Pigments Found on Italian Pottery Fragments*". *Journal of Molecular Structure* 440, pp. 105-111.
- Dana-Hurlbut. (1960). *Manual de Mineralogía*. Editorial Reverte. México.
- Dana, E.S. & Ford, W.E. (1969). *Tratado de Mineralogía* (4a. ed.). México: C.E.C.S.A.
- Dirección General de Geografía. (1997). *Carta Topográfica 1:50 000 RUMOROSA I11D63*. INEGI.
- El Arte Rupestre en Baja California, Exposición Fotográfica* (1994). Tecate.

UABC, INAH, SEP.

El Vallecito: restauración de un resguardo. Antología de la arqueología de Baja California. (1999). INAH. México.

Gloria, E. F. (1999). Registro y la delimitación de los sitios arqueológicos. Antología de la arqueología de Baja California. INAH. México.

Gómez Estrada, J. (1957). La gente del río Colorado. Indígenas, colonizadores y ejidatarios. Universidad Autónoma de Baja California. México.

Gordon Gastil, R., Phillips, Richard., Allison, Edwin. (1975). Reconnaissance Geology of The State of Baja California, Memoir 140. Geological Society of American. U.S.A.

Gutiérrez Martínez, M. L. (2002). Identidad social, comunicación ritual y arte Rupestre, el gran mural de la sierra de Guadalupe, B.C.S. (2002). II Encuentro Binacional: Balances y Prospectivas de la Antología e Historia de Baja California. Ensenada, Baja California, México.

Hirschman, F., Thybony, S. (2002). Rock Art The American Southwest. Grafic Art Center Publishing, pp 80, 123.

Hradil, D., Grygar, T., Hradilová, J., y Bezdička. (2003). "Clay and Iron Oxide Pigments in the History of Painting". Applied Clay Science 22, pp. 223-226.

Jiménez, I. (1993). Cestería de la Alta California. Museo Nacional de las Culturas. INAH. México.

Kelly, Williams H. (1997). Cocopa Ethnography. University of Arizona. Tucson.

Kerr, P.F. (1965). MINERALOGÍA Óptica (3a. ed.). España: Ediciones Castilla.

Klein, C. y Hurlbut, C.S. Jr. (1997). Manual de Mineralogía (4a. ed.). (Tomo I y II). España: Ed. Reverte

Laylander, D. (1987). Sources and Strategies for the Prehistory of Baja California. Tesis de Maestría. University of San Diego.

Laylander, D. (1999). Una exploración de las aportaciones culturales. Antología de la arqueología de Baja California. INAH. México.

León Portilla, M. (1973). Historia natural y crónica de la antigua California Miguel del Barco. Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto de Investigaciones. Históricas. México.

López Ramos, E. (1973). Cartas geológicas del territorio de Baja California.

- UNAM. Instituto de Geología. México.
- Luxan, M. P., y Borrego, F. (1996) "Ancient XVI Century Mortar from the Dominican Republic: Its Characteristics, Microstructure and Additives". *Cement and Concrete Research*, Vol. 26,6, pp. 841-849.
- Malagamba, J. (1987 diciembre 6). Situación actual de las etnias de Baja California. *La Voz de la Frontera*, sección Voz-a-Nova.
- Mendiola, G. F. (1994). Petroglifos y pintura rupestre en el norte de Sinaloa. Tesis de Licenciatura en Arqueología. Instituto Nacional de Antropología e Historia. México.
- Mendiola, G. F. (2002). El arte rupestre en Chihuahua. Instituto Chihuahuense de la Cultura e Instituto Nacional de Antropología e Historia. México.
- Meza León, J. (1981). Fundamentos Prehispánicos del Altiplano Potosino. *Fundamento*. (9). 16-25.
- Michelsen, R. (1977). The Territoriality of the Native Americans of the Northern Highlands of Baja California. Simposio 15. Baja California.
- Mitchell, J.R. (2003). *Gem Trails of Southern California* (2nd. ed.). California: Gem Guides Book Co.
- Montúfar, L. A. (1994). Estudios palinoecológicos en Baja California Sur y su posible relación con los grupos cazadores-recolectores de la región. Instituto Nacional de Antropología e Historia. México.
- Magaloni Kerpel, D. (1999). "Materiales y Técnicas de la Pintura Mural Maya". *La Pintura Mural Prehispánica en México. Año II Área Maya. Tomo III Estudios*. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Investigaciones Estéticas, pp. 155-198.
- Magaloni, D. (1995). "Técnicas de la Pintura Mural en Mesoamérica". *Arqueología Mexicana*. Vol. III, 16, pp. 16-23.
- Martínez, W., Alonso, E., Ávalos, M., Castaño, V.M., Martínez Gómez, L. (2004). "Aditivos Orgánicos, Vegetal y Animal, en el Incremento de Resistencia Mecánica de Morteros Antiguos de Albañilería Elaborados con Cal". *La Ciencia de Materiales y su Impacto en la Arqueología*. Editado por Demetrio Mendoza Anaya, Eva Leticia Brito Benítez y Jesús A. Arenas

- Alatorre. (2004). Academia Mexicana de Ciencias de Materiales, A. C., pp. 155-167.
- Silva-Velázquez, Y., Peraza Lope, C. A., Bautista Mosqueira, J. P. y Arenas Alatorre, J. (2005). "Caracterización Físicoquímica de Pigmentos y Soportes en Pinturas Murales: Caso Mayapán, Yucatán". La Ciencia de Materiales y su Impacto en la Arqueología Vol. III. Editado por: Demetrio Mendoza Anaya, Jesús Arenas Alatorre, Ventura Rodríguez Lugo y José Luis Ruvalcaba Sil. Academia Mexicana de Ciencia de Materiales, A. C.
- Oviedo, G.F. (2002). Proyecto Arqueológico El Vallecito y La Rumorosa, B.C. INAH - B.C.
- Pappalardo, L. (1999). A portable PIXE system for the in situ characterisation of black and red pigments in neolithic, copper age bronze age pottery. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 150 576-580.
- Pemberton, H.E. (1907). Minerals of California. U.S.A.: Van Nostrand Reinhold Company.
- Piñera, R. D. (1978). Inicios de la Colonización Civil en Baja California. Revista. Calafia, Vol. III. No.5.
- Plages, V., Causse, Ch., Fontugne, M., Valladas, H., Chazine, J-M and Fage, L-H. (2003). Cross dating (Th/U –  $^{14}\text{C}$ ) of calcite covering prehistoric paintings in Borneo. Quaternary Research 60 172-179.
- Ritter, E. W. (1999). Los primeros bajacalifornianos. Antología de la arqueología de Baja California. INAH. México.
- Serrano González, J. (1999). Los sitios arqueológicos del estado de B.C. Antología de la arqueología de Baja California. INAH. México.
- Serrano, J. (1999). El Vallecito restauración de un resguardo. INAH, Mexicali, México., pp 46-50.
- Shackelford, J. F. (1992). Ciencias de Materiales para Ingenieros. (3a. ed). México: Pearson Educación.
- Skoog, D. A., Holler, F. H., y Nieman, T. A. (2001). Principios de Análisis Instrumental. (5 a. ed). España: McGraw Hill.
- Téllez Duarte, M. A. (1999). Los concheros de Baja California. Antología de la arqueología de Baja California. INAH. México.

- Viramontes, A. C. (2000). De chichimecas, pames y jonaces. Los recolectores-cazadores del semidesierto de Querétaro. Instituto Nacional de Antropología e Historia. México.
- Wiggins, I. L. (1979). Flora of Baja California. University of Stanford, Stanford.
- Zoppi, A., Signorini, G., Lucarelli, F., and Bachechi, L. (2002). Characterisation of painting materials from Eritrea rock art sites with non-destructive spectroscopic techniques. *Journal of Cultural Heritage* 3 299-308.

# **ANEXOS**

- ANEXO 1 ESTUDIOS COMPARATIVOS ENTRE LOS PIGMENTOS  
UTILIZADOS**
- ANEXO 2 ARTE, PINTURA RUPESTRE, MURALES MAYA**
- ANEXO 3 REACCIONES QUIMICAS DE LOS PROCESOS**

<b>ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LOS PIGMENTOS UTILIZADOS EN:</b>	
<b>SITIOS ARQUEOLÓGICOS:</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Las Pinturas Rupestres de El Vallecito, Baja California.</li> <li>2. Los Murales Mayas de Mayapán, Yucatán</li> </ol>
<b>COLORES:</b>	Blanco, negro, naranja y rojo.
<b>METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS INSTRUMENTAL:</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Microscopía electrónica de barrido (MEB).</li> <li>2. Espectroscopía de Dispersión de Energía de Rayos X (EDS).</li> </ol>
<b>CONCORDANCIAS:</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mismos colores.</li> <li>2. Mismas metodologías de análisis.</li> </ol>
<b>DISCORDANCIAS:</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diferencia cultural.</li> <li>2. Ubicaciones distantes.</li> <li>3. Discrepancia en el tiempo.</li> <li>4. Medio ambiente diferente.</li> </ol>

**Nota:** Todos los resultados de los análisis químicos elementales y micrografías del sitio arqueológico de Mayapán fueron tomados de Y. Silva *et al* 2005.

ARTE	PINTURA RUPESTRE	MURALES MAYA
Expresado	Lienzo pétreo o superficie de roca	Soportes y morteros
GEOLÓGICO	<p><b>Roca ígnea intrusiva.</b>                      Granodiorita de biotita, de grano medio.                      Composición global:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Cuarzo 30%,</li> <li>■ Feldespato potásico 18%,</li> <li>■ Biotita 10%,</li> <li>■ Moscovita 2%,</li> <li>■ Trazas de apatito y minerales opacos</li> </ul>	<p><b>Rocas sedimentaria:</b>                      Calizas, calizas dolomíticas, dolomitas y sus residuos insolubles (minerales y sustancias).                      Calcedonia, cuarzo, minerales de arcilla, azufre, pirita, marcasita, esfalerita, millerita, magnetita, hematita, limonita, óxidos de manganeso, adularia, albita, moscovita, clorita, glauconita, barita y celestita.</p>
ALTERACIONES	<p><b>Minerales:</b>                      Al alterarse los feldespatos ocurren procesos de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Caolinización (arcillas),</li> <li>■ Oxidación y</li> <li>■ Carbonatación.</li> </ul> <p>Los minerales ferromagnesianos (biotita) producen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Hidróxidos de hierro (limonita).</li> </ul>	<p><b>Materiales del Soporte:</b>                      Al <u>desarrollar el mural</u>: CaO (cal viva), Ca(OH)<sub>2</sub> (apagada), CaCO<sub>3</sub> (fraguada).                      Al <u>impermeizarse</u> generan:                      Sedimentos finos, formados por los residuos insolubles (minerales y sustancias) contenidos en las rocas carbonatadas.  <u>Carbonatación</u>: es la combinación de iones de CO<sub>3</sub><sup>-2</sup> o HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (se producen al combinarse el CO<sub>2</sub> con el agua) con el material geológico</p>
QUÍMICO	<p><b>Compuestos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Sílice,</li> <li>■ Silicatos aluminicos de calcio, sodio, potasio, magnesio y hierro y algunos son hidratados y</li> <li>■ Fosfatos</li> </ul>	<p><b>Compuestos:</b>                      Rocas carbonatadas ricas en:                      CaO, CO<sub>2</sub>, MgO y residuos insolubles (sílice, silicatos aluminicos hidratados, sulfatos de calcio, bario y estroncio, azufre, sulfuros de hierro, zinc y níquel, óxidos de hierro y manganeso, silicatos aluminicos de potasio, sodio, magnesio y férricos.</p>
SUSTITUCIONES IÓNICAS.	<p><b>Entre los componentes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ De la roca: F, Mg, Fe, Na.</li> <li>■ De la roca al pigmento: Mg, Fe</li> <li>■ Del pigmento a la roca: Fe, Ca.</li> </ul>	<p><b>Entre los componentes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Del soporte: Mg, Ca, Mn, Fe</li> <li>■ Del soporte al pigmento: Mg, Mn, Fe.</li> <li>■ Del pigmento al soporte: Fe, Ca.</li> </ul>

# REACCIONES QUÍMICAS DE LOS PROCESOS

$2\text{KAlSi}_3\text{O}_8 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 + 4\text{SiO}_2 + \text{K}_2\text{CO}_3$ Ortoclasa o Microclina Agua Anhídrido carbónico Caolinita Sílice Carbonato de potasio	(1)
$2\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 + 4\text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3$ Albita Agua Anhídrido carbónico Caolinita Sílice Carbonato de sodio	(2)
a) $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow 2\text{H}^{+1} + \text{CO}_3^{-2}$ Moléculas en el aire, en solución líquido iones en solución	(3)
b) $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{HCO}_3^{-1} + 2\text{H}^{+1}$ Moléculas en el aire ó en solución líquido iones en solución	(4)
Los materiales calcáreos pueden ser alterados, la solución más común es: $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ Calcita líquido Anhídrido carbónico Carbonato de calcio	(9)
$2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ Hematita Agua Limonita	(10)