

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**INSTITUTO DE INGENIERÍA**

***DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA***



**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LAS  
PINTURAS RUPESTRES DE BAJA CALIFORNIA**

**TESIS**

Que para obtener el grado de:  
**Doctor en Ingeniería**

Presenta  
**Juan Manuel Cobo Rivera**

Director:  
**Dr. Benjamín Valdez Salas**

**Mexicali, B.C.**

**junio del 2006**

## Índice general

		Página	
	Agradecimientos		
	Índice de figuras		
	Índice de tabla		
	Resumen		
Capítulo	1	Introducción	1
	1.1	Introducción	2
	1.2	Planteamiento del problema	3
	1.3	Hipótesis	4
	1.4	Objetivos	5
	1.4.1	Objetivo general	5
	1.4.2	Objetivos específicos	6
	1.5	Importancia del estudio	6
	1.6	Definición de términos	6
Capítulo	2	Marco de referencia	8
	2.1	Baja California	9
	a)	Fisiografía	9
	b)	Contexto geológico	9
	c)	Drenaje fluvial	10
	d)	Clima	10
	e)	Vegetación	13
	2.2	Bosquejo histórico	13
	2.3	Registro de sitios arqueológicos	21
	2.4	La degradación química del hueso	23
	2.5	Microscopía electrónica de barrido	23
	2.6	Espectroscopia de análisis de dispersión de rayos X	25
	2.7	Espectroscopia de transformada de Fourier	26
Capítulo	3	Metodología	30
	3.1	Introducción	31
	3.2	Nomenclatura	31

	Página	
3.3	Descripción del sitio arqueológico	33
3.4	Muestreo de la pintura	34
3.5	Muestreo de la roca	35
3.6	Trabajo de laboratorio	35
3.7	Descripción de las secciones delgadas	36
3.8	Análisis de superficie y composición química de las muestras de roca con pintura utilizando SEM-EDX	38
3.9	Espectroscopia infrarroja con transformadas de Fourier	39
3.10	Color y raya	39
3.11	Ocurrencia	40
Capítulo 4	Resultados	45
4.1	Introducción	45
4.2	Región arqueológica “La Rumorosa”	45
a)	Sitio arqueológico El Vallecito	45
b)	Sitio arqueológico Los Guerreros	54
c)	Sitio arqueológico Piedras Gordas	57
d)	Sitio arqueológico Potrero del Toro	60
e)	Sitio arqueológico Rancho Agua Grande	63
f)	Sitio arqueológico Valle Seco	66
g)	Sitio arqueológico Los Monos	69
h)	Sitio arqueológico Los Puntos	72
i)	Sitio arqueológico El Murillo. Conjunto Coronado	76
j)	Sitio arqueológico El Murillo. Conjunto La Paz	80
k)	Sitio arqueológico La Milla. Conjunto “A”	83
l)	Sitio arqueológico La Milla. Conjunto “B”	86
m)	Sitio arqueológico El Hoyo	88
n)	Sitio arqueológico Las Pilitas	89
4.3	Región arqueológica Cañón de Guadalupe	94
a)	Sitio arqueológico Resguardo de La Cruz	94

		Página
	b) Sitio arqueológico La Tinaja Partida	98
Capítulo	5 Discusión de resultados	102
	5.1 Discusión de resultados	103
	5.2 Elementos químicos en rocas con pintura rupestre	104
	5.2.1 Oxígeno, silicio y aluminio	105
	5.2.2 Calcio, sodio y potasio	106
	5.2.3 Carbono, hidrógeno, nitrógeno y manganeso	107
	5.2.4 Fósforo, cloro y flúor	109
	5.3 Autigénesis	109
	5.4 Meteorización	109
	5.5 Hidratación, hidrólisis, oxidación y carbonatación	110
	5.6 Sustitución atómica	114
	5.7 El lienzo pétreo y el pigmento	116
	5.8 Los pigmentos	116
	5.9 Diferencias entre la superficie rocosa y el pigmento	117
	5.10 Posibles procesos	118
	5.11 Caolín, carbón de fogata, hematita-goethita-limonita, pirolusita, yeso	118
	a) Caolín	118
	b) Carbón de fogata o tizón	121
	c) Minerales de hematita-goethita-limonita	122
	d) Pirolusita	125
	e) Mineral de yeso	126
	5.12 Meteorización de los cantos esferoidales y bloques rocosos donde se encuentran ubicados los gráficos rupestres	127
	5.13 Remanentes de exfoliación	128
	5.14 Proceso de formación	129
	5.15 Texturas de las pinturas	131
	5.16 Micrografía	131

	Página
5.17 Pasta	132
5.18 Película	133
5.19 Unidad de los productos de alteración de los feldespatos	133
5.20 Análisis con espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier	135
5.21 Composición de los pigmentos	136
Conclusiones	137
Glosario	141
Bibliografía	149
Anexo A	154
Anexo B	161

## Índice de figuras

		Página
Figura 1.1	Localización de los sitios arqueológicos de la sierra de La Rumorosa y Cañón de Guadalupe	3
Figura 2.1	Zona de estudio	12
Figura 2.2	Vista del oasis del Cañón de Guadalupe	12
Figura 2.3	Morteros	16
Figura 2.4	Hoyuelos	17
Figura 2.5	Espectro infrarrojo	27
Figura 2.6	Arreglo esquemático del principio de interferómetro de Michelson	27
Figura 3.1	Fragmentos de roca con pintura rupestre	39
Figura 3.2	Esquema de la metodología	42
Figura 4.1	Canto rocoso en forma de huso. Sitio arqueológico El Vallecito. Conjunto El Tiburón	46
Figura 4.2	Texturas, minerales y clasificación de la roca. Sitio arqueológico El Vallecito	47
Figura 4.3	Pictografía Sitio arqueológico El Vallecito: Conjunto El Hombre Enraizado	48
Figura 4.4	Pictografía Sitio arqueológico El Vallecito: Conjunto La Cueva del Indio	50
Figura 4.5	Pictografía Sitio arqueológico El Vallecito: Conjunto La Cueva del Indio, figuras en color rojo naranja y rojo	51
Figura 4.6	Texturas, minerales y clasificación de la roca. Sitio arqueológico Los Guerreros	56
Figura 4.7	Pictografía en color blanco. Sitio arqueológico Los Guerreros	56
Figura 4.8	Texturas, minerales y clasificación de la roca. Sitio arqueológico Piedras Gordas	59
Figura 4.9	Pictografía. Sitio arqueológico Piedras Gordas	59

## Índice de figuras

	Página	
Figura 4.10	Canto aislado similar al caparazón de una tortuga. Sitio arqueológico Potrero del Toro	61
Figura 4.11	Pictografía. Sitio arqueológico Potrero del Toro	62
Figura 4.12	Pictografía en color negro. Sitio arqueológico Valle Seco	70
Figura 4.13	Pictografía. Sitio arqueológico El Murillo. Conjunto Coronado	77
Figura 4.14	Pictografía. Sitio arqueológico La Paz	83
Figura 4.15	Aviario en cielo pétreo, dibujos de aves al carbón. Sitio arqueológico La Milla. Conjunto "A"	85
Figura 4.16	Canto ovoide de granodiorita. Sitio arqueológico Las Pilitas	90
Figura 4.17	Pictografía. Sitio arqueológico Las Pilitas, el pino real y el saurio	92
Figura 4.18	Canto redondeado embancado en cantos rocosos menores. Región arqueológica Cañón de Guadalupe. Sitio Resguardo de La Cruz	95
Figura 5.1	Espectros de rayos X, de roca con pintura rupestre, Sitios arqueológicos El Vallecito y La Milla	103
Figura 5.2	Distribución de los elementos químicos utilizados en las diferentes pinturas rupestres para los colores negro, blanco y rojo	104
Figura 5.3	Pigmento. Roca caolín	119
Figura 5.4	Carbón de fogata o tizón	121
Figura 5.5	Decoloración de las pinturas de color negro	123
Figura 5.6	Hematita y limonita	123
Figura 5.7	Dispersión del cemento oxidante (hematita)	125
Figura 5.8	Mineral de yeso	126
Figura 5.9	Cantos esferoidales con nicho	129

## Índice de figuras

	Página	
Figura 5.10	Micrografía. Imágenes de roca con pintura rupestre. Sitio arqueológico El Murillo y El Vallecito	132
Figura 5.11	Micrografía. Imágenes de roca con pintura rupestre. Sitio arqueológico El Murillo. Conjunto Coronado	133
Figura 5.12	Micrografía. Imágenes de roca con pintura rupestre. Sitios arqueológicos El Vallecito y Los Puntos	134
Figura 5.13	Micrografía. Imágenes de roca con pintura rupestre. Sitios arqueológicos Valle Seco y Piedras Gordas	135
Figura 5.14	Espectro FTIR del pigmento blanco utilizado en el sitio El Vallecito	136

## Índice de tabla

	Página
Tabla 5.1 Descripción de los pigmentos utilizados para los diferentes colores de pinturas y trazos de las pinturas rupestres de Baja California	137

## RESUMEN

La caracterización fisicoquímica de la pintura rupestre de las regiones de La Rumorosa y Cañón de Guadalupe localizadas en el extremo noroeste de la República Mexicana, en el estado de Baja California cerca de la frontera con Estados Unidos de Norteamérica. El Cañón de Guadalupe se encuentra en el flanco este de la sierra de La Rumorosa y esta forma parte de la sierra de Juárez, se seleccionaron 12 sitios arqueológicos de los cuales se obtuvieron muestras de roca y de roca con pintura rupestre, registro fotográfico de la morfología del sitio, así como de sus paneles pictóricos, se obtuvo una descripción geológica detallada de cada uno de ellos. Las principales herramientas utilizadas fueron la dispersión de rayos X y la petrografía microscópica, complementándose una a la otra. La pintura rupestre asentada sobre una matriz rocosa de los afloramientos graníticos conformados generalmente por cantos esferoidales, bloques y frentes rocosos, se emplearon pigmentos minerales principalmente aunque existen de origen orgánico, los colores más frecuentes son blanco, verde grisáceo, rojo y varias tonalidades de rojo y negro. Las pinturas son muy estilizadas y esquematizadas, siendo su contenido artístico formas antropomorfas, manos humanas, zoomorfas, trazos geométricos y líneas en zigzag y ondulantes.

## **ROCAS, PIGMENTOS Y GRÁFICOS RUPESTRES DE LA SIERRA DE LA RUMOROSA, BAJA CALIFORNIA.**

La caracterización fisicoquímica de la pintura rupestre de las regiones de La Rumorosa y Cañón de Guadalupe localizadas en el extremo noroeste de la República Mexicana, en el estado de Baja California cerca de la frontera con Estados Unidos de Norteamérica. El Cañón de Guadalupe se encuentra en el flanco este de la sierra de La Rumorosa y esta forma parte de la sierra de Juárez, se seleccionaron 12 sitios arqueológicos de los cuales se obtuvieron muestras de roca y de roca con pintura rupestre, registro fotográfico de la morfología del sitio, así como de sus paneles pictóricos, se obtuvo una descripción geológica detallada de cada uno de ellos. Las principales herramientas utilizadas fueron la dispersión de rayos X y la petrografía microscópica, complementándose una a la otra. La pintura rupestre asentada sobre una matriz rocosa de los afloramientos graníticos conformados generalmente por cantos esferoidales, bloques y frentes rocosos, se emplearon pigmentos minerales principalmente aunque existen de origen orgánico, los colores más frecuentes son blanco, verde grisáceo, rojo y varias tonalidades de rojo y negro. Las pinturas son muy estilizadas y esquematizadas, siendo su contenido artístico formas antropomorfas, manos humanas, zoomorfas, trazos geométricos y líneas en zigzag y ondulantes.

# Capítulo 1

## Introducción

## 1.1. Introducción.

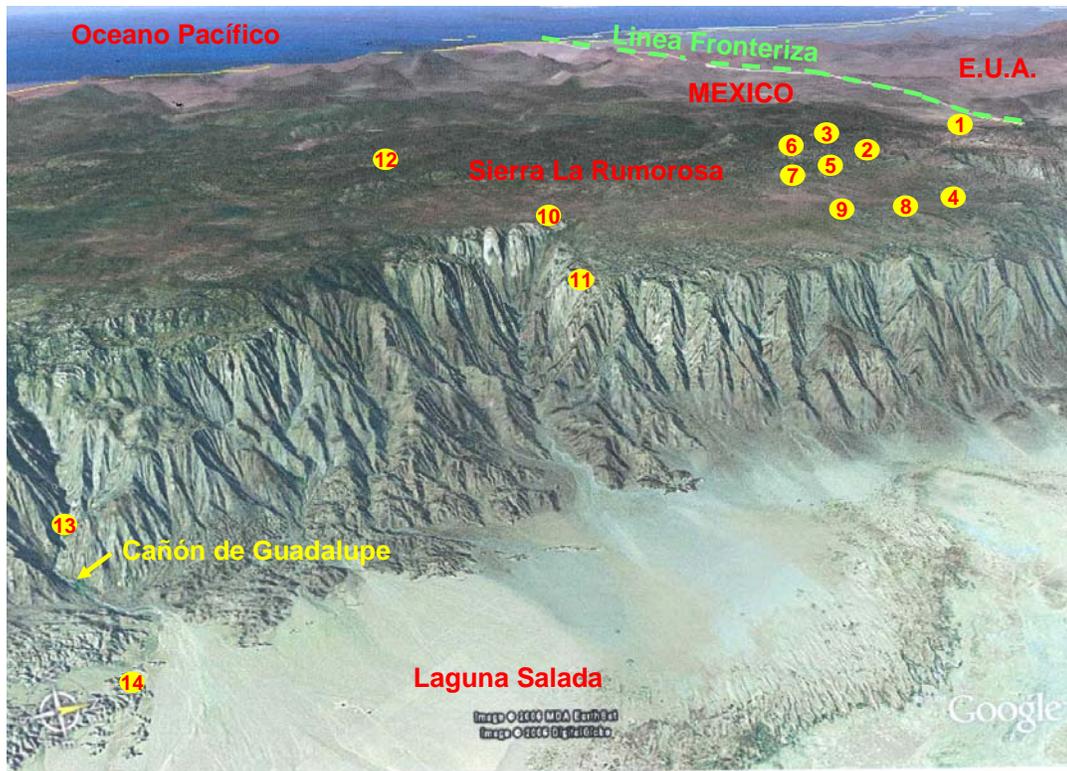
En la península de Baja California, la organización social de sus habitantes era netamente de cazadores-pescadores-recolectores al arribo de los españoles. Estos pobladores se caracterizaron por la expresión de su diario quehacer a través de petrograbados y pinturas rupestres. El primer antecedente de que los indígenas de Baja California elaboraban y utilizaban pigmentos para realizar las pinturas rupestres, lo registró el capitán Hernando de Alarcón al navegar por primera vez en los meandros del río Colorado.

El trabajo de la caracterización fisicoquímica de las pinturas rupestres de Baja California incluye las regiones de La Rumorosa y del Cañón de Guadalupe, ambas localizadas en la sierra de La Rumorosa. Los sitios de la primera región se ubican en los valles ínter montanos y los de la segunda región se encuentran al pie y en las pendientes abruptas del flanco este de la sierra como se puede observar en la figura 1.1.

El criterio de selección de los sitios en un principio fue basado en el mayor número de colores y de gráficos rupestres presentes en tales sitios, de tal manera que fuese posible recolectar muestras del sustrato rocoso con pintura y documentar con evidencia fotográfica el sitio arqueológico.

Cabe mencionar que las pinturas rupestres de Baja California no han sido estudiadas desde el punto de vista de su caracterización fisicoquímica e inclusive no existe un proceso de estimación de su verdadera edad. De ahí la importancia de obtener datos relevantes de su composición, que nos permitan establecer medidas para su rehabilitación y preservación.

En la zona de Baja California Sur en las pinturas rupestres murales de la Sierra de San Francisco, se han realizado estudios para su datación y caracterización, sin embargo, la interpretación de los resultados finales no es aún muy clara.



**Figura 1.1** Localización de los sitios arqueológicos de la sierra de La Rumorosa y Cañón de Guadalupe, comprendidos en este estudio, vista aérea de la sierra de La Rumorosa, de sureste a noroeste. 1) El Vallecito, 2) Los Guerreros, 3) Piedras Gordas, 4) Potrero del Toro, 5) Rancho Agua Grande, 6) Valle Seco, 7) Los Monos, 8) Los Puntos, 9) El Murillo, 10) La Milla, 11) El Hoyo, 12) Las Pilitas, 13) Resguardo de La Cruz, 14) La Tinaja Partida.

## 1.2. Planteamiento del problema.

Hoy en día el arte rupestre es una forma cultural en extinción, este patrimonio cultural esta constantemente amenazado por factores naturales y sociales. Es latente la posibilidad de que los sitios con arte rupestre no sólo de Baja California, sino también del occidente y norte de la República Mexicana, donde es abundante este material rupestre, desaparezcan en un mediano plazo con toda su riqueza de cultura de nuestros ancestros, por lo que es inaplazable llevar a cabo una exploración exhaustiva de las áreas con posibilidades de albergar vestigios de arte rupestre para tener un conocimiento pleno de su existencia y

ubicación. Además se debe realizar registros detallados y sistemáticos, restaurar sin dañar los materiales originales logrando la conservación del patrimonio cultural y al mismo tiempo la conservación del patrimonio natural.

Para conservar, restaurar y mantener los sitios hasta ahora conocidos con diagramas pictóricos deberá conocerse la composición de las mezclas de pigmentos y otros materiales utilizados como pinturas, descifrar las técnicas de preparación y aplicación, la adherencia de la pasta o base de la pintura entre sí; así como su adherencia en la superficie rocosa. Para ello, deberán desarrollarse metodologías de muestreo y caracterización físico química de las pinturas rupestres de la zona de estudio.

Existe la posibilidad de que cambien alguno o algunos materiales de la pintura como son los pigmentos, ya que esto parece estar supeditado a los materiales existentes en cada región donde se encuentran el o los sitios con arte rupestre, sin descartar la posibilidad de la importación de algunos de estos materiales de áreas aledañas y/o distantes del sitio pictórico en cuestión.

Al observar el esplendor y la buena conservación en que se encuentran las pinturas rupestres, las cuales apenas si están parcialmente protegidas de los rayos solares, lluvia, vientos, nieve y expuestas a la neblina y humedad en el medio ambiente provocada por la evaporación, con edades centenarias y algunas de uno o dos milenios de años. Surge la esperanza de que al conocer su composición, su elaboración, y su manera de aplicación, será posible aminorar los estragos del deterioro, llevando a cabo mantenimientos más espaciados y seguramente menos costosos, ya que su antigüedad sugieren técnicas sencillas tanto para su elaboración como para su aplicación, con materiales obtenidos de la superficie del terreno.

### **1.3. Hipótesis.**

Debido a la nula o incipiente tecnología que poseían los primeros habitantes de la Baja California que deambuló por estos territorios incapaz de transformar el medio ambiente y procesar sus productos para su beneficio, tomando

únicamente a lo que estaba a su vista, los recursos naturales que podía capturar, recolectar, tomar de la superficie o a unos cuantos centímetros bajo esta, por lo que la utilización de lo obtenido era o casi era en forma tal cual como se encontraba en la naturaleza, a excepción de ser molido, macerado, posiblemente cocido.

Por lo tanto los minerales que utilizó el hombre primitivo eran directamente como se encontraban en la naturaleza en la mayoría de los casos o con sólo un pequeño cambio, esta incipiente transformación con la molienda de los componentes de la pintura propiciaba un estado favorable para que se llevaran a cabo ciertas uniones o intercambios entre los componentes de la pintura con la superficie rocosa que en algunos sitios su apariencia es la de un tatuaje como parte de la roca y en otros de una pasta adherida con firmeza a la roca.

Por lo que pudieron haberse presentado reacciones de tipo químico, físico y mecánico o tal vez una combinación de estos procesos. Los procesos químicos como enlaces químicos, enlaces iónicos y reemplazos iónicos totales y parciales, carbonatación, hidratación etcétera, los procesos físicos (mecánicos) como mezclas de materiales líticos denominados morteros.

En base a su trascender del tiempo y al perfecto estado en que se encuentran las pinturas rupestres los materiales deberían de ser de baja energía y estar en equilibrio con la naturaleza por lo que deben ser más del reino mineral por su conservación a través de cientos de años. Por su durabilidad tiene implícito su origen, este debe ser mineral.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

Determinar la caracterización de las propiedades físicas y químicas de las pinturas rupestres de Baja California, para su aplicación en la restauración y conservación de estas y en la construcción moderna.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

1. Obtener su composición química y mineralógica.
2. Identificar las técnicas, los materiales y las herramientas utilizadas durante la realización de las pinturas rupestres.
3. Simular las técnicas de preparación y aplicación.
4. Determinar los procesos químicos de adherencia, secado y curado de las pinturas.
5. Evaluar el comportamiento de las pinturas.

Basados en estos objetivos se propone procesos de fabricación y aplicación tecnológica en la construcción actual.

### **1.5. Importancia del estudio.**

El conocimiento de las características fisicoquímicas de las pinturas rupestres de la zona de La Rumorosa y la reproducción de su preparación y aplicación, pudiera permitir restaurarlas y preservarlas.

### **1.6. Definición de términos**

El estudio del arte rupestre en sus formas, estilos y contenidos pictóricos todo ello enmarcado en las dimensiones de espacio, cultura y tiempo, puede ofrecernos muchas claves de comprensión no sólo del pasado prehistórico, sino también de los procesos de contacto cultural entre los grupos que poblaron la región antes y después de la conquista española (Sariego, 2001).

El arte rupestre se expresa técnicamente a través del asentamiento, sobre matriz rocosa, de pigmentos de colores que van del negro al blanco, pasando por el rojo, el amarillo y el verde. Esta técnica es conocida con el nombre genérico de pintura rupestre. También está la técnica del petrograbado o alteración de la superficie de la roca por medio del desgaste, percusión y

raspado de la misma con un material rocoso de mayor dureza que la roca que se ha grabado. Estas acciones mecánicas tuvieron la finalidad de producir figuras y/o formas específicas que representan partes de la realidad o de la naturaleza.

Las abstracciones a través de la gráfica, aíslan partes de la realidad misma. Las formas específicas se identifican con los seres vivos: humanos, animales y plantas; con ciertos elementos inorgánicos de la naturaleza; sol, luna estrellas, cometas, siendo este el carácter naturalista.

El carácter abstracto, contiene figuras geométricas-abstractas rectilíneas, curvilíneas y combinadas, que representan partes de la realidad y de la misma naturaleza. Sin embargo, en nuestra situación contemporánea dichas figuras no pueden ser relacionadas con partes concretas de la realidad y la naturaleza, precisamente por desconocer los códigos que se utilizaron o lo que estas representan (Mendiola, 2002).

El estilo gráfico-rupestre es el patrón homogéneo de la forma cultural rupestre que refleja pautas de conducta social ubicadas en un mismo tiempo y espacio. La observación de las regularidades morfológicas-técnicas internas de dicha forma, asociadas externamente al contexto natural y cultural, muestra como la gráfica rupestre respondió a necesidades estético-utilitarias de representación, conocimiento y control de la realidad por parte de una sociedad o grupo cultural determinado (Mendiola, 1994). El arte rupestre es en parte cosmovisión y forma de ver el mundo, plasmado por las sociedades del pasado.

# Capítulo 2

## Marco de referencia

## **2.1. Baja California**

### **a) Fisiografía.**

La península de Baja California tiene una longitud de aproximadamente 1300 kilómetros y una anchura máxima de 240 kilómetros en su límite norte, que se va estrechando hacia el sur, volviéndose a ensanchar en su parte media de punta Eugenia a punta San Francisquito, alcanzando nuevamente la anchura de la parte norte. La menor estrechez se encuentra en el extremo occidental de la bahía de La Paz y el Pacífico con solo 30 kilómetros (Wiggins, 1979). Las líneas de costa tanto del golfo como del Pacífico cuentan con numerosas ensenadas, bahías y pequeños promontorios o puntas.

El complejo cristalino, columna vertebral de la península ha sido dividido en varias unidades orográficas, las que sobresalen por su altitud: de norte a sur, sierra La Rumorosa, que se extiende desde la frontera con los Estados Unidos, sierra de Los Cucapás que son parte de la sierra de Juárez, con una elevación de 1400 metros; la sierra de San Pedro Mártir, que alcanza 3070 metros de altura en el Picacho del Diablo; sierras de La Asamblea, 972 metros; sierra de Calamajué, 1658 metros; sierra de San Borja; sierra Piñami; sierra Calmalli, 1070 metros y sierra La Purificación, 1367 metros (López Ramos, 1973).

En Baja California existen lagos efímeros y pozos que se reabastecen en las estaciones normales de lluvia, se secan poco después de este período y pueden permanecer secos por varios años sucesivos. Las mayores fuentes de muchos y pequeños charcos incluyen a la laguna Hanson al norte de la sierra de Juárez; Laguna Salada o Maqueta, entre esta cadena y la sierra de Los Cucapás.

### **b) Contexto geológico.**

La península la conforma un batolito de probable edad Jurásico tardío-Cretácico incipiente que formó parte del continente mediante el proceso de formación de la

Sierra Madre Occidental. Subsecuentemente a la formación de este batolito se iniciaron numerosas zonas de fallas diastróficas; la principal recorre longitudinalmente toda la península y es cortada por otras en ángulos variados. La falla que ahora ocupa el golfo de California tiene su origen en el Terciario de acuerdo con Willis (Wiggins, 1979).

King (1939) afirma que la actividad volcánica fue muy marcada en el Cretácico y posiblemente fue aún más fuerte en el Terciario medio. El Golfo de California ha fluctuado en tamaño desde la primera inmersión de su actual extremo sur; Bush (Wiggins, 1979) menciona que su primera inmersión a la altura de Salton Sea ocurrió en el Mioceno medio. La barrera entre Salton Basin y el actual Golfo de California pudo haberse formado ya sea por los depósitos deltaicos aportados por el río Colorado o por el levantamiento influido por la acción de una cresta, o bien por la acción combinada de ambos agentes.

Willis (1938) considera que Baja California es el resultado de una actividad volcánica tectónica de gigantescas proporciones que desprendió una franja de la masa continental mexicana, a la vez que causó un levantamiento de la corteza terrestre. Se calcula que el deslizamiento tectónico que ocasionó esa fractura geológica comenzó hace aproximadamente 250 millones de años y que la península aún continúa desplazándose en dirección noroeste a razón de 5 cm en promedio anual.

Las fuerzas erosivas que operan en la península han sido excesivas como lo indica la profundidad de los arroyos, la presencia de cantos rodados de gran tamaño y lo recto de sus cañones que cortan las montañas.

### **c) Drenaje fluvial.**

En la península la gran mayoría de los arroyos son angostos y casi rectos. Los que corren hacia la vertiente del Pacífico son muy largos y tienen una ligera inclinación y los que drenan al Golfo son más cortos y abruptos.

### **d) Clima.**

El medio ambiente en la península es muy variado, las temperaturas son más elevadas a lo largo de las costas del golfo que sobre la vertiente occidental, en igualdad de latitudes; las temperaturas de congelación no son frecuentes, sin embargo llegan a presentarse algunas nevadas en las crestas de las sierras de Juárez y San Pedro Mártir, fortuitamente en las sierras de La Laguna y La Victoria en la región del Cabo. En la mayor parte de la península predominan las condiciones de aridez (Wiggins, 1979).

De acuerdo con Vivó (1972), en la península se conjuga la influencia de dos celdas meteorológicas; la tropical y la templada, y la zona intermedia de convección ascendente, todo ello a causa de la extensión tan vasta del territorio entre los paralelos 32° y 23° norte, que rebasa los 9° de latitud eslora; así la porción noroeste sostiene un régimen pluvial de invierno dado por la influencia de los frentes fríos en esa estación; en el sureste los vientos alisios y básicamente los ciclones tropicales determinan la lluvia a finales de verano, predominantemente en otoño; el clima es de humedad moderada, templado en las montañas (CW 'a) y tropical en las llanuras (AW '). En el resto de la península las lluvias son ocasionales y predomina la sequía, el clima es seco estepario (BS) y seco desértico (BW).

La zona de estudio se encuentra comprendida a partir del límite oeste de la Laguna Salada, en la ladera oriental de la sierra de Juárez (La Rumorosa) hasta alcanzar los 1300 metros sobre el nivel del mar (msnm) y desde la frontera norte con Estados Unidos de América hacia el sur a la misma latitud del Cañón de Guadalupe este oasis se encuentra a 5 msnm (Figuras 2.1 y 2.2). El clima de acuerdo con Köppen (modificado por E. Garcia, 1979), en el área de estudio se interdigitan los climas BW hs (x') y BW hw (x')(e'), muy áridos o desérticos semicálidos, con temperatura media anual entre 18 y 22° C, inviernos frescos. Las estaciones de lluvia en el invierno w(x'), se mezclan con las de verano s(x'), comprendiendo las laderas orientales de la sierra.



**Figura 2.1** Ubicación regional de la zona de estudio y de los sitios arqueológicos comprendidos en este estudio.



**Figura 2.2** Vista del oasis del Cañón de Guadalupe, al fondo La Tinaja Partida.

### **e) Vegetación.**

Se encuentra bosque de pino ya definido a partir de los 1200 msnm. Las especies dominantes de los bosques de montaña es *Pinus jeffreyi*, *Pinus monophylla* y *Pinus quadrifolia* ocupan áreas considerables así como también *Juniperus*, además se presenta matorral bajo o chaparral, chamizo, la manzanita, el encinillo, la guata y la yuca (palmilla), el agave y algunas cactáceas como el nopal, la cholla y la pitaya, este último bioma se encuentra flanqueando la vertiente oriental de la sierra de Juárez, desde el nivel del mar hasta los 1300 msnm.

### **2.2. Bosquejo histórico.**

Con el fin de llegar a un conocimiento integral, se procedió a obtener todos los datos posibles, desde los más antiguos hasta los más recientes del período prehispánico y colonial y de cualquier clase del área en cuestión,

Al norte del estado de San Luis Potosí, hacia finales del Pleistoceno y con un período muy amplio hasta 5,000 años a.C., durante este tiempo grupos de nómadas de cazadores y recolectores determinaban su ciclo nomádico de acuerdo con la producción silvestre de alimentos y la estación anual.

Hacia 5,000 a 2,000 años a.C., por esas mismas fechas aquellos hombres pintan en los riscos de piedra de las barrancas o en las cuevas donde tenían sus refugios, bellos motivos con escenas de cacería, guerras y múltiples representaciones animales, vegetales y objetos de uso diario, así como las que quizá sean sus primeras representaciones abstractas de los fenómenos naturales como el sol, la luna, el rayo, las estrellas, etcétera.

Por lo que respecta a las pinturas rupestres de las cuales existen valiosos ejemplos en el estado y que para situarse en el Gran Tunal se pueden mencionar las de Guadalcázar, es necesario señalar también hechos a la fecha y que estas fueron elaboradas en diversos períodos que van desde el Cenolítico superior (9,000 a 7,000 años a.C.) hasta el Posclásico y en las cuales, si es

más evidente el cambio de estilos y motivos. En las pinturas de Guadalcázar es notorio el empleo del arco y la fecha, así como el de refugios construidos por la mano del hombre, lo que señala una manufactura tardía.

Hacia finales de la fase Reyes, esto es por el siglo XII, nuevos movimientos de pueblos nómadas invaden el Gran Tunal, estos bárbaros chichimecas, los huachichiles últimos habitantes prehispánicos del Gran Tunal y contra los que pelearon los conquistadores sin lograr vencerlos del todo. Quachichil, en náhuatl, significa “gorrión”, de quatil, cabeza y chichiltic, cosa colorada o bermeja, denominación que aludía a la forma como se envigaban de rojo el cabello esos bárbaros. Algunos usaban unos bonetillos puntiagudos de cuero colorado; de ahí la apariencia de gorrión. Moraban en cuevas y peñascos, algunos hacían chozas de paja y pequeñas sementeras de maíz. El untarse almagre u otros minerales negros o amarillos en sus cuerpos fue razón más que de sobra para que los españoles supusieran la existencia de minas en la Gran Huachichila. Sobre sus costumbres, sabemos que cuando estaban de luto se trasquilaban y tiznaban de negro, que no enterraban a sus muertos, sino que los quemaban y las cenizas las guardaban en un costalito que llevaba consigo (Meza, 1981).

Es poco lo que se documenta sobre el arte rupestre en el estado de Baja California y no sólo de este estado, si no también del resto del país. Se considera la parte septentrional del país como terreno virgen para el estudio de la manifestación rupestre, las pocas publicaciones sobre el tema esta ligado a las pocas investigaciones arqueológicas realizadas concretamente sobre el tema.

Se da información sobre las dimensiones espacio-cultural-temporal y sus aspectos generales sobre el medio ambiente, las culturas arqueológicas e histórico-coloniales y períodos de desarrollo, regiones naturales con cinco áreas arqueológicas establecidas para Chihuahua caracterizado de manera general su gráfica rupestre, una explicación y/o interpretación de los elementos gráficos rupestres más sobresalientes, sus relaciones culturales, morfológicas y estilísticas, orden del establecimiento de estilos gráfico rupestres y de conducta

social de los grupos creados de esta forma cultural, además información de los sitios más importantes de los Estados Unidos, principalmente de Nuevo México y Texas (Mendiola, 2002).

Trata la época prehispánica hasta el siglo XVIII de los grupos de recolectores-cazadores nómadas y seminómadas que habitaron el semidesierto de Querétaro y la sierra Gorda. A partir de sus vestigios materiales se investigó su forma de vida, como interactuaban con el entorno, relaciones con sus vecinos mesoamericanos y de probable afiliación étnica de los grupos que enfrentaron a los españoles en el momento del contacto, como fue su convivencia con sus vecinos primeramente mesoamericanos y más tarde otomíes y españoles. Sobre las macrobandas comenta que acostumbraban “mucho embijarse, que es untarse colores con almagre colorado y otros minerales de ellos negros y amarillos”, como un distintivo de pertenencia al grupo. Menciona que alrededor de 80 sitios con pinturas rupestres de la parte central norte, respondían a rituales con distintas motivaciones posiblemente funcionaran como marcadores de territorios, registro de eventos históricos o astronómicos, cuentas lunares, etc. (Viramontes, 2000).

El problema con todas las culturas de más de 12000 años de antigüedad en esta parte del mundo, es probar si realmente existieron o no. Del período Paleoindígena se cuenta con escasa evidencia arqueológica. En el centro de la península de Baja California se ha reportado el hallazgo de una punta de lanza o de dardo que muestra las características del estilo Clovis. Otras evidencias han sido reportadas en el sur de California, Nevada y Arizona, Estados Unidos, con esto se propone la existencia de una temprana y breve ocupación de Baja California por cazadores de megafauna, organizados en pequeños grupos, sin arraigo, se mantenían en continuo movimiento siguiendo a la megafauna del Pleistoceno, esto resulta ser una mera especulación con base en una sola punta del estilo Clovis. Otro complejo paleoindígena, llamado San Dieguito o Lago Mohave ofrece más evidencias aunque también es altamente especulativa, empezaron a diversificar sus habilidades y a explotar en forma más extensa los recursos del medio ambiente.

Para el período Arcaico, que comprende un lapso desde 8,000 años hasta hace 1,500 aproximadamente. Los grupos arcaicos que formaron los depósitos de conchas de moluscos en las costas de Baja California, la península es mejor conocida por su espectacular arte rupestre. El período de la prehistoria tardía, que inicia hace 1,500 años, mostró cambios más revolucionarios, en este período probablemente fue en el que floreció la pintura rupestre representativa, cuando los misioneros llegaron, este movimiento artístico parece ser ya que era cosa del pasado. En algunas regiones, en la parte tardía del período Arcaico aparecieron el mortero y el procesamiento de la bellota (Figura 2.3), otras innovaciones fueron el arco y la flecha que permitieron mejorar la cacería y la guerra, la cerámica posibilitó la conservación y transporte de combustibles y agua, la introducción de la agricultura promovió aún más la sedentarización de poblaciones, la exclusividad territorial y la diferencia social. Los sitios de este período ofrecen la posibilidad de estudiar e interpretar la extensión de innovaciones tecnológicas y las posibilidades de reconstruir las rutas de intercambio de obsidiana, de cerámica y de moluscos (Laylander, 1999).

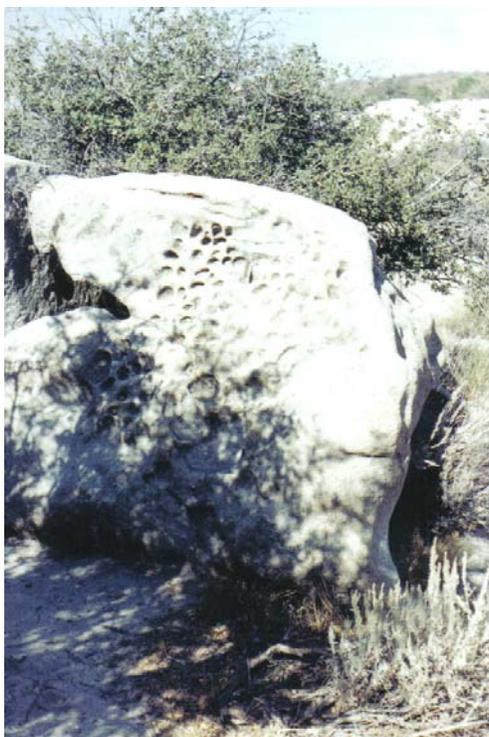


**Figura 2.3** Morteros en roca. Sitio arqueológico El Vallecito.

En un documento de Baja California sobre la búsqueda de los primeros pobladores, se presenta una breve revisión de los hallazgos arqueológicos relacionados a los tempranos moradores de la península, esto es hace más de 8000 años, enfocándose en una de las áreas más estudiadas La Laguna

Chapala, B.C. La visión expresada es conservadora, cautelosa y basada en el cuestionamiento. Las primeras poblaciones peninsulares eran escasas y se caracterizaron por una alta movilidad logística y residencial sobre una amplia región. La unidad social y económica consistía probablemente de un grupo de varias familias extendidas. Los campamentos, como ilustran los de Baja California parecen haber tenido vidas cortas y la tecnología sugiere el uso de objetos de piedra portátiles y durables de materiales de buena calidad. Una hipótesis digna de probar es que en tiempo del Holoceno medio, las áreas interiores eran poco usadas, un patrón que persistió hasta tarde en la prehistoria, cuando adaptaciones en el desierto correspondía a una mayor adquisición de alimentos con regularidad, más fertilidad, bajos índices de mortalidad y aumento dispersión poblacional concomitante (Ritter, E.W., 1999).

El concepto de arte rupestre con dos tipos distintos de manifestaciones prehistóricas sobre la superficies de las rocas, los grabados o petroglifos y las pinturas o pictogramas, actualmente se incluyen en este término los geoglifos y los hoyuelos (Figura 2.4). En el norte del estado de Baja California, en sitios con



**Figura 2.4** Hoyuelos en un bloque rocoso. Sitio arqueológico El Vallecito.

diseños, de sociedades del pasado, pintados o grabados sobre peñas o lechos de roca, diseños sencillos, como líneas, cuadros, círculos o representaciones reconocibles de humanos o animales. Los colores más comunes que se utilizaron en las pinturas fueron el rojo y el negro, y en menor cantidad blanco y amarillo.

Debido a lo escaso de las investigaciones arqueológicas, la imagen que tenemos de los artistas prehistóricos proviene directamente de estudios etnográficos realizados con los descendientes de los antiguos pintores. Dos familias lingüísticas, están presentes en Baja California, el yumano y el cochimi. Los habitantes del interior de Baja California fueron esencialmente cazadores y recolectores, estaban organizados en comunidades pequeñas que practicaban la exogamia y eran patriarcales, compuestas por unas cuantas familias; el movimiento de estas era cíclico dependiendo de las temporadas de maduración de los alimentos silvestres que recolectaban. Los indígenas del delta también cazaban y recolectaban flora y fauna silvestre, y para completar su alimentación, sembraban maíz, frijol y otras plantas que podían ser irrigadas por las inundaciones del río Colorado.

La antigüedad del arte rupestre de Baja California es difícil de conocer, ya que no se encuentra asociado con capas estratificadas de sedimentos, sino que se halla sobre la superficie de paredes rocosas. Sobre la base de estudios realizados hasta ahora, se cree que la mayor parte de los pictogramas que se ubican en Baja California fueron elaborados en los últimos 1,000 años. El significado pudiera ser la fertilidad humana, éxito en la cacería, marcadores del solsticio y orientado hacia lo sobrenatural (Bendímez, J y Laylander, D. 1999).

Los bosquecillos de encinas constituían la parte más preciada de los territorios tribales, la bellota fue uno de los complementos alimenticios para la población nativa. Previo a su uso, cada bellota debía ser abierta, golpeando con una piedra la dura cáscara. Las semillas se dejaban remojando en agua por un día y después se reducían a harina en un mortero. La harina de bellota, aunque de alto valor nutritivo, posee ácido tánico que le da un sabor amargo. Para eliminarlo, la harina, metida en una canasta de tejido cerrado, se lavaba

repetidas veces en un arroyo hasta que el ácido, puesto en solución, desaparecía. Así tratada la harina estaba lista para preparar con ella una papilla espesa, base de la alimentación en California, que se cocía dentro de una canasta usando el método de los pueblos sin cerámica, que consiste en introducir piedras calientes en recipientes que no pueden ponerse directamente al fuego (Jiménez, I. 1993).

Se usaban tanto el metate como el mortero, pero mientras el primero servía para moler gramíneas silvestres, el segundo era usado para machacar el grano oleaginoso de la bellota. Había morteros de madera y de piedra, pero a menudo se usaba un afloramiento rocoso en la vecindad de la aldea para picar sobre el, oquedades que eran usadas como morteros por las mujeres que se unían para realizar la molienda. Como mano se utilizaba un guijarro de tamaño y forma conveniente. Pequeños morteros de piedra se usaban para pulverizar pigmentos y machacar plantas con fines medicinales (Jiménez, I. 1993).

Los hombres dedicaban buena parte de su tiempo a las actividades de caza y pesca. Se hacían batidas para cazar al venado despeñándolo o acorralándolo contra palizadas para después flecharlo, o bien se le perseguía día y noche no dejándolo comer ni dormir, hasta que rendido de cansancio era fácil presa. A los conejos se les espantaba y cuando huían a plena carrera, se encontraban con redes escondidas en la maleza, en las cuales se trababan y eran rematados con mazas de madera. La superficie del agua se peinaba con redes tendidas en un armazón de vara para atrapar pequeños peces (Jiménez, I. 1993).

Las conchas de los moluscos han desempeñado un papel muy variado a lo largo de la historia, han sido utilizadas como fuente alimenticia, como objeto de trueque, ornamental, ritual y utilitario en diversas actividades de la vida cotidiana, la presencia de conchas en sitios arqueológicos nos proporciona una gran cantidad información cultural sobre los antiguos asentamientos humanos; la palabra conchero conlleva la existencia de grandes depósitos de conchas de moluscos de agua dulce o marina producto de la actividad humana. En Baja California se localizan en forma intermitente a lo largo de sus costas, tanto en el

golfo de California como en el Pacífico, siendo más escasos y menos espectaculares los situados hacia las zonas, donde comúnmente se localiza en los pisos de resguardos o cuevas poco profundas (Téllez Duarte, 1999).

Alarcón zarpó de Acapulco en el mes de mayo de 1540 y llegó a su destino en agosto. Subió por la corriente fluvial, navegó a través de los meandros cercanos al estuario y tuvo contacto con grupos aborígenes establecidos a lo largo del río llamado por el de la Buena Guía, los indígenas con los que Alarcón trató e intercambio de alimentos eran según el, altos esbeltos, andaban semidesnudos, pintados de caras y cuerpos y adornados con pedacería de concha (Álvarez de Williams, 1975).

La sociedad cucapá, “tribu con pocos elementos de cohesión, desprovista de poder centralizado, sin otra institución permanente que la familia y organizada en bandas acostumbradas a errar en busca de alimentos. Sus miembros, poseedores de herramientas rudimentarias que no les permitieron transformar la naturaleza, estaban sujetos a los cambios periódicos del río Colorado y dependían casi por completo de los alimentos disponibles en su hábitat, obtenidos por medio de la caza, la pesca, la recolección y una incipiente agricultura” (Nelly, 1977).

Las sociedades yumanas habitaron el norte del estado, aproximadamente desde lo que hoy en día es San Quintín hasta la zona de Escondido en California; por el este, desde un poco al sur de San Felipe hasta la región sureña del estado de California y zona suroeste de Arizona, sociedades que se desarrollaron principalmente en las zonas de las montañas hasta las costas, como son los del habla kumiai, pai pai y kiliwa y las sociedades que habitaban principalmente la región del delta del río Colorado, como son los cucapá. Las sociedades cucapá y las otras dos de lengua similar jalicwamai y kwan, vivían en lo que hoy es Mexicali y la zona deltaica. La estructura política y social de las comunidades yumanas se basaban en organizaciones conocidas como *chumuls*. Las comunidades lingüísticas pai pai, kumiai y kiliwa, se subdividían en *chumuls* que eran una especie de clan cuyos miembros ocupaban y utilizaban territorios específicos. Los *chumuls* estaban formados por un determinado número de

familias patrilocales y exogamias, que totalizaba en ocasiones más de cien personas. Estas comunidades tenían líderes que el caso de chumuls de habla kumiai, se denominaban kwaipai, heredaban su oficio o en algunos casos, eran seleccionados por miembros del chumul (Laylander, 1987).

En el territorio chumuls existían asentamientos en ojos de agua o en arroyos donde vivían un tiempo prolongado, durante meses en los cuales no existía escasez de alimentos (Michelsen, 1977, Laylander, 1987). Los chumuls no representaban una agrupación lingüística unida como nación, sino que eran comunidades que tenían derecho a cierto territorio, vía parentesco, y que defendían si era menester. Los chumuls de la zona pai pai compartían su territorio con otros chumuls con los cuales estaban aliados y con los que mantenían intercambio de compañeros para el matrimonio (Michelsen, 1977).

En las sociedades de la zona del río Colorado se detecta una organización política a un nivel más parecido al tribal, donde los chumuls no eran autónomos, los cucapá formaban una nación en el caso de guerra (Laylander, 1987). Los grupos kwan y el jalicwamai que habitaron al norte de los cucapá, también eran unidades políticas autónomas al mismo nivel que los cucapá. Los kumiai del desierto, parientes lingüísticos de los de la sierra, que llegaron a habitar lo que hoy en día es el Valle Imperial y también estaban bajo un solo líder.

### **2.3. Registro de sitios arqueológicos.**

El registro de sitios arqueológicos consiste en la localización, croquización, dibujo, descripción y fotografía del sitio arqueológico, considerado este como aquel espacio en donde la evidencia arqueológica, es decir, el material en contexto de desuso hecho o modificado por la mano del hombre, ya sea desde los restos de un fogón o bien los restos de estructuras arquitectónicas, que se observa inicialmente en superficie. De acuerdo con esta definición los límites que se establezcan para un sitio arqueológico se hallan en función de la evidencia material que se observe sobre la superficie. Después del registro, se

procede a su delimitación para ello se llevan a cabo trabajo de gabinete que consiste en recopilar información, consulta a mapas y fotografías aéreas, etcétera y el trabajo de campo consiste en inspeccionar el área por los arqueólogos para poder delimitar el sitio, elaborar los planos o poligonales que representan gráficamente los límites del sitio (Gloria, 1999).

Hasta 1994 se habían registrado, cedulao, fotografiado y dibujado unos trescientos cuarenta y dos sitios, abarcando desde la zona fronteriza con Estados Unidos hasta el paralelo 28 en la sierra de San Borja y una zona de la misión de Santa Gertrudis en el sur, cuando se tiene el conocimiento de un sitio casi siempre se localizan otras dos o más. El objetivo principal del proyecto es de realizar el registro sistemático de cada uno de los sitios arqueológicos y paleontológicos existentes en el estado de Baja California.

Durante el registro se detectó un sitio en peligro de desaparecer como es el sitio arqueológico El Vallecito y que fue intervenido bajo un proyecto específico de investigación arqueológica, ya se encuentra abierto al público pues cuenta con vigilancia permanente. A través de pláticas, cursos y conferencias a fin de crear conciencia sobre las manifestaciones rupestres, los problemas sociales que más afectan el arte rupestre es el vandalismo, la destrucción y saqueo (Serrano González, 1999).

La pintura rupestre es la expresión y sensorial de un contenido que se vincula con el mundo de las ideas reflejando de manera directa las condiciones sociales, económicas y anímicas del grupo que las produjo. Los trabajos llevados en el sitio. El Vallecito fueron con el fin de restaurar un conjunto con pictografía con el fin de dignificarlo y devolverle su antiguo esplendor, el vandalismo va desde somero hasta la destrucción total siendo sus efectos son de carácter irreversible; el vandalismo se manifiesta en la aplicación de pintura moderna con aerosoles, cubrimiento de hollín y encender fogatas dentro de los abrigos rocosos, incisiones y ranuraciones con objetos punzo cortantes, aplicaciones de crayón, gis, carbón, lápiz labial, pintura en aceite y vinílicas, remoción total de pinturas desprendiéndolas de la matriz y otras, tanto en los

conjuntos con diseños como en las rocas que conforman el entorno de un sitio (INAH, 1999).

La restauración es una operación especial de la conservación y es la actividad u operación que se realiza físicamente sobre el objeto cultural, destinada a salvaguardarlo, mantenerlos y prolongar su permanencia para transmitirlo al futuro. El proceso de restauración completa comprendió dos fases: la limpieza y la consolidación. La limpieza consistió en retirar físicamente todos los agregados de pintura moderna. El problema de agrietamiento y pedazos de roca que se han colapsado de la matriz, se trató a través de resanes, al término de los trabajos de restauración, se aplicó a todos los diseños tratados un consolidante compuesto a base de mowital al 10% mismo que asegura su permanencia y resistencia a los cambios climáticos. Además debemos de consolidar otros factores de destrucción de los sitios como es el saqueo y remoción total del contexto (INAH, 1999).

#### **2.4. La degradación química del hueso.**

La transición del hueso verde al hueso seco, la degradación química del hueso arqueológico, las interacciones iónicas, así como del mineral del hueso, que forman bloques y son cristales sumamente pequeños con forma de plato, de una forma carbonatada de hidroxiapatito no estequiométrica,  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$  (Le Geros, 1981; Lowenstam Weiner, 1989), o apatito del hueso. Los cristales de apatito del hueso tienen superficies muy reactivas, donde los iones  $\text{Ca}^{2+}$  o  $\text{PO}_4^{3-}$  están expuestos, el hidroxiapatito es isomorfo y puede sufrir reemplazo completo de algunos de sus iones  $\text{OH}^-$  con  $\text{F}^-$  esto conduce a la formación de fluorapatito. También es posible reemplazar o sustituir parcialmente el  $\text{Ca}^{2+}$ . De la asociación íntima entre el colágeno y el mineral del hueso la que soporta todos los mecanismos de preservación del hueso (Nielsen-Marsh, Gernaey, Turner-Walker, Hedges, Pike y Collins, 1997).

#### **2.5. Microscopía electrónica de barrido (SEM).**

El propósito de la técnica es la generación de una imagen de la superficie del sólido (muestra) y de imágenes de tres dimensiones muy detalladas en ampliaciones mucho más altas, la gama de la ampliación va de 5x a 650,000x y una resolución de 3 nanómetros, con el aditamento de rayos X es posible realizar un análisis elemental sobre la composición de la superficie, la superficie del sólido se barre mediante un rastreo programado, con un haz de electrones de energía elevada produciendo en la superficie diversos tipos de señales: electrones retrodispersados con evidencia sobre el número atómico y topografía, electrones secundarios con información topográfica de la muestra, electrones de Auger que contienen información sobre la composición de la superficie, fotones debido a la fluorescencia de rayos X útil para obtención de propiedades eléctricas.

El microscopio de barrido de electrones se fundamenta en los electrones retrodispersados y secundarios y en la emisión de rayos X, que se utilizan en el análisis con microsonda de electrones.

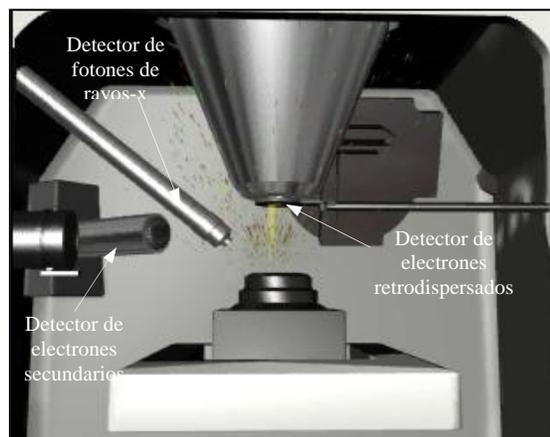
#### Descripción de la técnica.

Primero el aire es evacuado de la cámara. Segundo un cañón de electrones emite un haz de electrones de alta energía. Tercero, este haz viaja a través de una serie de lentes magnéticos diseñados para enfocar los electrones a un punto fino en el espécimen bajo en estudio, debiendo ser un conductor eléctrico. Cuarto los electrones que inciden sobre la superficie provocan eyección de electrones que se encuentran en las capas más externas de los átomos que componen la muestra (electrones secundarios). Al mismo tiempo electrones del haz incidente son reflectados después de interaccionar con la muestra. Los electrones secundarios y los reflectados son los que se analizan para generar imágenes de la superficie y por último la superficie de la muestra se barre con un haz de electrones y las respuestas obtenidas se amplifican para generar una señal de video que modula el brillo de un tubo de rayos catódicos empleado para producir la imagen.

## 2.6. Espectroscopia de análisis de dispersión de rayos X (EDX).

La mayoría de los electrones incidentes interactúan con los átomos de la muestra y son dispersados elástica e inelásticamente, en la primera la trayectoria del electrón cambia, pero su energía cinética y velocidad permanece esencialmente constante y en la inelástica, la trayectoria del electrón incidente es ligeramente perturbada, pero pierde energía a causa de su interacción con los electrones de la muestra.

Las interacciones inelásticas son las causantes de la emisión de rayos X; los electrones de las capas internas de la muestra, son removidas por causa de los electrones incidentes, dejando vacancias que son ocupadas por los electrones de las capas externas, que emiten una radiación característica (rayos X).



Estos rayos X son analizados y se registra el número de fotones en función de la energía, obteniéndose gráficos que muestran picos cuyas posiciones brindan información sobre los átomos presentes y cuyas áreas son proporcionales a la cantidad de dichos átomos en la muestra, obteniéndose información sobre la composición de la muestra. Dado que los haces incidentes tienen alta energía – típicamente 0.5 – 30 kV – penetran en la muestra distancias del orden de algunas micras y, por tanto, debe tenerse siempre presente que la composición obtenida corresponde a una capa de algunas micras y no meramente a la

superficie. La instrumentación para EDX es usualmente un accesorio de los microscopios electrónico de barrido.

## **2.7. Espectrofotómetro de transformada de Fourier**

La espectroscopia infrarroja es una técnica empleada principalmente en la elucidación de estructuras moleculares, aunque también se emplea con fines cuantitativos.

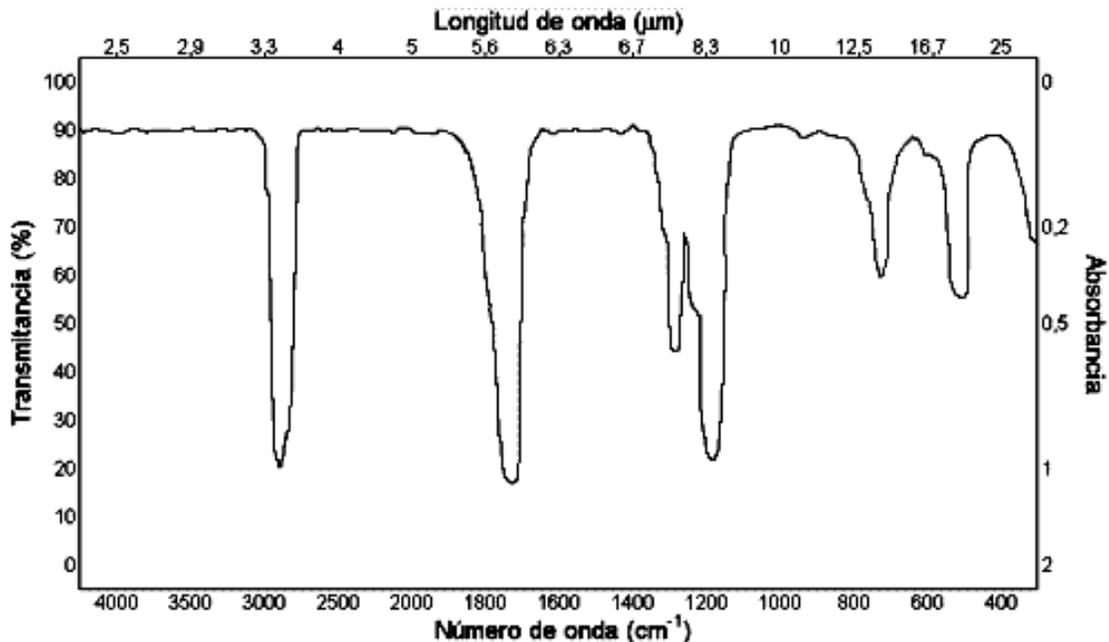
Esta técnica se basa en las distintas absorciones de radiación infrarroja que presentan los distintos grupos funcionales que puede presentar una molécula: con el espectro de infrarrojo se puede saber fácilmente el tipo de compuesto orgánico (alcohol, amina, ácido, etc.) e inclusive inorgánico, y con un análisis detallado de éste y su comparación con otros espectros catalogados, se puede en muchos casos elucidar completamente la estructura de la molécula.

Con los espectrómetros infrarrojos (IR) convencionales con monocromador era difícil de acceder a la región de 10 a 400  $\text{cm}^{-1}$  (IR lejano), por eso los primeros espectrómetros de transformada de Fourier (TF) se diseñaron para esa región. De cualquier modo este método hoy en día se ha extendido a aparatos que permiten barrer toda la región IR y en particular el IR medio que es la de mayor interés, brindándonos espectros como el que se muestra en la Figura 2.5. Actualmente los espectrofotómetros IR-TF han desplazado a espectrofotómetros con monocromador (dispersivos).

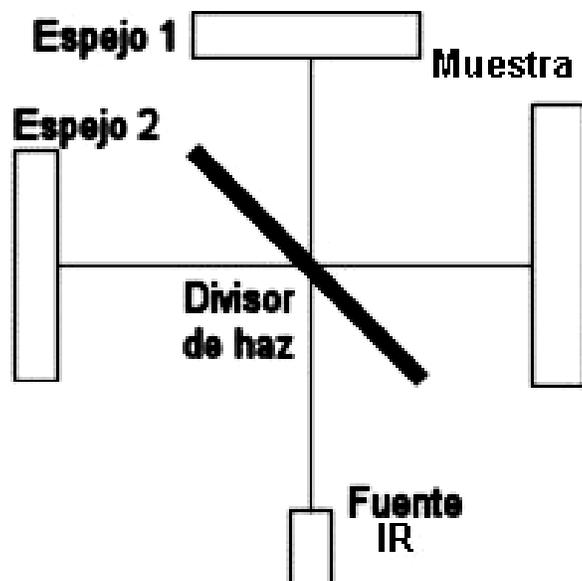
Este instrumento está basado en el principio de interferómetro de Michelson. Este interferómetro funciona del siguiente modo: la radiación primero golpea a un divisor o separador que escinde el haz de la luz en dos partes iguales (espejo semirreflejante).

Estos dos haces de luz interfieren en el divisor después en su viaje de vuelta cuando son reflejados sobre otros dos espejos. Uno dispuesto frente a la

trayectoria del haz original (espejo móvil 1) y el otro perpendicular (espejo fijo 2). En esta trayectoria se dispone la muestra y a continuación el detector IR (ver Figura 2.6)



**Figura 2.5.** Espectro infrarrojo. Los picos observados indican la presencia de determinados grupos funcionales. Por ejemplo, el pico a unos  $1700\text{ cm}^{-1}$  es característico de un grupo carbonilo.



**Figura 2.6.** Arreglo esquemático del principio de interferómetro de Michelson

La intensidad resultante de la superposición de los dos haces es medida como función del desfase ( $s$ ) del espejo móvil en su desplazamiento respecto la posición intermedia. El gráfico resultante (Intensidad vs. Desfase) se denomina interferograma.

La transformación de Fourier se usa como método matemático para el desarrollo en serie de la curva obtenida (interferograma). La transformada está constituida por el sumatorio de senos y cosenos de las distintas frecuencias ópticas que componen la radiación. Gracias a un programa de ordenador este tedioso cálculo matemático se simplifica y se obtienen resultados exactos y rápidos de las frecuencias elementales contenidas en el interferograma. La transformada de Fourier (o desarrollo en serie de Fourier) del interferograma es el espectro ordinario obtenido por aparatos convencionales IR.

En efecto, el interferograma contiene la absorción completa de la muestra descrita para cada longitud de onda por la correspondiente disminución de intensidad luminosa. El interferograma más sencillo corresponde a una radiación monocromática (una sola frecuencia), obteniéndose una curva función coseno de la frecuencia correspondiente. En cualquier interferograma cada punto contiene datos de todas las frecuencias que contiene el espectro completo y no de una sola frecuencia como en el espectro ordinario.

Así la información de una señal con forma de coseno en el detector (interferograma más simple) sería mostrada después de la transformada como una sola línea de un número de onda particular (luz monocromática de una sola frecuencia). Pero cualquier interferograma común es el resultado de la combinación de múltiples frecuencias que con la TF podemos descubrir.

Las ventajas del método de IR-TF son básicamente dos:

1. Se mejora la resolución de los espectros
2. Se obtiene mayor sensibilidad en la medición.

La mejora de sensibilidad es consecuencia de una mayor energía de flujo del haz de luz hasta llegar al detector y de la mejora de la relación señal/ruido (S/N) por promediación de interferogramas.

# Capítulo 3

# Metodología

### **3.1. Introducción**

El arte rupestre en el estado de Baja California es abundante, pero los sitios en los que este se encuentra están dispersos y alejados unos de otros por lo que se procedió a seleccionar las regiones arqueológicas (Tecate, 1994), más convenientes para la toma de muestras. Esta selección se basó en primer lugar en que su manifestación fuera abundante y en segundo lugar considerando su fácil acceso. Las regiones de la Rumorosa y del Cañón de Guadalupe cumplieron con estos dos requisitos, sobre todo la primera, además de su cercanía con la ciudad de Mexicali, en donde se encuentra ubicado el Laboratorio de Corrosión del Instituto de Ingeniería de la UABC, donde se llevaron a cabo la mayoría de los análisis, interpretaciones y el resto de los trabajos de gabinete.

De la región de La Rumorosa, se escogieron 10 sitios y dos de la región del Cañón de Guadalupe.

Se propuso una metodología que permite analizar las pinturas rupestres; en particular las propiedades físicas y la composición química del sustrato rocoso y las pinturas.

Primero se estableció una nomenclatura para codificar y nombrar todo este material para su fácil identificación y manejo adecuado.

La muestra de la pintura se obtuvo en pequeños fragmentos de roca. Para cumplir con los objetivos fue necesario obtener: muestras de pintura; de roca; toma de fotografías de los paneles pictóricos; de las rocas; de las muestras de roca con pintura; de las secciones delgadas vistas a través del microscopio, micrografías.

Los resultados parciales se obtuvieron a través de espectros de EDX con tablas de porcentaje de ocurrencia de los elementos químicos determinados y descripciones petrológicas principalmente.

### **3.2. Nomenclatura**

Las muestras fueron documentadas utilizando claves que iniciaban con las letras PR mayúsculas que significan “Pintura Rupestre” seguida de un guión. Posteriormente se ponía la primera letra de cada nombre con mayúsculas del sitio arqueológico; por ejemplo para el sitio arqueológico El Vallecito; se presentó de la siguiente manera: PR-EV., si las iniciales coincidían con las de algún o algunos otros sitios arqueológicos ya descrito, se procedía a establecer su o sus abreviaturas para evitar confusiones.

Algunos de los sitios arqueológicos cuentan con uno o más “Conjuntos”, cada conjunto son manifestaciones de arte rupestre muy cercanas unas de otras, dentro de la misma área del sitio arqueológico, entonces en seguida de las iniciales o abreviaturas del sitio, se pone la palabra Conjunto abreviada e iniciando con mayúsculas como sigue: Conj., en seguida de esta abreviatura se ponen la o las iniciales o abreviaturas del nombre del conjunto; por ejemplo: El Hombre Enraizado, entonces quedaría: PR-EV. Conj. EHE, si hubiera algún o algunos otros conjuntos del mismo sitio arqueológico que coincidiera su o sus primeras letras de cada nombre, se procedería abreviar la o las palabras.

Si la muestra, fotografía, análisis, resultado, reporte, etcétera, se relaciona con algún color, entonces; en seguida de la clave se pone con minúscula la primera letra o letras en caso que este seguida de un adjetivo seguida de una diagonal y se pone la o las primeras letra del color en el idioma inglés de acuerdo a su gramática, esto es para evitar alguna confusión, por ejemplo: rojo/red esto quedaría r/r; rojo oscuro/dark red, esto se pondría ro/dr; otro ejemplo: sitio arqueológico El Vallecito Conjunto El Hombre Enraizado color rojo, esto quedaría PR-EV, Conj. EHE r/r y para el sitio arqueológico Piedras Gordas, color rojo oscuro; esto quedaría PR-PG, ro/dr o bien si fuese para designar una muestra (mstra); petrografía (ptrgfía);

Después de las siglas del color, se continúa con las siglas o abreviaturas en minúscula del estudio, espectro obtenido por dispersión de rayos X (espdisprx); si se trata de una micrografía o microfotografía tomada con el microscopio electrónico de barrido (microgfísem) o si hablamos de una fotografía tomada a través de un microscopio petrográfico (fmp) con luz

polarizada (lp) o luz natural (ln) esto quedaría fmp lp o fmp ln o tan sólo con un microscopio estereoscópico (microest#x) donde #x es el número de aumentos a los que se tomó la fotografía, si se generan varios documentos de un mismo tipo de análisis, después de la abreviatura se le va agregando el número asignado al reporte o documento.

### **3.3. Descripción del sitio arqueológico.**

La descripción del sitio arqueológico se llevó a cabo bajo tres enfoques principalmente el petrológico, el biológico y el arqueológico, Primero se exploró detalladamente el sitio arqueológico y sus alrededores, tratando de establecer sus límites para determinar su morfología estableciéndose si se trataba de un abrigo rocoso es decir un conjunto de dos o más bloques rocosos, de un bloque o canto rocoso aislado o si se trataba de una cueva.

Con una idea clara de su morfología y entorno, se hizo una descripción megascópica detallada de la roca que constituía el abrigo rocoso, bloque o canto rocoso o cueva, destacando el color, textura, estructura, minerales, alteraciones, composición, matriz, etc., y se seleccionaron el o los sitios para la toma de muestras de roca y muestra de la pintura, priorizándose cada uno de ellos.

El aspecto biológico, se relacionó a la presencia de desarrollos de microorganismos, o crecimientos vegetales en la superficie rocosa del sitio arqueológico. Si la superficie rocosa se encontraba alterada por estos organismos, se determinaba el área y el grado alteración.

Los paneles pictóricos fueron analizados detalladamente hasta determinar toda su magnitud, se registraron los colores y sus tonalidades (oscuros o claros), se estableció si existían sobre imposiciones, estas influían en el número de muestras a tomar, se revisó la lítica, principalmente los instrumentos de molienda como son los morteros, metates y manos buscando la posible existencia de residuos de molienda, tanto los morteros como los metates. Generalmente estos se encontraban fijos en la superficie rocosa en o en los

alrededores del sitio arqueológico, en la mayoría de los sitios visitados presentaban trozos de cerámica.

Por último, se obtuvo un inventario fotográfico, toda la película utilizada fue de color. Los paneles pictóricos se fotografiaron con un traslape de una fotografía a otra, este traslape era tanto lateral como hacia arriba y hacia abajo, hilvanando una fotografía con otra, estas se sobreponían usando uno o más puntos comunes, tratando de incluir todos los detalles minimizando en lo posible la deformación de las figuras de los paneles pictóricos. También se obtuvo una evidencia fotográfica de la morfología del abrigo o bloque aislado o cueva, visto de todos los ángulos posibles para tener una idea clara de las formas de todo su contorno.

### **3.4. Muestreo de la pintura**

En las regiones arqueológicas bajo estudio la roca se encuentra expuesta a la superficie predominantemente es de tipo ígneo intrusivo. En esta roca podemos encontrar las manifestaciones rupestres, siendo común que esta roca presente una exfoliación concéntrica. La superficie idónea para la toma de la muestra con pintura era donde se encontraba parcialmente fracturada y/o exfoliada, estos dos fenómenos provocaban la existencia de fragmentos de roca parcialmente desprendidos a punto de caer, aprovechando este escenario para el muestreo, que consistió en la mayoría de las veces sólo en desprender el fragmento previamente seleccionado.

La muestra de roca con pintura, se obtuvo utilizando un martillo de 100 gramos y un juego de cinceles con aristas de corte de tres, cinco, siete, 10 y 15 milímetros, bolsas plásticas con cierre hermético tipo cremallera con etiqueta impresa, de dimensiones de 20 por 20 centímetros de fondo.

La apertura de la bolsa de 20 centímetros cubría holgadamente los alrededores del punto a muestrear y dada la flexibilidad del plástico, se pegaba perfectamente el límite de la boca de la bolsa a la superficie de la roca, donde se localiza la pintura, evitando perder la muestra y se tenía una visual continua

debido a lo transparente del plástico, durante el proceso de obtención de la muestra.

Se rotuló la bolsa donde se alojó la muestra de acuerdo a la nomenclatura antes mencionada y se elaboró una nota comentando los detalles de la figura de la cual se obtuvo la muestra, además de registrar la fecha del muestreo y por último se fotografió el punto de muestreo.

Las dimensiones de las muestras obtenidas se encontraron entre los siguientes rangos: de tres a 10 mm de ancho, de cinco a 10 mm de largo y un espesor entre dos y cuatro mm.

### **3.5. Muestreo de la roca.**

Para cada sitio donde se tomaron muestras de pintura, se tomó una muestra de roca para realizar el análisis petrográfico, seleccionando sitios fuera del área de pintura. El tamaño de esta muestra amorfa fue de aproximadamente: 10 cm de largo por siete cm de ancho y con un espesor entre los cuatro y los seis cm. Estas muestras fueron colocadas en bolsas de polietileno previamente rotuladas de acuerdo con la nomenclatura establecida, registrando la fecha del muestreo.

### **3.6. Trabajo de laboratorio.**

En el laboratorio se generó evidencia fotográfica de 3.0 a 4.5 x, de cada una de las esquirlas de roca con pintura obtenidas en los sitios arqueológicos seleccionados, utilizando un microscopio estereoscópico de 4.5x marca VWR, un trípode que sostenía una cámara fotográfica marca Nikon; modelo 3200, zoom 3x y 3.2 megapíxeles.

Para las muestras de roca se obtuvieron fotografías utilizando solo el trípode y la cámara fotográfica; en ambos casos se aplicó la nomenclatura ya mencionada para la rotulación de la fotografía y nombramiento del archivo.

Las muestras de roca, se partieron en dos porciones, empleándose una porción para la elaboración de la sección delgada y la otra porción como testigo para futuros estudios o aclaraciones.

Para la elaboración de las secciones delgadas se empleo una de las dos porciones de roca, de la cual se obtuvo una esquirla de roca con una superficie lisa apta para ser colocada sobre un portaobjeto, esta puede ser obtenida del aferramiento directamente o bien alisada, una esquirla ideal tiene una superficie de dos 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 ligeramente mayor el del Lakeside 70.

La esquirla de roca ya pegada al portaobjeto, se paso a la pulidora utilizando carborundo y esmeril del grano más grueso al más fino, hasta obtener un grueso de unos 0.03 mm, espesor que debe ser uniforme en toda la lámina delgada. Las muestras fueron lavadas para librarlas del polvo residuo de pulimentar y secadas. Se unto Lakeside 70 o bálsamo de Canadá calientes y se cubrieron con un cristal cubreobjetos cuyo espesor es de 0.17 mm o menor, eliminando los excesos si los hay, y por ultimo se registraron de acuerdo a la nomenclatura.

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

### **3.7. Descripción de las secciones delgadas**

Para la descripción de las secciones delgadas, se han elaborado tablas con características que son propias para cada mineral, la mayoría de estas tablas están ideadas para minerales transparentes en secciones delgadas, aunque algunas pueden ser usadas también para fragmentos minerales, existiendo además gráficos de variación de los valores de los índices de refracción y de los ángulos axiales en los minerales.

Para la identificación de las especies minerales basadas en las propiedades ópticas dependerá de las posibilidades sugeridas por cada una de las tablas consultadas, la experiencia ha mostrado que las tablas son adecuadas para la identificación rutinaria de la mayoría de los minerales comunes que se encuentran en las secciones delgadas. Para la identificación sistemática es recomendable el siguiente esquema de procedimiento para los minerales transparentes anisotrópicos.

#### *Esquema para la identificación*

##### 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.

Los minerales opacos pueden identificarse por medio de la tabla para estos minerales, esta cuenta con tres columnas, la primera para el color con luz reflejada, la segunda propone el mineral y establece su fórmula química y en la tercera se describen las particularidades que son características de este mineral.

Para llevar a cabo esta técnica se emplea un microscopio polarizante, para la observación de sustancias birrefringentes o con doble refracción es indispensable el examen con luz polarizada, bajo la platina está instalado un nicol polarizador y sobre el ocular otro analizador. La platina es giratoria, con nonio para medir el giro haciendo girar el analizador hasta que el campo aparezca oscuro, se destacarán en este aquellas sustancias que presenten el

fenómeno de la birrefringencia con caracteres especiales de luminosidad o coloración.

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

Los estudios petrográficos fueron realizados utilizando un microscopio trinocular polarizante, modelo POH-3, MARCA Nikon.

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

Las condiciones de superficie de muestras de roca y pintura se analizaron con un microscopio electrónico de barrido (SEM), Modelo JSM 6360, marca Jeol, equipado con una microsonda de análisis de electrones dispersados de rayos X (EDX), la cual proporciona datos semi-cuantitativos de la composición química.

Las muestras de la pared pintada están conformadas por un soporte granítico trasero y la pintura en la parte opuesta, debido al anclaje de esta misma en la pared rugosa de la piedra. Las muestras fueron cubiertas con una placa de vidrio sobre la superficie pintada y otras dos placas laterales fueron utilizadas para fijarlas lateralmente, de tal modo, que fuese posible pulirlas sin dañar la pintura al mismo tiempo que se obtenía una superficie plana por el lado de la roca.

Para este análisis fueron de gran utilidad las fotografías de las esquirlas de roca con pintura, obtenidas a través del microscopio estereoscópico, las que sirvieron de referencia para seleccionar los puntos de análisis ya que sólo unas partes de la muestra se encontraba cubierta con pintura, la fotografía sirvió para instalar la muestra en el analizador y ubicar los puntos de análisis como se muestra en la Figura 3.1.



**Figura 3.1** Fragmentos de roca con pintura rupestre, *izquierda*, pintura de color blanco, *centro* de color rojo, *derecha* de color negro.

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

Muestras de pequeños residuos de pintura fueron analizadas utilizando la técnica de espectroscopia infrarroja con transformadas de Fourier, para detectar la posible presencia de compuestos orgánicos principalmente. Sin embargo la presencia de compuestos inorgánicos pudo ser también confirmada mediante esa técnica. Para mejores resultados se utilizó un dispositivo de reflectancia total atenuada (ATR) acoplado a un espectrofotómetro infrarrojo Spectrum One de Perkin Elmer, el cual permitió el análisis directo sobre la muestra en forma de laminilla o polvo.

Los espectros fueron registrados en espectros de longitud de onda en el rango de 600 a 4000  $\text{cm}^{-1}$ , en función del porcentaje de transmitancia, para los diversos tipos de color de las pinturas rupestres.

### **3.10. Color y raya**

Se obtuvo una relación de colores obtenidos en los muestreos de las pinturas rupestres. El color es una de las propiedades físicas más importantes de los minerales, para muchos minerales, el color es una propiedad constante y definida y puede servir como medio importante de identificación, pero esto debe manejarse con precaución, ya que las alteraciones superficiales pueden cambiar el color. Sin embargo muchos minerales no presentan un color constante en sus diferentes ejemplares. Esta variación de color dentro de la misma especie, se

debe a diversos factores. El cambio en el color se puede producir por el cambio de composición. Por la sustitución progresiva de un elemento químico por otro. Un mineral puede mostrar una gran gama de colores sin cambio aparente en la composición. Los minerales frecuentemente están coloreados por impurezas. La raya es el color del polvo fino de un mineral, esta propiedad de los minerales es de gran importancia para su identificación, porque aunque el color de un mineral puede variar entre límites amplios, el de la raya es normalmente constante. Con la relación de los colores de las pinturas rupestres, se procedió a obtener listados de minerales de cada uno de los colores muestreados uno para el color y otro listado para la raya, para ello se consultó toda la bibliografía disponible sobre este tema. Estos listados constaron de seis columnas, la primera de la izquierda era para el nombre del mineral, la segunda para la composición química del mineral, la tercera para la palabra imposible, la cuarta columna para la palabra posible, la quinta columna para la palabra probable y la sexta y última para observaciones.

### **3.11. Ocurrencia**

En base a los yacimientos en los que ocurre el mineral y a la geología de la zona y de sus alrededores, se emplearon las palabras de *imposible* este mineral de acuerdo a lo antes expuesto no tiene la más mínima posibilidad de encontrarse en la zona y en sus alrededores o bien también se descarta porque aunque tenga posibilidades de existir en la zona o en sus alrededores se requerirían de herramientas especializadas y obras mineras para su extracción. La palabra *posible* que puede ser, que puede existir o que existe en la zona o en sus alrededores y con un mínimo esfuerzo o una somera excavación pudieran llevarlo a la superficie, o que se encontrara uno que otro fragmento en el lecho de un arroyo, esto sería más bien obra de la casualidad. La palabra *probable* que existe en la zona y/ o en sus alrededores y se encuentra expuesto en la superficie, aunque sea escasamente. En esta tabla se puso una nota donde se

especificaban los yacimientos en los que ocurren o se encuentran estos minerales y sus relaciones con otros minerales.

De acuerdo a las descripciones microscópicas de las secciones delgadas de las rocas de los sitios arqueológicos, se elaboró una tabla y el nombre de esta era la del sitio de acuerdo con la nomenclatura. En la primer columna de la izquierda se ponía los minerales tanto de la composición global como los minerales traza, los de mayor ocurrencia en la parte superior y hacia abajo como va disminuyendo su presencia, la segunda columna contiene la composición química del mineral y la tercera y última columna para observaciones.

Ya con todo este material preparado se establecieron las condiciones para iniciar la interpretación de las tablas de los elementos químicos y sus porcentajes de ocurrencia por peso, obtenidos por dispersión de los rayos X a través del microscopio electrónico de barrido (SEM). Estos resultados se confrontaron con los resultados obtenidos por petrografía; entonces por eliminación, los elementos químicos que no forman parte de los minerales que conforman la roca huésped de la pintura, corresponden a la pintura y a los pigmentos; entonces a partir de estos elementos químicos se conformaban los minerales, se verificaba si en el área y sus alrededores se encontraban disponibles y al alcance de los pintores, confirmándose esto se dio como aceptado la utilización del mineral en cuestión.

Con la aplicación de los filtros por color, raya, composición química, yacimiento o ocurrencia, relación con otros minerales, petrografía de la roca huésped de la pintura rupestre, análisis a través de un microscopio electrónico de barrido SEM por dispersión de rayos X (EDX), se llegó al mineral o mezcla de minerales que componen la pintura.

### **3.12. Esquema de la metodología**

La identificación de los pigmentos utilizados en las pinturas rupestres de Baja California, demandó la aplicación de diversos procedimientos que se llevaron a cabo en campo (sitios arqueológicos) y la utilización de varios análisis

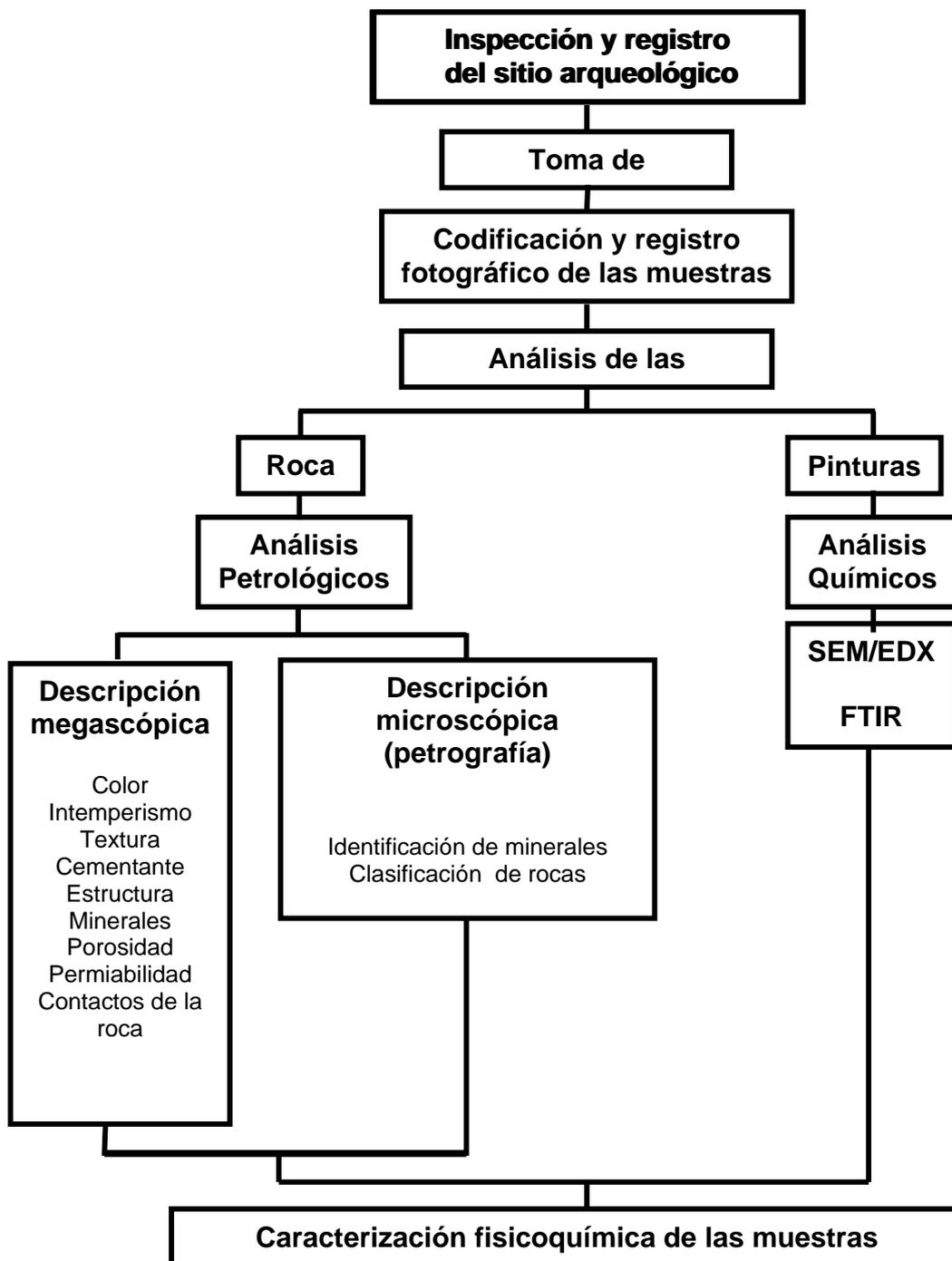


Figura 3.2 Esquema de la Metodología

instrumentales, ambos se conjugaron en una secuencia estableciéndose una metodología para la caracterización fisicoquímica de las pinturas rupestres de Baja California. Ver figura 3.2

# Capítulo 4

# Resultados

#### 4.1. Introducción

En este capítulo se presentan resultados de la ubicación geográfica, clasificación del afloramiento rocoso desde el punto de vista morfológico, descripción megascópica y microscópica de la roca y su textura, micro estructuras, mineralogía y clasificación de la roca donde están contenidas las pinturas rupestres, para cada uno de los sitios arqueológicos.

Se presentan los resultados de la caracterización fisicoquímica de las muestras de roca y pintura rupestre utilizando las técnicas de microscopio electrónico de barrido (SEM) y electrones dispersados de rayos X (EDX). Con estas, fue posible elaborar una tabla con los elementos químicos determinados y ordenados de forma ascendente con respecto al número atómico y su porcentaje en peso, y microfotografías que muestran imágenes de la condición superficial del sustrato rocoso y la pintura.

Los elementos químicos determinados por EDX para cada color analizado, se presentan en forma sucesiva de manera que el elemento de la izquierda el valor del por ciento de su peso es siempre mayor que el elemento de la derecha y así sucesivamente, relacionando a estos con las fuentes de origen. Esto fue posible a través del conocimiento de elementos contenidos en los minerales que forman la roca; productos del intemperismo químico y/o autigénesis y los componentes de la pintura.

#### 4.2. Región arqueológica “La Rumorosa”

##### a) Sitio arqueológico El Vallecito (PR – EV).

Localización. (Véase Figura 1.1, círculo con número 1).

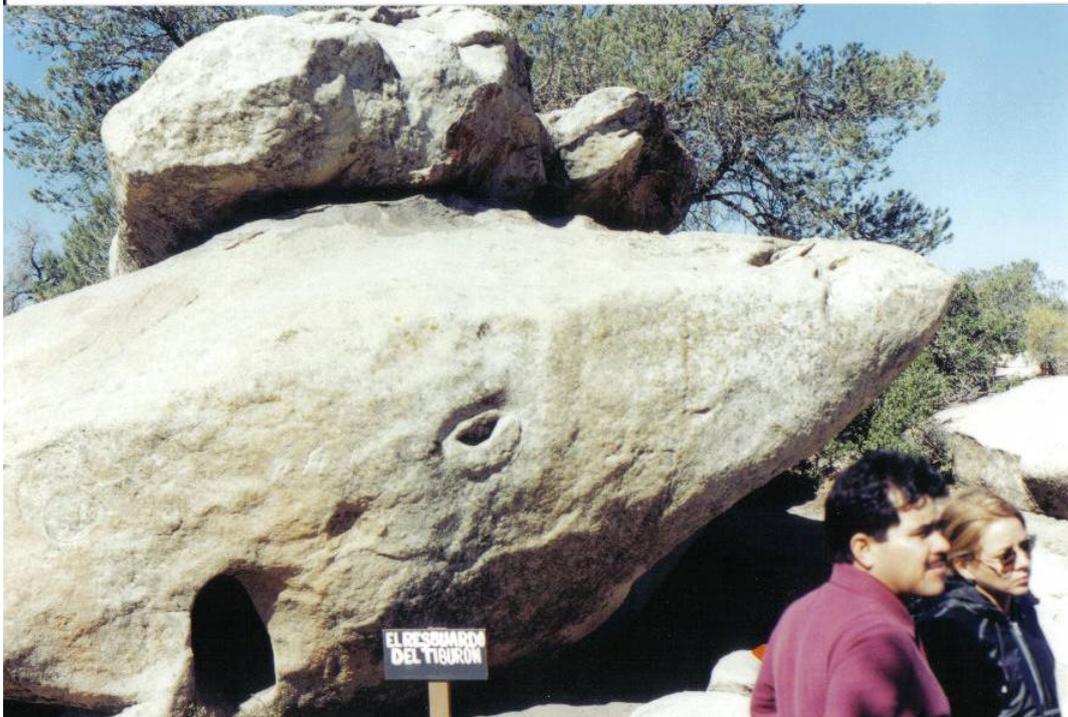
UTM: E 585,050 N 3, 600,020

Coordenadas Geográficas:

Latitud norte 32° 32' 09.54" Longitud oeste 116° 05' 39.49"

Morfología del sitio:

Canto aislado por intemperismo y erosión, de forma huso, siendo su eje mayor inclinado con respecto a la superficie del terreno. La Figura 4.1, muestra el Conjunto El Tiburón.



**Figura 4.1** Canto rocoso en forma de huso. Sitio arqueológico El Vallecito: Conjunto El Tiburón.

#### Petrología.

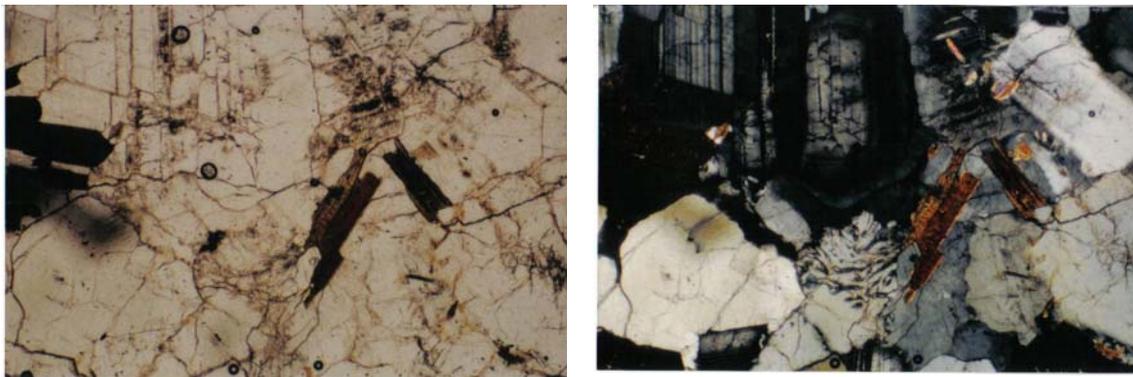
Descripción megascópica.- roca ígnea intrusiva de tonos rosados con abundantes minerales ferromagnesianos diseminados. Es de textura fanerítica de grano medio a grueso y se compone de feldespatos blancos (plagioclasas) y rosados (potásicos) con abundante biotita diseminada.

Descripción microscópica.- roca de textura holocristalina, panidiomórfica equigranular, por zonas mirmequíticas. La talla del grano es de 0.2 a 2.0 mm.

Composición global	%
Cuarzo	30
Plagioclasa	40
Feldespato potásico	18

Continua Composición global	%
Biotita	10
Moscovita	2

El cuarzo se presenta como grandes placas xenomorfas intersticiales, fracturadas y con extinción ondulante. Es tardío con relación a los feldespatos. Las plagioclasas son idiomorfas que pueden llegar hasta 2.0 mm, presentan maclado polisintético, son de estructura zonal y en ciertos lugares de la lámina flotan sobre una masa de feldespato potásico sin maclas ni estructura. El feldespato potásico es microclina tardía intersticial, la que junto con el cuarzo cementa las plagioclasas. En contacto con este mineral suele formar texturas mirmequíticas. Otros tipos de feldespatos no presentan maclas y parece ser ortoclasa. La biotita se observa de tonos rojizos en luz natural, en láminas bien formadas que miden hasta 1.0 mm de largo. Son normalmente bien frescas y presentan inclusiones de apatito y minerales opacos. La moscovita que se muestra en la Figura 4.2 está en láminas finas creciendo sobre las plagioclasas, es tardía en relación a estas.

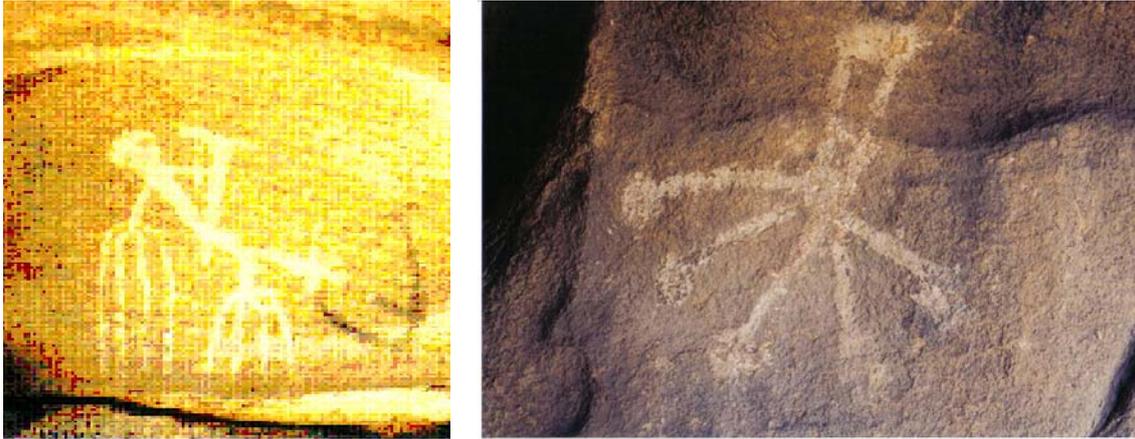


**Figura 4.2** Texturas, minerales y clasificación de la roca. Sitio arqueológico El Vallecito. Conjunto El Tiburón. Roca Granodiorita de biotita. Textura holocristalina, fanerítica de grano medio. Algunos cristales de biotita y otros pequeños de moscovita que crece sobre las plagioclasas. Al centro 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.

Clasificación de la roca: corresponde a una *granodiorita de biotita*, roca intrusiva que puede formar parte de un plutón.

### Conjunto arqueológico El Hombre Enraizado.

Color blanco (véase Figura 4.3).



**Figura 4.3** Pictografía. Sitio arqueológico El Vallecito: Conjunto El Hombre Enraizado.

Elementos químicos determinados por EDX en la muestra de roca con pintura (PR – EV, Conj. EHE, b/w rx: s/n y 2): O, Ca, S, Si, C, K, P, Al, Na, Mg, Cl

Contenidos en los minerales de la roca: O, Ca, Si, K, P, Al, Na, Mg, Cl.

El oxígeno está contenido en todos los minerales que constituyen la roca: plagioclasa, cuarzo, feldespato potásico (microclina y ortoclasa), biotita, moscovita y apatito. El calcio, se encuentra en la plagioclasa y en el apatito.

El silicio, al igual que el oxígeno está presente en todos los minerales de la roca a excepción del apatito. El potasio, se encuentra en el feldespato potásico (microclina y ortoclasa), biotita y moscovita.

Los elementos fósforo y cloro son parte del mineral apatito (clorapatito) que se encuentra inclusionando a la biotita. El aluminio, se encuentra presente en la plagioclasa, feldespato potásico (microclina y ortoclasa), biotita y moscovita, mientras que el sodio sólo está contenido en la plagioclasa y el magnesio, está contenido únicamente en la biotita.

Los elementos determinados y no contenidos en la roca son: S y C.

Forman parte de los productos de alteración por intemperismo químico y autigénesis: O, Ca, Si, C, Al.

El proceso de alteración de los feldespatos genera oxidación (óxidos de silicio), carbonatación (principalmente de calcio) y caolinización (silicatos aluminicos hidratados). El carbono se adhiere a la roca durante el proceso de alteración.

Componentes de la pintura: O, Ca, S,

Oxígeno, calcio y azufre son parte de los principales componentes del mineral de yeso. Por ello se clasifico al pigmento de color blanco como mineral de yeso.

#### Color negro

Elementos químicos determinados por EDX en la muestra de roca con pintura de color negro. (PR – EV, Conj. EHE, n/b rx: s/n y 2.): O, Ca, C, Si, P, Al, S, K, Na.

Contenidos en los minerales de la roca: O, Ca, Si, P, Al, K, Na.

La fuente de origen mineral es la misma del color blanco.

Los elementos determinados y no contenidos en la roca son: C y S.

Forman parte de los productos de alteración por intemperismo químico y autigénesis: O, Ca, C, Si, Al.

Los procesos de alteración de los feldespatos producen carbonatación principalmente de calcio, oxidación y caolinización.

Componentes de la pintura: O, C, S.

Los tres elementos son componentes del carbón de fogata, los dos primeros son los más importantes. De esta manera el pigmento para el color negro es carbón de fogata.

#### **Conjunto arqueológico: La Cueva del Indio** (véase Figura 4.4).

#### Color rojo

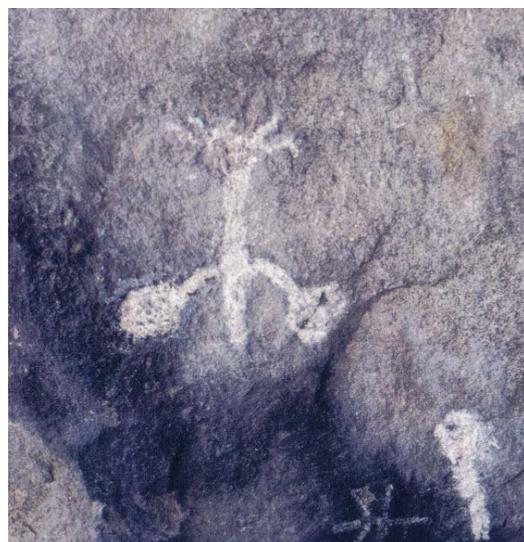
Elementos químicos determinados por EDX en la muestra de roca con pintura. (PR – EV, Conj. LCI, r/r rx: s/n): O, Ca, S, C, Si, Al, Fe, Na.

Contenidos en los minerales de la roca: O, Ca, Si, Al, Fe, Na.

Su origen es en los mismos minerales que para el color blanco.

Los elementos determinados y no contenidos en la roca son: S, y C.

Forman parte de los productos de alteración por intemperismo químico y autigénesis: O, Ca, C, Si, Al.



**Figura 4.4** Diversos aspectos de la pictografía. Sitio arqueológico El Vallecito. Conjunto: La Cueva del Indio.

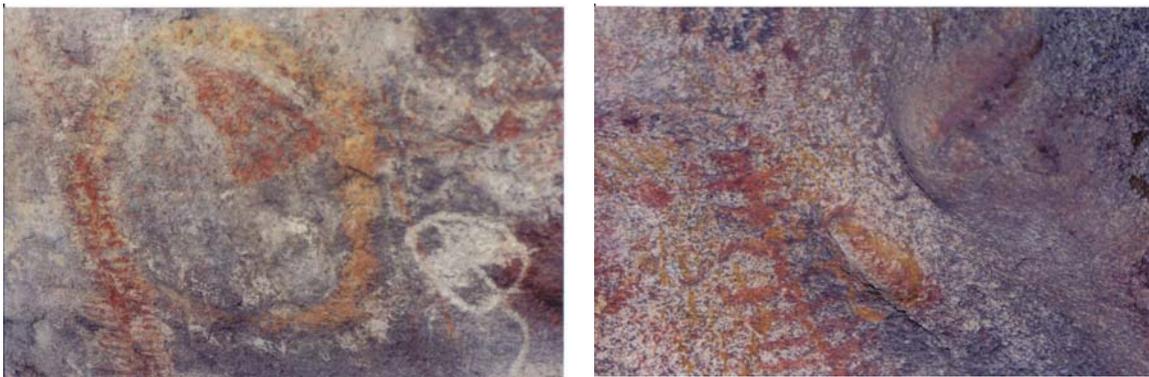
El carbono se añade a la roca en el proceso de alteración de los feldespatos, estos procesos son carbonatación, oxidación y caolinización, generando los productos antes mencionados.

Componentes de la pintura: O, Fe.

Ambos elementos forman el mineral de hematita. Pigmento del color rojo Hematita y probablemente yeso para el trazo. El hierro no se encontró en los colores blanco y negro.

### Conjunto arqueológico Los Solecitos o Wittinñur

Color rojo naranja (véase Figura 4.5).



**Figura 4.5** Pictografía. Sitio arqueológico El Vallecito. Conjunto La Cueva del Indio, figuras en color rojo naranja y pino real en color rojo.

Elementos químicos determinados por EDX en la muestra de roca con pintura.

(PR – EV, Conj. LS o W, rn/or rx: s/n, 2 y 3): O, Si, Ca, C, Fe, S, Al, K, P, Mg.

Contenidos en los minerales de la roca: O, Si, Ca, C, Fe, S, Al, K, P, Mg.

Su fuente es la misma que la mencionada para los de color blanco.

Los elementos determinados y no contenidos en la roca son: C, y S.

Forman parte de los productos de alteración por intemperismo químico y autigénesis: O, Si, Ca, C, Al.

El carbono se agrega a la roca durante el proceso de alteración de los feldespatos, estos procesos generan oxidación, carbonatación y caolinización, con los mismos productos antes mencionados.

Componentes de la pintura: O, Ca, Fe, S.

Son óxidos de hierro, por el color se considera como pigmento el mineral de goethita, el contenido de agua en el óxido de hierro es posiblemente el responsable de la tonalidad rojo naranja. Para oxígeno, calcio y azufre su presencia se debe al mineral de yeso que se presume fue utilizado para trazar los dibujos rupestres

Color negro

Elementos químicos determinados por EDX en la muestra de roca con pintura. (PR – EV, Conj. LS o W, n/b rx: s/n y 2.): O, C, Si, Ca, N, S, Al, Fe, Na, K, P, F, Cl, Mg.

Contenidos en los minerales de la roca: O, Si, Ca, Al, Fe, Na, K, P, F, Cl, Mg.

Estos elementos están contenidos en los minerales de la roca, su origen es el mismo que para el color blanco. El hierro está presente en la biotita, el fósforo, el flúor y el cloro están contenidos en el mineral de apatito, que se encuentra en la roca huésped de la pintura.

Los elementos determinados y no contenidos en la roca son: C, N y S.

Forman parte de los productos de alteración por intemperismo químico y autigénesis: O, C, Si, Ca, Al.

Los procesos de alteración son oxidación, carbonatación y caolinización, generando esencialmente caolinita, carbonatos principalmente de calcio y óxidos de silicio. El carbono se incorpora a la roca durante el proceso de alteración de los feldespatos.

Componentes de la pintura: O, C, N, S

Todos estos elementos son parte del Carbón de fogata. Pigmento de color negro: carbón de fogata.

Resumen.

Los colores muestreados fueron blanco y negro, en el Conjunto El Hombre Enraizado (EHE), rojo en el Conjunto La Cueva del Indio (LCI), rojo naranja y negro en el Conjunto Los Solecitos o Wittinñur el agregado de los elementos químicos determinados por EDX en las muestras de roca con pintura en los colores: blanco y negro (EHE), rojo (LCI), rojo naranja y negro (LS o W) son: O, Ca, S, Si, C, K, P, Al, Na, Mg, Cl, Fe, N, F.

El oxígeno, calcio, silicio y aluminio, se encontraron en las cinco muestras. El potasio, sodio y fósforo estuvieron presentes en cuatro de las cinco muestras; magnesio y hierro en tres muestras, el cloro en dos muestras y el nitrógeno únicamente en una muestra.

El oxígeno y el calcio se presentan en las cinco muestras (blanco, rojo, rojo naranja y dos muestras de color negro) su presencia fue significativa, el silicio se manifestó en las dos muestras de color negro y en la muestra de color rojo naranja. En este último también podemos incluir el hierro y el aluminio.

De estos elementos los contenidos en los minerales de la roca son: O, Ca, Si, K, P, Al, Na, Mg, Cl, Fe, F.

Elementos determinados y no contenidos en la roca son: S, C y N.

El azufre, carbono y nitrógeno, no se encuentran contenidos en los minerales de la roca huésped de la pintura, razón por la cual se consideran parte de los productos de alteración y como componentes de la pintura. El carbono es parte de los carbonatos que son producidos por la alteración de los feldespatos y así es como se integra a la roca. El azufre, carbono y nitrógeno son componentes del carbón de fogata, tanto el azufre como el nitrógeno son componentes menores. El azufre también es parte del mineral de yeso utilizado como pigmento y probablemente para llevar a cabo los bosquejos de los gráficos rupestres.

Componentes de las pinturas:

Blanco (EHE, b/w). O, Ca, S.

El oxígeno, calcio y azufre son parte de los principales componentes del mineral de yeso.

Pigmento del color blanco: mineral de yeso.

Negro (Conj. EHE, n/b). O, C, S.

Los tres elementos son componentes de carbón de fogata.

Pigmento del color negro: carbón de fogata.

Rojo (Conj. LCI). O, Fe.

Ambos elementos forman el mineral de hematita.

Pigmento del color rojo: mineral de hematita.

Rojo naranja (Conj. LS o W). O, Ca, Fe, S.

Los óxidos de hierro, por el color se considera como mineral goethita, el agua contenida en los óxidos de hierro puede ser la causa de esta tonalidad. La presencia de azufre se le atribuye al mineral de yeso, posiblemente utilizado para bosquejar el dibujo rupestre.

Pigmento de color rojo naranja: mineral goethita + yeso (trazo).

Negro (Conj. LS o W). O, C, N, S.

Todos los elementos se encuentran en el carbón de fogata.

Pigmento del color negro: carbón de fogata.

**b) Sitio arqueológico Los Guerreros (PR-LG).** (Véase Figura 1.1 círculo con número 2).

Localización:

UTM: E 587,790 N 3, 592,650

Coordenadas Geográficas:

Latitud norte 32° 28' 09.45" Longitud oeste 116° 03' 56.93"

Morfología del sitio.

Canto esferoidal embancado con nicho en el polo inferior, lo que origina una cavidad con apariencia de una bóveda.

### Petrología.

Descripción megascópica.- roca ígnea intrusiva de color blanco con puntos disseminados negros, deleznable, arenosa. Presenta una textura fanerítica de grano medio a grueso, constituida esencialmente de feldespatos y cuarzo y los puntos negros disseminados corresponden a biotita.

Descripción microscópica.- al microscopio la roca presenta una textura hipidiomórfica de grano grueso, la talla de los cristales es de 1.0 a 4.0 mm.

Composición global	%
Cuarzo	25
Plagioclasas	66
Biotita	8
Anfíbol	1

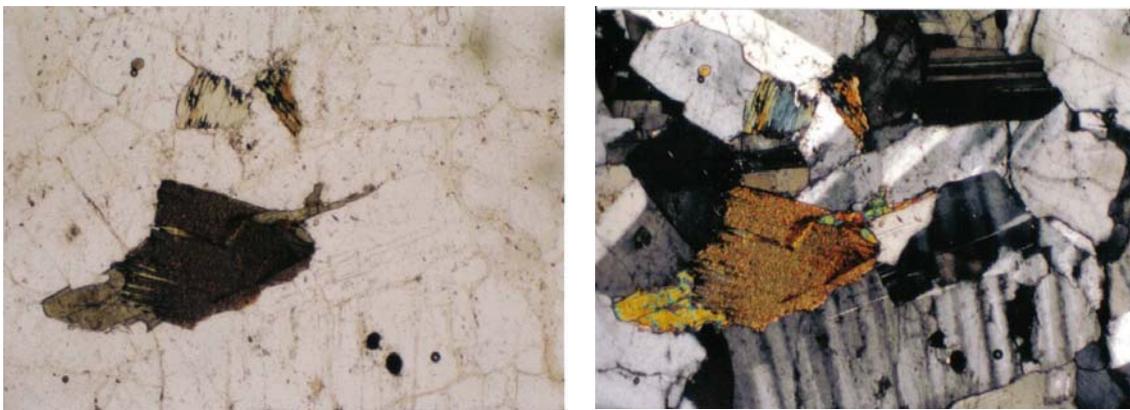
El cuarzo es abundante y se ubica como grandes placas xenomorfas tardías, entre los intersticios de los feldespatos. Las plagioclasas son el único feldespato presente. Se observa en tabletas idiomorfas alargadas hasta de 4.0 mm, tiene macla polisintética y una estructura zonal poco desarrollada. Medidas de ángulos de extinción sobre secciones perpendiculares a 010 indican una composición de  $An_{28-34}$ , lo cual las ubica en una composición de oligoclasa-andesina.

La biotita se observa en cristales, hasta de 4.0 mm, bien formados con cruceros paralelos en una dirección sobre 001, y con algunos óxidos de hierro sobre los planos de crucero. El tono de polarización es castaño denotando una composición ferrífera. Hay presencia discreta de anfíbol disseminado el cual presenta cruceros característicos y macla individual, presenta color verde azulado y tonos de polarización elevados por lo que se deduce que se trataba de hornblenda, misma que fue transformada en actinolita. Algunos cristales de biotita que se ubican en las cercanías del anfíbol fueron reemplazados por clorita. En estas mismas zonas hay placas intersticiales de turmalina en cristales de 0.4 a 1.0 mm, como se muestra en la Figura 4.6.

### Clasificación de la roca.

Se trata de una *Tonalita de biotita ± hornblenda*, la cual debe formar parte de un plutón de carácter intrusivo. La roca fue afectada por débil neumatólisis o hidrotermalismo que se manifiesta en la presencia de actinolita + turmalina + clorita.

Color blanco (véase Figura 4.7):



**Figura 4.6** Texturas, minerales y clasificación de la roca. Sitio arqueológico Los Guerreros. Roca Tonalita de biotita + hornblenda. Textura holocristalina, fanerítica. Biotita fresca (cristal grande) y otra pequeña transformada a clorita y opacos. A un lado de la biotita se observa actinolita procedente de hornblenda. En luz polarizada se ven abundantes plagioclasas macladas. Fotografía izquierda luz natural 5x, fotografía derecha luz polarizada 5x.



**Figura 4.7** Pictografía en color blanco. Sitio arqueológico Los Guerreros.

Elementos químicos determinados por EDX en la muestra de roca con pintura. (PR – LG, b/w, rx: s/n y 2). O, Si, Al, Fe (L), C.

Contenidos en los minerales de la roca:

El oxígeno, está presente en todos los minerales que componen la roca (plagioclasas, cuarzo, biotita, hornblenda, clorita, turmalina y óxidos de hierro).

El silicio al igual que el oxígeno está presente en todos los minerales de la roca a excepción de los óxidos de hierro. Por otro lado, el aluminio está en más de la mitad de los minerales componentes de la roca huésped de la pintura; está contenido en la plagioclasa, biotita, hornblenda y turmalina.

El hierro, es aportado por tres de los seis minerales que componen la roca huésped de la pintura, sin contar los óxidos de hierro producto de la alteración de los minerales con contenido de hierro.

Elemento determinado y no contenidos en la roca es: C

Forman parte de los productos de alteración por intemperismo químico y autigénesis: O, Si, Al, C.

Estos elementos son parte de los productos de alteración de los feldespatos. El carbono pasa a ser parte de la roca durante el proceso de alteración.

Componentes de la pintura: O, Si, Al.

Pigmento de color blanco: Caolín (caolinita y óxidos de silicio).

**c) Sitio arqueológico Piedras Gordas PR-PG.** (Véase Figura 1.1, círculo con número 3).

Localización:

UTM: E 585,080 N 3, 591,750

Coordenadas Geográficas:

Latitud norte 32° 27' 40.98" Longitud oeste 116° 05' 41.03"

Morfología del sitio.

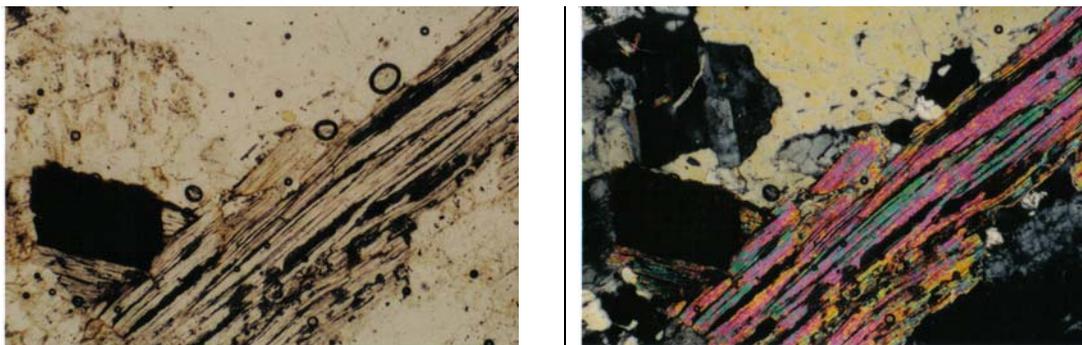
Laberinto en espacio irregular formado entre los límites erosionados de los bloques rocosos, estos límites son verticales, horizontales e inclinados cuando se intensifica la erosión, que al quedar unidos estos espacios se forma los laberintos.

### Petrología.

Descripción megascópica.- roca Ígnea intrusiva de tonos blanco a crema, superficialmente deleznable con puntos disseminados de micas negras y transparentes. La textura de la roca es fanerítica, equigranular de grano medio con una mineralogía de cuarzo y feldespato con biotita y moscovita disseminadas. Descripción microscópica.- la roca es de textura hipidiomórfica, mirmequítica en zonas, de grano medio, con una talla de cristales de 0.5 a 2.0 mm.

Composición global	%
Cuarzo	35
Plagioclasa	25
Microclina	32
Biotita	4
Moscovita	4

El cuarzo existe en forma de grandes placas intersticiales con extinción ondulante. En algunas zonas da la apariencia de que el cuarzo afecta las plagioclasas. Las plagioclasas parecen en menor proporción que el feldespato potásico. Presentan maclado polisintético y pueden estar afectadas por feldespato alcalino tardío. La microclina se observa abundantemente en una zona de la lámina, se reconoce por su macla característica pero mal desarrollada. En general es xenomorfa, tardía e intersticial. La biotita se observa en láminas muy alargadas de tonos castaños, rica en hierro. La moscovita está disseminada en cristales muy bien formados hasta de 2.0 a 3.0 mm de largo. Presenta leves evidencias de deformación. A veces parece afectar a la biotita como se puede observar en la Figura 4.8.



**Figura 4.8** Texturas, minerales y clasificación de la roca. Sitio arqueológico Piedras Gordas. Roca: monzonita de cuarzo de dos micas. Textura holocristalina, fanerítica. Al centro gran cristal de moscovita y sobre la misma cuarzo xenomorfo intersticial. A la izquierda biotita en posición de extinción. El resto son feldespatos. Fotografía izquierda luz natural 5x, fotografía derecha luz polarizada 5x.

### **Clasificación de la roca.**

*Monzonita de cuarzo de dos micas*, se trata de una roca probablemente peraluminosa, puede formar parte de un conjunto plutónico.

Color rojo (véase Figura 4.9):



**Figura 4.9** Pictografía. Sitio arqueológico Piedras Gordas.

Elementos químicos determinados por EDX en la muestra de roca con pintura. (PR – PG, r/r, rx: s/n). O, Fe (L), C, Si, Ca, Al.

Contenidos en los minerales de la roca: O, Fe (L), Si, Ca, Al.

El oxígeno y silicio están presentes en todos los minerales de la roca huésped de la pintura.

El hierro se encuentra en la biotita y el calcio es parte de la composición de la plagioclasa. El aluminio no está contenido en el cuarzo, pero sí en el resto de los minerales que forman la roca. Elemento determinado y no contenido en la roca es: C.

Forman parte de los productos de alteración por intemperismo químico y autigénesis: O, C, Si, Ca, Al.

El carbono se adiciona a la roca durante el proceso de alteración, el producto de alteración es el caolín (caolinita, carbonato de calcio y óxidos de silicio).

Componentes de la pintura: O, Fe.

Pigmento de color rojo: mineral de hematita.

**d) Sitio arqueológico Potrero del Toro (PR-P del T).** (Véase Figura 1.1, círculo con número 4).

Localización:

UTM: E 598,940 N 3, 589,940

Coordenadas Geográficas:

Latitud norte 32° 26' 38.08", Longitud oeste 115° 56' 50.88"

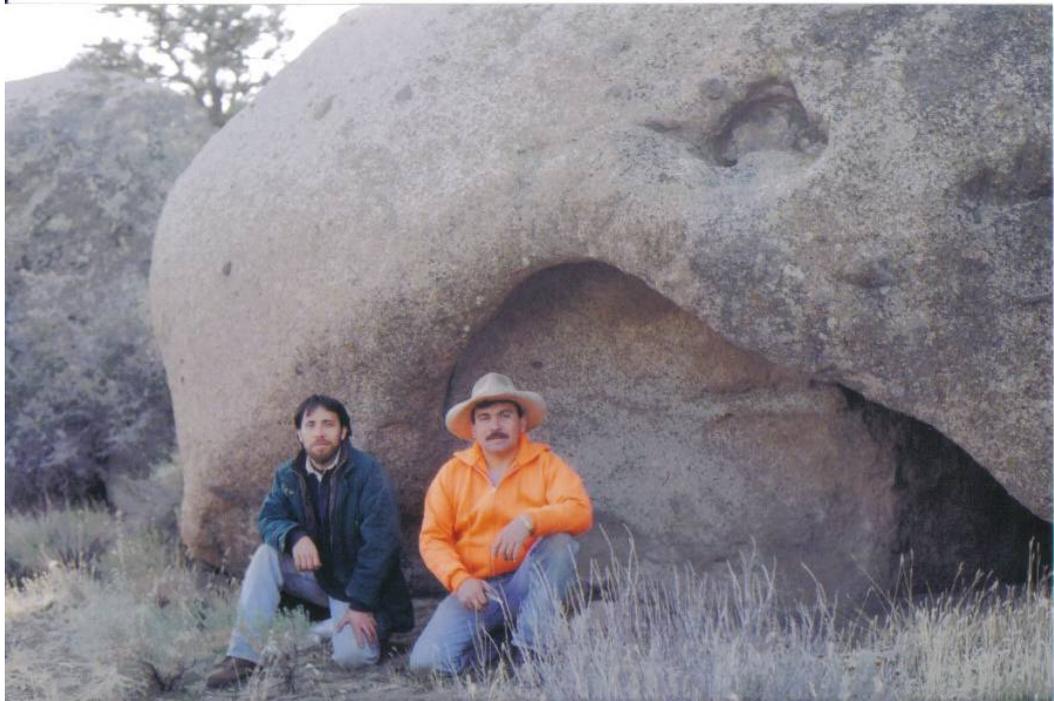
Morfología del sitio.

Canto en forma de domo aislado, similar al caparazón de una tortuga, con dos nichos opuestos desarrollados en los flancos, dentro de estas oquedades se encuentran las pinturas (véase Figura 4.10).

Petrología:

Descripción megascópica.- roca de composición granitoide, de grano grueso pero muy deleznable, casi arenosa. Contiene disseminación de hojuelas de biotita en una matriz fanerítica de composición esencialmente feldespática.

Descripción microscópica.- la textura es holocristalina hipidiomórfica de grano grueso. La talla de los cristales va de 1.0 a 4.0 mm.



**Figura 4.10** Canto aislado, similar al caparazón de una tortuga. Sitio arqueológico Potrero del Toro.

Composición global	%
Cuarzo	15
Plagioclasa	68
Biotita	15
Hornblenda	2

El cuarzo es xenomorfo, intersticial presentando extinción ondulante. Las plagioclasas se presentan como cristales euhedrales y subhedrales hasta de 5.0 mm, son muy abundantes y siempre tienen maclado polisintético. La biotita se observa en hojuelas diseminadas o en aglomerados de cristales. Es de tono castaño en luz natural como las variedades ricas en hierro y contiene inclusiones de apatito. La hornblenda es escasa, se observa en secciones basales con los cruceros subrayados por óxido de hierro.

Clasificación de la roca.

Plutón de composición *Tonalita de biotita»hornblenda*.

Color blanco (véase Figura 4.11).

Elementos químicos determinados por EDX en la muestra de roca con pintura. (PR – P del T, b/w, rx: 11 y 11.1). O, C, Ca, Si, S, Al, Mg, K, Fe.

Contenidos en los minerales de la roca: O, Ca, Si, Ca, Mg, K, Fe.

El oxígeno está presente en todos los minerales que constituyen la roca y estos son: plagioclasa, biotita, cuarzo, hornblenda y apatito.

El calcio está en la plagioclasa, hornblenda y apatito y el silicio se encuentra en todos los minerales que componen la roca a excepción del apatito y de los



**Figura 4.11** Pictografía Sitio arqueológico Potrero del Toro.

óxidos de hierro. El aluminio forma parte de la plagioclasa, biotita, cuarzo, hornblenda y apatito. El magnesio es parte de la biotita y de la hornblenda y el potasio forma parte de la biotita.

El hierro forma parte de la biotita y de la hornblenda que además presenta cruceros de óxidos de hierro.

Elementos determinados y no contenidos en la roca son: C y S.

Forman parte de los productos de alteración por intemperismo químico y autigénesis: O, C, Ca, Si, Al

El carbono se incorpora a la roca durante el proceso de alteración de los feldespatos. Los productos de alteración son caolinita, carbonatos principalmente de calcio y óxidos de silicio.

Componentes de la pintura: O, Ca, S.

Estos tres elementos son componentes principales del mineral de yeso.

Pigmento para el color blanco: mineral de yeso.

**e) Sitio arqueológico Rancho Agua Grande (PR-RAG).** (Véase Figura 1.1, círculo con número 5)

Localización:

UTM: E 591,750 N 3, 588,175

Coordenadas Geográficas:

Latitud norte 32° 25' 42.98" Longitud oeste 116° 01' 26.82"

Morfología del sitio:

Hendidura estrecha entre dos bloques rocosos en forma de "V" invertida y alargada, donde sus extremos (paredes) constituyen sus paneles pictóricos.

Petrología.

Descripción megascópica.- roca intrusiva de composición granitoide de color blanco, con numerosas diseminaciones de biotita fina. La matriz granular blanca es esencialmente feldespática.

Descripción microscópica.- textura holocristalina hipidiomórfica.

Composición global	%
Cuarzo	35
Plagioclasa	40
Feldespato potásico	13
Biotita	12

El cuarzo se observa en grandes placas hasta de 5.0 mm, xenomorfas y con extinción ondulante. La plagioclasa se presenta en cristales grandes hasta de 2.0 mm, con maclas polisintéticas muy formadas y una estructura zonal débilmente desarrollada. El feldespato potásico se presenta en placas xenomorfas intersticiales tardías, sin maclas. La biotita se encuentra en cristales entre 0.5 a 1.0 mm, muchas veces en secciones basales pseudo hexagonales muy cafés en luz natural. En la roca hay gránulos diseminados muy grandes de esfena. Como minerales secundarios se observan trazas de epidota ferrífera (pistachito) y de sericita procedentes de biotita.

#### Clasificación de la roca.

*Tonalita de biotita* de origen plutónico.

Color rojo claro

Elementos químicos determinados por EDX en la muestra de roca con pintura. (PR – RAG, rc/lr, rx: 28.20 y 28.66). O, C, Ca, Fe, Si, Al, Na, K.

Contenidos en los minerales de la roca: O, Ca, Fe, Si, Al, Na, K.

El oxígeno y silicio son parte de cada uno de los minerales que están constituidos en la roca: plagioclasa, cuarzo, feldespato potásico, biotita, epidota ferrífera, sericita y esfena.

El calcio se encuentra en la plagioclasa y en la epidota. Mientras que el hierro es parte de la biotita y de la epidota que es ferrífera. El aluminio no se encuentra presente en el mineral esfena, que se presenta en trazas, pero si en los demás minerales componentes de la roca. La fuente del sodio es la plagioclasa y el potasio es parte de la composición del feldespato potásico, de la biotita y de la sericita.

Elemento determinado y no contenido en la roca es: C.

Forman parte de los productos de alteración por intemperismo químico y autigénesis: O, C, Ca, Si, Al.

Los productos de alteración son carbonatos esencialmente de calcio, óxidos de silicio y silicatos aluminicos hidratados. El carbono se incluye en la roca durante el proceso de alteración de los feldespatos.

Componentes de la pintura: O, Fe.

Pigmento de color rojo: mineral de hematita.

Color rojo oscuro

Elementos químicos determinados por EDX en la muestra de roca con pintura.

(PR – RAG, ro/dr, rx: 29.1, 29.2 y 29.4). O, C, Fe, Si, Ca, Al, Na, S.

Contenidos en los minerales de la roca: O, Fe, Si, Ca, Al, Na.

El oxígeno, hierro, silicio calcio aluminio y sodio se encuentran en las mismas condiciones que para los que se mencionaron para el color rojo claro.

Elementos determinados y no contenidos en la roca son: C, S.

Forman parte de los productos de alteración por intemperismo químico y autigénesis: O, C, Si, Ca, Al,

El carbono se suma a la roca durante el proceso de alteración de los feldespatos. El principal producto de alteración de los feldespatos es el caolín (caolinita, carbonatos primordialmente de calcio y óxidos de silicio).

Componentes de la pintura: O, C, Fe, S.

El oxígeno y el hierro son parte del mineral de hematita. El oxígeno, carbono y azufre son componentes del carbón de fogata.

Pigmento de color rojo: mineral de hematita y carbón de fogata para el trazo de los gráficos rupestres.

### Resumen.

Los colores muestreados fueron rojo claro y rojo oscuro. Los elementos químicos que son comunes tanto en el color rojo claro como en el color rojo oscuro son: oxígeno, carbono, calcio, hierro, silicio, aluminio y sodio. El potasio sólo se determinó en el color rojo claro y el azufre sólo en el color rojo oscuro, a excepción del carbono y del azufre los demás elementos se encuentran en los minerales que forman la roca. El carbono se adhiere a la roca durante el proceso de alteración de los feldespatos, considerándose también como componente de la pintura en el color rojo oscuro. El azufre, junto con el oxígeno y el carbono son parte de los componentes del carbón de fogata, posiblemente utilizado para el trazo, y además responsable de oscurecer el color.

Pigmento para el color rojo: mineral de hematita.

**f) Sitio arqueológico Valle Seco (PR-VS).** (Véase Figura 1.1, círculo con número 6).

Localización:

UTM: E 590,150 N 3,586,850

Coordenadas Geográficas:

Latitud norte 32° 25' 00.43" Longitud oeste 116° 02' 28.53"

Morfología del sitio.

Hendidura de forma triangular e irregular, formada por los límites de tres bloques rocosos principalmente, formando una cavidad de entrada ancha, que se reduce inmediatamente hacia el interior.

Petrología.

Descripción megascópica.- roca ígnea granitoide, deleznable y arenosa. Es de grano medio a fino formada de una masa feldespática, en la cual hay puntos diseminados de biotita.

Descripción microscópica.- roca de textura holocristalina, fanerítica de grano grueso. La talla de grano va de 1.0 a 4.0 mm.

Composición global	%
Cuarzo	20
Feldespato potásico	42
Plagioclasa	30
Biotita	8

El cuarzo está en grandes placas intersticiales hasta de 5.0 mm y con extinción ondulante. El feldespato potásico es más abundante que la plagioclasa y más anhedral que estas. Se aprecia más en los intersticios. Los cristales de plagioclasa son de 1.0 a 4.0 mm, subautomorfos, débilmente corroídos y con una estructura zonal bien desarrollada. La biotita se observa en hojuelas inferiores a 1.0 mm y en pequeños cristales aglomeráticos. Es de composición

ferrífera. Hay presencia de trazas de moscovita, que no se aprecia claramente si es primaria o secundaria.

#### Clasificación de la roca.

Plutón *granítico de biotita*.

#### Color blanco

Elementos químicos determinados por EDX en la muestra de roca con pintura.

(PR – VS, b/w, rx: 22.1 y 22.2). O, Ca, S, C, Cl, Si, Na, K, Al, Mg.

Contenidos en los minerales de la roca: O, Ca, Cl, Si, Na, K, Al, Mg.

El oxígeno está contenido en todos los minerales que constituyen la roca huésped de la pintura en este sitio.

La fuente del calcio y el sodio es la plagioclasa y su presencia es significativa. El cloro es parte del mineral apatito, que se encuentra inclusionando a la biotita. Mientras que el silicio al igual que el oxígeno, está contenido en todos los minerales, pero su presencia es menor. El potasio su fuente es el feldespato potásico, la biotita y la moscovita y el aluminio se encuentra en todos los minerales de la roca a excepción del cuarzo. El magnesio lo aporta la biotita.

Elementos determinados y no contenidos en la roca son: S, C.

Forman parte de los productos de alteración por intemperismo químico y autigénesis: O, Ca, C, Si, Al

El carbono se anexa a la roca durante el proceso de alteración de los feldespatos. El principal producto de alteración es el caolín formado de carbonatos mayormente de calcio, óxidos de silicio y silicatos de aluminio (caolinita).

Componentes de la pintura: O, Ca, S,

El azufre junto con el oxígeno y el calcio constituyen el mineral de yeso.

Pigmento para el color blanco: mineral de yeso.

#### Color rojo

Elementos químicos determinados por EDX en la muestra de roca con pintura.

(PR – VS, r/r, rx: 24 y 24.1). O, Si, C, Fe, Al, Ca, K, P, Na, Mg.

Contenidos en los minerales de la roca: O, Si, Fe, Al, Ca, K, P, Na, Mg.

El oxígeno, silicio, aluminio, calcio, potasio, sodio y magnesio, tienen el mismo origen que el determinado para el color blanco. El hierro está contenido en la biotita, pero su presencia es significativa por lo que se considera que tiene otra fuente y que este elemento es parte de los componentes de la pintura. La presencia del fósforo se debe al apatito, que generalmente se encuentra inclusionando a la biotita.

Elemento determinado y no contenido en la roca es: C.

Forman parte de los productos de alteración por intemperismo químico y autigénesis: O, Si, C, Al, Ca,

El carbono se suma a la roca durante el proceso de alteración de los feldespatos. Los productos de alteración son: óxidos de silicio, silicatos de aluminio hidratados y carbonatos siendo el más abundante el de calcio.

Componentes de la pintura: O, Fe.

Pigmento de color rojo: mineral de hematita.

Color negro (véase Figura 4.12).

Elementos químicos determinados por EDX en la muestra de roca con pintura. (PR – VS, n/b, rx : 23.1 y 23.2). O, C, Ca, Si, Al, K, Fe, Cl, Mg, S.

Contenidos en los minerales de la roca: O, Ca, Si, Al, K, Fe, Cl, Mg.

Oxígeno, calcio, silicio, aluminio potasio, hierro y magnesio, su origen es el mismo que los determinados para los colores blanco y rojo. La fuente del cloro es la misma que la del color blanco, el cloro lo mismo que el fósforo en el color rojo en este mismo sitio arqueológico son parte del mineral apatito. Además que la moscovita contiene oxígeno, silicio, aluminio, potasio e hidrógeno.

Elementos determinados y no contenidos en la roca son: C, S.

Forman parte de los productos de alteración por intemperismo químico y autigénesis: O, C, Ca, Si, Al.

El carbono se enlaza a la roca durante el proceso de alteración de los feldespatos y el principal producto de alteración es el caolín.

Componentes de la pintura: O, C, S.

Estos tres elementos se encuentran en el carbón de fogata,

Pigmento de color negro: carbón de fogata.

Resumen.

Los colores analizados fueron blanco, rojo y negro y los elementos químicos determinados por EDX que son parte de los minerales que forman la roca de este sitio arqueológico y que están presentes en los tres colores son: oxígeno, calcio, silicio, aluminio y potasio, siendo significativa la presencia de oxígeno y calcio, y en el color rojo se les agrega hierro y silicio. El carbono se encuentra en los tres colores, este elemento no está contenido en los minerales de la roca, considerándose este elemento introducido por la alteración de la roca y como uno de los componentes principales del carbón de fogata utilizado en el color negro como pigmento. El azufre no es parte de los componentes de la roca pero si del mineral de yeso utilizado este mineral como pigmento del color blanco, este elemento también es parte del carbón de fogata. El fósforo y el cloro se consideran parte del mineral apatito (clorapatito).

**g) Sitio arqueológico Los Monos (PR-LM).** (Véase Figura 1.1, círculo con número 7)

Localización:

UTM: E 592,450 N 3, 585,800

Coordenadas Geográficas:

Latitud norte 32° 24' 25.65" Longitud oeste 116° 01' 00.85"

Morfología del sitio:

Bloque rocoso aislado.

Petrología.

Descripción megascópica.- la roca es una ígnea intrusiva de color blanco a crema, con puntos diseminados de color negro, de textura fanerítica de grano medio a grueso constituida esencialmente por feldespatos blancos (plagioclasas) que son más abundantes que los de color rosa (feldespatos), cuarzo y abundante biotita.

Descripción microscópica.- roca de textura holocristalina panidiomórfica. La talla de los cristales es de 0.5 a 2.0 mm.



**Figura 4.12** Pictografía en color negro. Sitio arqueológico Valle Seco.

Composición global	%
Cuarzo	30
Feldespato potásico	15
Plagioclasa	39
Biotita	15
Esfena	1

El cuarzo se observa en placas irregulares angulosas, siempre en los intersticios y a veces incluido en otros feldespatos más grandes. El feldespato potásico es ortoclasa, en cristales más pequeños que la plagioclasa, no maclados o probablemente con macla Carlsbad. La plagioclasa existe como cristales en forma de tabletas hasta de 4.0 mm de largo, euhedrales, zonales y con maclado polisintético. La biotita está como cristales entre 0.5 a 1.0 mm con trazas de alteración a clorita. La esfena se observa como gránulos diseminados. Hay presencia de un cristal subautomorfo de casi 3.0 mm de largo por 0.5 mm de ancho.

#### Clasificación de la roca.

*Granodiorita plutónica de biotita.*

Color rojo:

Elementos químicos determinados por EDX en la muestra de roca con pintura.

(PR – LM, r/r, rx : 26.1 y 26.2). O, Fe, Si, C, Ca, Al, K, S.

Contenidos en los minerales de la roca: O, Fe, Si, Ca, Al, K.

El oxígeno y silicio están contenidos en todos los minerales de la roca huésped de la pintura como son: plagioclasa, feldespato potásico y biotita, clorita y esfena. El hierro está contenido en la biotita y el calcio lo aparta la plagioclasa y la esfena.

El aluminio está presente en la plagioclasa, feldespato potásico y biotita. y el potasio está contenido en el feldespato potásico y la biotita.

Elementos determinados y no contenidos en la roca son: C, S.

Forman parte de los productos de alteración por intemperismo químico y autigénesis: O, Si, C, Ca, Al.

El carbono se une a la roca durante el proceso de alteración de los feldespatos. Los productos de alteración son: óxidos de silicio, carbonatos básicamente de calcio y silicatos de aluminio hidratados.

Componentes de la pintura: O, Fe, S.

El exceso de hierro es aportado por el mineral de hematita, el que fue utilizado como pigmento de color rojo. Trazo del gráfico rupestre con carbón de fogata.

**h) Sitio arqueológico Los Puntos (PR-LP).** (Véase Figura 1.1, círculo con número 8)

Localización:

UTM: E 600,400 N 3,586,700

Coordenadas Geográficas:

Latitud norte 32° 24' 52.40" Longitud oeste 115° 55' 56.21"

Petrología.

Descripción megascópica.-roca de composición granitoide, de grano grueso, con abundantes puntos negros milimétricos de minerales ferromagnesianos, en una matriz granuda cuarzo-feldespática.

Descripción microscópica.- textura fanerítica, holocristalina hipidiomórfica. La talla del grano va de 2.0 a 5.0 mm y hay tendencia al desarrollo de puntos triples que indican buenas condiciones de cristalización.

El cuarzo es xenomorfo, intersticial, con extinción ondulante. El tamaño de las placas es de 1.0 a 3.0 mm. Las plagioclasas están en forma de tabletas con maclado polisintético y de un tamaño entre 2.0 y 5.0 mm.

Composición global	%
Cuarzo	20
Hornblenda	10
Plagioclasa	59
Biotita	10
Esfena	1

La biotita es de tonos castaños en luz natural, con débil alteración a clorita en los bordes. Contiene inclusiones de apatito y granos de esfena que siguen planos de crucero. Estos planos de crucero a menudo están deformados. La hornblenda se observa en grandes cristales xenomorfos hasta de 5.0 mm, poiquilíticos con inclusiones de biotita. En partes se encuentra actinolizada. La esfena está como placas gruesas, angulosas, intersticiales, de un tamaño hasta 1.0 mm.

#### Clasificación de la roca.

*Plutón Tonalítico de biotita y hornblenda.*

Color blanco

Elementos químicos determinados por EDX en la muestra de roca con pintura.

(PR – LP, b/w, rx : 31, 31.1, 31.2 y 31.3). O, C, Si, Ca, Fe, Al, Mg, K, Na, S.

Contenidos en los minerales de la roca: O, Si, Ca, Fe, Al, Mg, K, Na.

El oxígeno está contenido en todos los minerales que componen la roca huésped de la pintura que son: plagioclasa, cuarzo, biotita, hornblenda, esfena, apatito, actinolita y clorita. El silicio a excepción del apatito en todos los demás minerales que componen la roca huésped de la pintura se encuentra presente.

El calcio es aportado por la plagioclasa, hornblenda, apatito, esfena y actinolita.

El hierro se encuentra en la biotita, hornblenda y actinolita. El aluminio se encuentra en la plagioclasa, biotita y hornblenda y el magnesio esta contenido en la biotita, hornblenda, clorita y actinolita, mientras que el potasio y el sodio se pueden encontrar en la biotita y este ultimo también en la hornblenda.

Elementos determinados y no contenidos en la roca son: C, S.

Forman parte de los productos de alteración por intemperismo químico y autigénesis: O, C, Si, Ca, Al

Los principales productos de alteración de la roca son carbonatos generalmente de calcio, óxidos de silicio y silicatos aluminicos hidratados. El carbono no está presente en los minerales de la roca y su presencia es significativa; se considera que este elemento se incluye durante el proceso de alteración de los feldespatos.

Componentes de la pintura: O, Ca, S.

Estos tres elementos son componentes del mineral de yeso.

Pigmento de color blanco: mineral de yeso.

Color rojo

Elementos químicos determinados por EDX en la muestra de roca con pintura.

(PR – LP, r/r, rx : 33, 33.1 y 33.2). O, C, Ca, Si, Fe, Al, K, Mg.

Contenidos en los minerales de la roca: O, Ca, Si, Fe, Al, K, Mg.

Oxígeno, calcio, silicio, hierro, aluminio, potasio y magnesio presentan las mismas condiciones y características que las descritas para el color blanco.

Elemento determinado y no contenido en la roca: C.

Forman parte de los productos de alteración por intemperismo químico y autigénesis: O, C, Ca, Si, Al

El carbono se asocia a la roca durante el proceso de alteración de los feldespatos y los principales productos de alteración son carbonatos fundamentalmente de calcio, óxidos de silicio y silicatos aluminicos hidratados.

Componentes de la pintura: O, Fe.

El hierro se encuentra en proporciones significativas por lo que se consideró como componente de la pintura, este elemento y el oxígeno son los componentes del mineral de hematita.

Pigmento de color rojo: mineral de hematita.

Color negro.

Elementos químicos determinados por EDX en la muestra de roca con pintura.

(PR – LP, n/b rx: 34, 34.1 y 34.2). C, O, Ca, Si, Fe, Al, K, Mg, Ti.

Contenidos en los minerales de la roca: O, Ca, Si, Fe, Al, K, Mg, Ti.

Oxígeno, calcio, silicio, hierro, aluminio, potasio y magnesio, se encuentran presentes en los minerales indicados para los colores blanco y rojo de este mismo sitio arqueológico, el hierro se encuentra en menores proporciones que en los colores blanco y rojo. El titanio forma parte de la esfena y probablemente de la hornblenda.

Elemento determinado y no contenido en la roca: C.

Forman parte de los productos de alteración por intemperismo químico y autigénesis: C, O, Ca, Si, Al.

La presencia del carbono se debe al proceso de alteración de los feldespatos, este elemento se integra a la roca durante este proceso, también se forman carbonatos principalmente de calcio, óxidos de silicio y silicatos aluminicos hidratados.

Componentes de la pintura: C, O.

El carbono y el oxígeno son parte del pigmento del color negro.

Pigmento de color negro: carbón de fogata.

#### Resumen.

Los colores muestreados y analizados fueron blanco, rojo y negro, en estos tres colores se determinaron los siguientes elementos: oxígeno, silicio, calcio, hierro, aluminio, magnesio y potasio, la presencia del oxígeno y el calcio fue significativa en los tres colores, así como la presencia de hierro en el color rojo, el sodio sólo se presentó en el color blanco y el titanio en el color negro.

El carbono no se encuentra contenido en los minerales que forman la roca y sin embargo se encuentra presente en los tres colores, a este elemento se le consideran dos fuentes de origen, la primera como elemento que se agrega a la roca durante el proceso de alteración de los feldespatos y segundo es el principal componente del carbón de fogata. El azufre, elemento que no está presente en los minerales de la roca, ni es producto de alteración de los minerales componentes de la roca, por lo que se consideró como componente de la pintura.

Los principales productos de alteración de los feldespatos son carbonatos esencialmente de calcio, óxidos de silicio y silicatos de aluminio. Los componentes de las pinturas, en el color blanco son O, Ca y S, estos elementos son parte del mineral de yeso, en el color rojo O y Fe estos elementos constituyen el mineral de hematita y en el color negro C y O, los dos principales elementos del carbón de fogata.

**i) Sitio arqueológico El Murillo, Conjunto Coronado (PR-EM, Conj. Coronado).** (Véase Figura 1.1, círculo con número 9).

Localización:

UTM: E 600,525 N 3, 583,900

Coordenadas Geográficas:

Latitud norte 32° 23' 21.44" Longitud oeste 115° 55' 52.50"

Petrología

Descripción megascópica.- roca de composición granitoide de grano grueso con abundantes puntos diseminados de biotita, en una mesostasis rosada granular de composición feldespática.

Descripción microscópica.- textura panidiomórfica a hipidiomórfica, de un tamaño de grano entre 0.5 a 3.0 mm. Hay zonas con desarrollo de puntos triples en la textura.

El cuarzo se ubica en los intersticios, es de extinción ondulante y xenomorfo. Presenta abundantes cicatrices con inclusiones fluidas secundarias. La plagioclasa se encuentra distribuida de manera abundante en tabletas grandes hasta de 4.0 mm. Presentan invariablemente maclas polisintéticas y estructura zonal. Otros cristales de plagioclasa pequeños flotan en el cuarzo. El feldespato potásico es escaso, son cristales pequeños con macla de Carlsbad, incluidos en cuarzo. La biotita es de composición ferrífera entre 0.5 a 2.0 mm y se relaciona a probable pirita o magnetita. La hornblenda se observa como cristales pequeños aciculares, asociados a minerales opacos.

Composición global	%
Cuarzo	30
Feldespato potásico	5
Plagioclasa	52
Biotita	12
Hornblenda	2
Minerales opacos	1

Clasificación de la roca.

*Tonalita–granodiorita plutónica de biotita.* Hay ligeras evidencias de neumatólisis.

Color verde grisáceo (véase Figura 4.13).



**Figura 4.13** Pictografía. Sitio arqueológico El Murillo: Conjunto Coronado.

Elementos químicos determinados por EDX en la muestra de roca con pintura. (PR – EM, Conj. Coronado, vg/gg, rx: 7 y 7.1). O, Si, Ca, Fe, C, Al, Mg, P, Ti, K.

Contenidos en los minerales de la roca: O, Si, Ca, Fe, Al, Mg, P, Ti, K.

El oxígeno se encuentra en todos los minerales componentes de la roca a excepción de los minerales opacos pirita o magnetita. El silicio se encuentra contenido en la plagioclasa, cuarzo, biotita, feldespato potásico y hornblenda.

El calcio es parte de la plagioclasa y de la hornblenda. El hierro al igual que el magnesio se encuentra en la biotita y en la hornblenda y el aluminio forma parte de la plagioclasa, biotita, feldespato potásico y hornblenda.

En el mineral de apatito que se encuentra fósforo inclusionando a la biotita. La fuente titanio es la hornblenda y el potasio esta presente tanto en la biotita como en el feldespato.

Elemento determinado y no contenido en la roca: C.

Forman parte de los productos de alteración por intemperismo químico y autigénesis: O, Si, Ca, C, Al, principalmente.

El carbono se adhiere a la roca durante el proceso de alteración de los feldespatos, este proceso genera óxidos de silicio, carbonatos generalmente de calcio y silicatos alumínicos hidratados.

Componentes de la pintura: O, Si, Ca, C, Al.

Pigmento de color verde grisáceo: Roca caolín (óxidos de silicio, carbonatos esencialmente de calcio y caolinita).

Color rojo (véase Figura 4.13).

Elementos químicos determinados por EDX en la muestra de roca con pintura.

(PR – EM, Conj. Coronado, r/r, rx: 6 y 6.1). O, Fe, Ca, S, Si, Al, P, K, Mg.

Contenidos en los minerales de la roca: O, Fe, Ca, Si, Al, P, K, Mg.

El oxígeno y el silicio se encuentran presentes en todos los minerales de la roca huésped de la pintura a excepción de los minerales opacos (pirita y magnetita) y estos son: plagioclasa, cuarzo, biotita, feldespato potásico y hornblenda.

El hierro, potasio y el magnesio están presentes en la biotita y en el feldespato potásico. El Calcio se encuentra en la plagioclasa y en la hornblenda.

El aluminio está contenido en la plagioclasa, biotita, feldespato potásico y hornblenda y el fósforo contenido en el mineral de apatito, no fue determinado por petrografía.

Elemento determinado y no contenido en la roca: C.

Forman parte de los productos de alteración por intemperismo químico y autigénesis: O, Si, Al.

Procesos de alteración: oxidación y caolinización.

Componentes de la pintura: O, Fe, Ca, S.

El oxígeno y el hierro son los componentes del mineral de hematita, oxígeno, calcio y azufre son los principales componentes del mineral de yeso.

Componentes de la pintura de color rojo: mineral de hematita (pigmento) + mineral de yeso (trazo del dibujo rupestre).

Color rojo oscuro (véase Figura 4.13).

Elementos químicos determinados por EDX en la muestra de roca con pintura. (PR – EM, Conj. Coronado, ro/dr, rx: 9 y 9.1). O, Ca, S, Si, Al.

Contenidos en los minerales de la roca: O, Ca, Si, Al.

El oxígeno, calcio, silicio y aluminio, se encuentran con las mismas características y bajo las mismas condiciones que para el color verde grisáceo.

Elemento determinado y no contenido en la roca: S.

Forman parte de los productos de alteración por intemperismo químico y autigénesis: O, Si, Al.

Componentes de la pintura: O, Ca, S.

Pigmento de color rojo oscuro: mineral de yeso.

Color negro (véase Figura 4.13).

Elementos químicos determinados por EDX en la muestra de roca con pintura. (PR – EM, Conj. Coronado, n/b, rx: 8 y 8.1). O, Ca, C, Si, Fe, Al, K, Mg.

Contenidos en los minerales de la roca: O, Ca, Si, Fe, Al, K, Mg.

Los elementos oxígeno, calcio, silicio, hierro, aluminio, potasio y magnesio se encuentran en los mismos minerales que en el color verde grisáceo (blanco). El incremento del hierro puede ser por la presencia de la biotita que es ferrífera y a la magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) y probablemente a la pirita ( $\text{FeS}_2$ ) aunque no se encontró azufre, además de la hornblenda que también pudieron contribuir a este incremento, todo esto como parte de los componentes de la roca y no de la pintura.

Elemento determinado y no contenido en la roca: C.

Forman parte de los productos de alteración por intemperismo químico y autigénesis: O, Ca, C, Si, Al.

El carbono se añade a la roca durante el proceso de alteración de los feldespatos, estos procesos son: oxidación, carbonatación destacando el calcio y caolinización.

Componentes de la pintura: O, C.

Pigmento de color negro: carbón de fogata.

#### Resumen.

En el sitio arqueológico El Murillo. Conjunto Coronado, se muestrearon cuatro colores, estos fueron verde grisáceo, rojo, rojo oscuro y negro. El agregado de elementos químicos determinados por EDX obtenidos en los cuatro colores fueron: O, Si, Ca, Fe, C, Al, Mg, P, Ti, K, S.

Los elementos contenidos en los minerales de la roca son: O, Si, Ca, Fe, Al, Mg, P, Ti, K. los elementos no contenidos en la roca y determinados por EDX son: C (verde grisáceo), S (rojo y rojo oscuro) y C (negro). El carbono se integra a la roca durante el proceso de alteración de los feldespatos, los productos de alteración obtenidos son óxidos de silicio, silicatos aluminicos hidratados y carbonatos esencialmente de calcio. Los componentes de las pinturas son: O, Si, Ca, C, Al, para el color verde grisáceo, estos elementos conforman el caolín (óxidos, silicatos y carbonatos), para el rojo O y Fe que constituyen el mineral de hematita y O, Ca y S, estos tres componentes son parte del mineral de yeso presumiblemente utilizado para bosquejar los gráficos rupestres, en el color rojo oscuro este mineral se utilizó también como pigmento y en el color negro O y C, que son componentes del carbón de fogata pigmento de este color.

**j) Sitio arqueológico El Murillo, Conjunto La Paz (PR-EM, Conj. L P).** (Véase Figura 1.1, círculo con número 9).

#### Localización:

UTM: E 600,525 N 3, 583,900

Coordenadas Geográficas:

Latitud norte 32° 23' 21.44"

Longitud oeste 115° 55' 52.50"

#### Petrología.

Descripción megascópica.- roca de composición granitoide de textura fanerítica de grano grueso. La matriz granuda es rosada y se compone de feldespato, en el cual flotan numerosos ferromagnesianos de biotita.

Descripción microscópica.- la textura es holocristalina panidiomórfica, el tamaño de los cristales es de 0.3 a 4.0 mm.

Composición global	%
Cuarzo	35
Plagioclasa	55
Biotita	10

El cuarzo es de dos tipos: uno en cristales pequeños euhedrales y otro en grandes placas xenomorfas en los intersticios, con débil extinción ondulante. La plagioclasa se observa en forma de cristales grandes como tabletas, hasta de 4 mm, presentan maclado polisintético y combinado Carlsbad-polisintético, presentan además leve estructura zonal. La biotita está como láminas menores de 0.5 mm, formas alargadas o secciones basales muy cafés. Por sus tonos en luz natural se deduce una composición ferrífera.

Clasificación de la roca:

*Tonalita de biotita plutónica.*

Color blanco.

Elementos químicos determinados por EDX en la muestra de roca con pintura. (PR – EM, Conj. La Paz b/w rx:10 y 10.1). O, C, Ca, Si, Al, Fe.

Contenidos en los minerales de la roca: O, Ca, Si, Al, Fe.

El silicio y el oxígeno se encuentran en todos los minerales que conforman la roca: plagioclasa, cuarzo, y biotita que es ferrífera, mientras que el calcio lo provee la plagioclasa. El aluminio se encuentra en la plagioclasa y la biotita, siendo esta última la fuente del hierro.

Elemento determinado y no contenido en la roca: C.

Forman parte de los productos de alteración por intemperismo químico y autigénesis: O, C, Ca, Si, Al.

El carbono lo provee el proceso de alteración de los feldespatos, este se fija en la roca durante este proceso, los productos que se generan son carbonatos principalmente de calcio, óxidos de silicio y silicatos alumínicos hidratados.

Componentes de la pintura: O, C, Ca, Si, Al.

Pigmento de color blanco: Roca caolín (carbonatos de calcio, óxidos de silicio y caolinita).

Color verde grisáceo (véase Figura 4.14).

Elementos químicos determinados por EDX en la muestra de roca con pintura. (PR – EM, Conj. La Paz, vg/gg, rx:3 y 3.1). O, C, Ca, Si, Al, Fe, S, K, Mg, P.

Contenidos en los minerales de la roca: O, Ca, Si, Al, Fe, K, Mg, P.

El oxígeno al igual que el silicio, están contenidos en los minerales de plagioclasa, cuarzo y biotita.

El calcio por su parte se encuentra en la plagioclasa. El aluminio forma parte de la plagioclasa y biotita. Es en la biotita que se encuentran como constituyentes al hierro, potasio y magnesio, mientras que el fósforo se encuentra en el mineral de apatito, no determinado en la sección delgada, pero se encuentra inclusionando a la biotita.

Elementos determinados y no contenidos en la roca: C y S.

Forman parte de los productos de alteración por intemperismo químico y autigénesis: O, C, Ca, Si, Al.

El carbono se agrega a la roca durante el proceso de alteración de los feldespatos. Los productos de este proceso son carbonatos mayormente de calcio, óxidos de silicio y silicatos alumínicos hidratados.

Componentes de la pintura: O, C, Ca, Si, Al, S.

A excepción del azufre los demás elementos son parte del caolín. El azufre, oxígeno y calcio son parte del mineral de yeso,

Pigmento para el color verde grisáceo: caolín + yeso (trazo).



**Figura 4.14** Pictografía. Sitio arqueológico El Murillo: Conjunto La Paz.

#### Resumen.

Los colores muestreados y analizados fueron blanco y verde grisáceo. Los elementos químicos determinados por EDX y contenidos en los minerales de la roca fueron O, Ca, Si, Al, Fe, K, Mg, P y el elemento determinado y no contenido en la roca en el color blanco fue C, y en el color verde grisáceo fueron C y S. El carbono se anexó a la roca durante el proceso de alteración de los feldespatos, los productos resultantes de este proceso son óxidos de silicio y silicatos aluminicos hidratados. Los componentes de la pintura, para ambos casos se utilizó el caolín como pigmento en ambos colores y agregándose el yeso al caolín en el color verde grisáceo.

**k) Sitio arqueológico La Milla, Conjunto "A" (PR - LMi, Conj."A").** (Véase Figura 1.1, círculo con número 10).

#### Localización:

UTM: E 599,070 N 3, 572,350

Coordenadas Geográficas:

Latitud norte 32° 17' 06.85"      Longitud oeste 115° 56' 52.52"

Morfología del sitio.

Bloque rocoso que se encuentra cubriendo hendidura formada por el límite de dos bloques que le sirven de soporte al bloque con la pictografía. La hendidura tiene forma de embudo tabular con su mayor área de apertura en la parte superior estrechándose hacia abajo. La parte inferior del bloque rocoso sirve como tapadera de la hendidura.

Petrología.

Descripción megascópica.- roca ígnea intrusiva, su textura es fanerítica de grano medio a grueso, deleznable, arenosa, formada de una masa feldespática y cuarzo hay puntos diseminados de biotita.

Descripción microscópica.- roca de textura holocristalina panidiomófica de 0.3 a 2.0 mm. En ciertas zonas se advierte la presencia de puntos triples.

Composición global	%
Cuarzo	20
Plagioclasa	40
Feldespato potásico	28
Biotita	12

El cuarzo siempre se observa como placas angulosas en los intersticios. Las plagioclasas son subhedrales, con macla polisintética, a veces con estructura zonal. El feldespato potásico se distingue por no presentar maclado o a veces con macla de Carlsbad. La biotita está como pequeños cristales menores de 0.5 mm, como tabletas alargadas con crucero paralelo hasta de 1.0 mm de largo por 0.4 mm de ancho. Es de composición ferrífera. Se observa también en los intersticios evidenciando carácter tardío.

Clasificación de la roca:

Granodiorita plutónica de biotita.

Color negro (véase Figura 4.15).



**Figura 4.15** Aviario en cielo pétreo, dibujos de aves al carbón. Sitio arqueológico La Milla: Conjunto "A".

Elementos químicos determinados por EDX en la muestra de roca con pintura. (PR – LMi. Conj. "A", n/b, rx: 19\_21.1 y 19\_21.2). O, C, Fe, Si, Ca, Mn, Al, Mg, P, K, Na, Ti, Cl.

Contenidos en los minerales de la roca: O, Fe, Si, Ca, Al, Mg, P, K, Na, Ti, Cl.

El oxígeno se encuentra en los minerales componentes de la roca huésped de la pintura: plagioclasa, feldespato potásico, cuarzo y biotita. El hierro y el magnesio provienen de la biotita, mientras que el silicio está presente en prácticamente todos los minerales componentes de la roca determinados por petrografía microscópica. Una de las fuentes de calcio es la plagioclasa y posiblemente el mineral de apatito. La plagioclasa, el feldespato potásico y la biotita son fuente de aluminio. El fósforo se proviene del mineral de apatito al igual que el cloro, aunque este no fue determinado por petrografía. El potasio está contenido en el feldespato potásico y el sodio es parte de la plagioclasa.

La presencia de titanio se debe probablemente a la hornblenda (no determinada por petrografía) asociada con biotita.

Elementos determinados y no contenidos en la roca: C, Mn.

Forman parte de los productos de alteración por intemperismo químico y autigénesis: O, C, Si, Ca, Al, principalmente.

Procesos de alteración: oxidación, carbonatación y caolinización (óxidos de silicio, carbonatos predominantemente de calcio y silicatos aluminicos hidratados). El carbono se incorpora a la roca durante el proceso de alteración de los feldespatos.

Componentes de la pintura: O, C, Mn.

El oxígeno y el carbono son componentes del carbón de fogata, y oxígeno y manganeso juntos constituyen el mineral pirolusita.

Pigmentos de color negro: carbón de fogata + pirolusita ( $MnO_2$ ).

**I) Sitio arqueológico La Milla, Conjunto “B” (PR - LMi, Conj. “B”).** (Véase Figura 1.1, círculo con número 10).

Localización:

UTM: E 599,070 N 3, 572,350

Coordenadas Geográficas:

Latitud norte 32° 17' 06.85" Longitud oeste 115° 56' 52.52"

Morfología del sitio.

Pared o frente rocoso.

Petrología.

Descripción megascópica.- roca ígnea intrusiva de composición granitoide, de textura fanerítica de grano medio, deleznable, arenosa con numerosas diseminaciones de biotita fina, su matriz granular es esencialmente feldespática, contiene cuarzo.

Descripción microscópica.- roca de textura holocristalina, hipidiomórfica a panidiomórfica. La talla de grano generalmente va de 0.5 a 1.0 mm.

Composición global	%
Cuarzo	25
Feldespato potásico	38
Plagioclasa	25
Biotita	12

El cuarzo se presenta en cristales euhedrales y subhedrales bien formados, flotando también en feldespato potásico. El feldespato potásico es ortoclasa, que se comporta como una masa xenomorfa, en la cual flotan los minerales previamente formados. La plagioclasa está siempre en cristales automorfos con las esquinas levemente redondeadas, presentan macla polisintética y estructura zonal. Las plagioclasas, al igual que la biotita, flotan en una masa de feldespato potásico tardío. La biotita se observa como pequeños cristales de tonos cafés en luz natural y como pequeñas laminillas alargadas menores de 0.2 mm. A veces los cristales parecen burdamente orientados. Existen trazas de sericita de alteración que afecta las plagioclasas.

Clasificación de la roca:

*Microgranito plutónico de biotita.*

Color rojo

Elementos químicos determinados por EDX en la muestra de roca con pintura. (PR – LMi. Conj. "B", r/r, rx: 18 y 18.1). O, Ca, C, P, Si, Fe, Al, Mg, Cl, K, S.

Contenidos en los minerales de la roca: O, Ca, P, Si, Fe, Al, Mg, Cl, K.

El silicio al igual que el oxígeno y el aluminio, forman parte de todos los minerales de la roca huésped de la pintura: feldespato potásico, plagioclasa, cuarzo, biotita y sericita. El calcio proviene de la plagioclasa. El fósforo es parte del mineral apatito (clorapatito) contenido en la roca al igual que el cloro, aunque no fueron determinados por petrografía en sección delgada. Mientras que el hierro y el magnesio forman parte de la composición de la biotita.

Elementos determinados y no contenidos en la roca: C, S.

Forman parte de los productos de alteración por intemperismo químico y autigénesis: O, Ca, C, Si, Al.

El carbono se integra a la roca durante la alteración de los feldespatos, los demás elementos son parte de los minerales que conforman la roca.

Los procesos de alteración son: carbonatación, oxidación y caolinización. (Carbonato principalmente de calcio, óxidos de silicio y silicato alumínico hidratado).

Componentes de la pintura: O, Ca, Fe, S.

Pigmentos de color rojo: mineral de hematita (pigmento) + carbón de fogata (trazo de gráfico rupestre).

**m) Sitio arqueológico El Hoyo (PR-EH).** (Véase Figura 1.1, círculo con número 11).

Localización:

UTM: E 640,900 N 3, 572,400

Coordenadas Geográficas:

Latitud norte 32° 17' 06.57" Longitud oeste 115° 53' 09.65"

Morfología del sitio.

Pared o frente rocoso.

Petrología.

Descripción megascópica.- roca granitoide de grano medio a fino, deleznable, arenosa. La composición es feldespática, con numerosos puntos diseminados de micas.

Descripción microscópica.- textura holocristalina, hipidiomórfica de grano medio a fino. En zonas se desarrollan texturas mirmequíticas.

Composición global	%
Cuarzo	25
Plagioclasa	30
Feldespato potásico	37
Biotita	8

El cuarzo se observa en grandes placas xenomorfas con extinción ondulante. La plagioclasa se observa en cristales euhedrales y subhedrales hasta de 2.0 mm, con gemelación polisintética y débilmente zonal. Estas plagioclasas euhedrales flotan en una matriz xenomorfa de microclina. La biotita se presenta en cristales menores de 1.0 mm, es de tonos castaños de tipo ferrífera.

Clasificación de la roca:

Roca plutónica consistente en un *granito de biotita*.

Color negro

Elementos químicos determinados por EDX en la muestra de roca con pintura.

(PR – EH, n/b, rx: 17). O, Ca, C, Si, Fe, Al, K, Mg.

Contenidos en los minerales de la roca: O, Ca, Si, Fe, Al, K, Mg.

El oxígeno, el silicio y el aluminio están presentes en casi todos los minerales de la roca huésped de la pintura del sitio arqueológico.: feldespato potásico, plagioclasa, cuarzo y biotita. El calcio es parte de la plagioclasa y el hierro y el magnesio se encuentran en la biotita. El potasio está contenido tanto en el feldespato potásico como en la biotita.

Elemento determinado y no contenido en la roca: C.

Forman parte de los productos de alteración por intemperismo químico y autigénesis: O, Ca, C, Si, Al.

Los procesos de alteración son oxidación, carbonatación y caolinización (óxidos de silicio, carbonato de calcio predominantemente y silicato alumínico hidratado).

El carbono se integra a la roca durante la alteración de los feldespatos.

Componentes de la pintura: O, C.

Oxígeno y carbono son parte de los componentes de carbón de fogata, utilizado como pigmento para el color negro.

**n) Sitio arqueológico Las Pilitas (PR-LPItas).** (Véase Figura 1.1, círculo con número 12).

Localización:

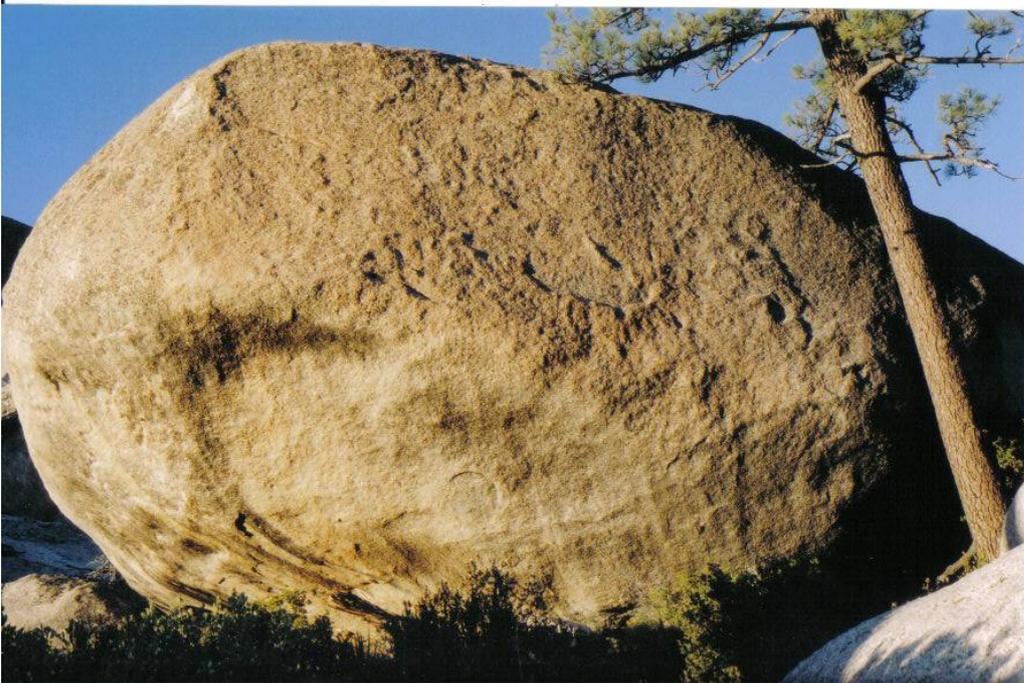
UTM: E 588,050 N 3,567,050

Coordenadas Geográficas:

Latitud norte 32° 14' 18.06" Longitud oeste 116° 03' 55.53"

Morfología del sitio:

Canto esferoidal (ovoide), en el hemisferio inferior se encuentran las pinturas.



**Figura 4.16** Canto ovoide de granodiorita. Sitio arqueológico Las Pilitas.

Petrología.

Descripción megascópica.- roca blanca de composición granitoide de grano grueso, compuesta por feldspatos y menos de 10% de minerales ferromagnesianos diseminados.

Descripción microscópica.- textura hipidiomórfica de grano grueso. Los cristales llegan a medir hasta 6.0 mm.

Composición global	%
Cuarzo	49
Plagioclasa	40
Feldespato potásico	5
Biotita	5
Hornblenda	1

El cuarzo se ubica como placas irregulares que cementan las plagioclasas. Los cristales mayores de plagioclasas, los cuales son alargados con una relación largo por ancho de 3:1. Presentan macla polisintética y estructura zonal. El feldespato potásico es escaso, no tiene macla y parece ortoclasa. La biotita se encuentra diseminada y parece tardía, ya que se introduce entre los minerales claros. Hay trazas de hornblenda mal formada probablemente transformada a actinolita y asociada con biotita.

Clasificación de la roca:

*Granodiorita plutónica rica en cuarzo y pobre en biotita.*

Color blanco

Elementos químicos determinados por EDX en la muestra de roca con pintura. (PR – L Pltas, b/w, rx: 12 y 12.1). O, C, Ca, Si, S, Al, Fe, K.

Contenidos en los minerales de la roca: O, Ca, Si, Al, Fe, K.

El silicio al igual que el oxígeno se encuentra en todos los minerales componentes de la roca del sitio arqueológico: cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico, biotita, hornblenda y actinolita.

El calcio es parte de la plagioclasa, hornblenda y probablemente actinolita.

En la plagioclasa, feldespato potásico, biotita y hornblenda se encuentra aluminio y el hierro esta presente en tres minerales componentes de la roca: biotita, hornblenda y actinolita, mientras que el potasio es componente en la plagioclasa y en la biotita.

Elementos determinados y no contenidos en la roca: C, S.

Forman parte de los productos de alteración por intemperismo químico y autigénesis: O, C, Ca, Si, Al.

Los procesos de alteración son carbonatación, oxidación y caolinización. Produciendo carbonatos de calcio generalmente, óxidos de silicio y silicato aluminico hidratado. El carbono se integra a la roca en el proceso de alteración de los feldespatos, produciendo carbonatos.

Componentes de la pintura: O, Ca, S.

Pigmento de color blanco: mineral de yeso.

Color rojo (véase Figura 4.17).



**Figura 4.17** Pictografía el pino real y el saurio. Sitio arqueológico Las Pilitas.

Elementos químicos determinados por EDX en la muestra de roca con pintura. (PR – L Pltas, r/r, rx: 14 y 14.1). O, Si, Fe, C, Ca, Al, K, Mg, Na, S.

Contenidos en los minerales de la roca: O, Si, Fe, Ca, Al, K, Mg, Na.

Los orígenes de los elementos oxígeno, silicio, hierro, calcio, aluminio, y potasio, son los mismos que para el color blanco, el magnesio es parte de la biotita, hornblenda y actinolita y el sodio se encuentra en la plagioclasa y hornblenda.

Elementos determinados y no contenidos en la roca: C, S.

Forman parte de los productos de alteración por intemperismo químico y autigénesis: O, Si, C, Ca, Al, principalmente.

El carbono pasa a ser parte de la roca, durante el proceso de alteración de los feldespatos. Los procesos de alteración son oxidación, carbonatación y caolinización generando óxidos de silicio, carbonatos mayormente de calcio y silicato aluminico hidratado.

Componentes de la pintura: O, Fe, Ca, S.

El hierro no sólo es parte de algunos minerales de la roca, si no que también forma parte de los componentes de la pintura su presencia significativa, se debe al mineral de hematita usado como pigmento del color rojo. El azufre no forma parte de los minerales que forman la roca, por lo que su presencia se asume que es parte de la pintura y este proviene del carbón de fogata utilizado como pigmento y para trazo de los gráficos.

Pigmento para el color rojo: Hematita pigmento principal + carbón de fogata (trazo).

Color negro

Elementos químicos determinados por EDX en la muestra de roca con pintura. (PR – L Pltas, n/b, rx: 13, 13.1 y 13.2). O, C, Ca, Na, Cl, Si, Al.

Contenidos en los minerales de la roca: O, Ca, Na, Cl, Si, Al.

El oxígeno, calcio, sodio, silicio y aluminio son parte de los componentes de la roca, por lo tanto su fuente de origen es la misma que la mencionada para los colores blanco y rojo.

La presencia de Cloro, se debe al mineral apatito (clorapatito), el cual es común que se encuentre en las rocas granitoides de la región de estudio, este mineral está inclusionando a la biotita.

Elemento determinado y no contenido en la roca: C.

Forman parte de los productos de alteración por intemperismo químico y autigénesis: O, C, Ca, Si, Al.

El carbono se adiciona a la roca durante el proceso de alteración de los feldespatos. Los productos de alteración son esencialmente carbonatos principalmente de calcio, óxidos de silicio y silicatos aluminicos hidratados.

Componentes de la pintura: O, C.

Pigmento de color negro: carbón de fogata.

### Resumen.

En este sitio arqueológico, se obtuvieron muestras de los siguientes colores: blanco, rojo y negro. Los elementos químicos determinados por EDX y presentes en los minerales que forman la roca de este sitio son oxígeno, calcio, silicio, aluminio hierro, potasio, sodio magnesio y cloro. Los elementos que no son parte de la roca y se determinaron son carbono presente en los tres colores y azufre que sólo se encontró en los colores blanco y rojo. El carbono se adhiere a la roca durante el proceso de alteración de los feldespatos, además de ser el principal componente del carbón de fogata utilizado como pigmento del color negro. En el color blanco se utilizó el mineral de yeso como pigmento para este color, el mineral de hematita para el color rojo y para el trazo carbón de fogata y carbón de fogata en el color negro.

### **4.3. Región arqueológica Cañón de Guadalupe**

**a) Sitio arqueológico Resguardo de La Cruz (PR-R de LC).** (Véase Figura 1.1, círculo con número 13).

#### Localización:

UTM: E 612, 569.95

N 3,557, 451.63

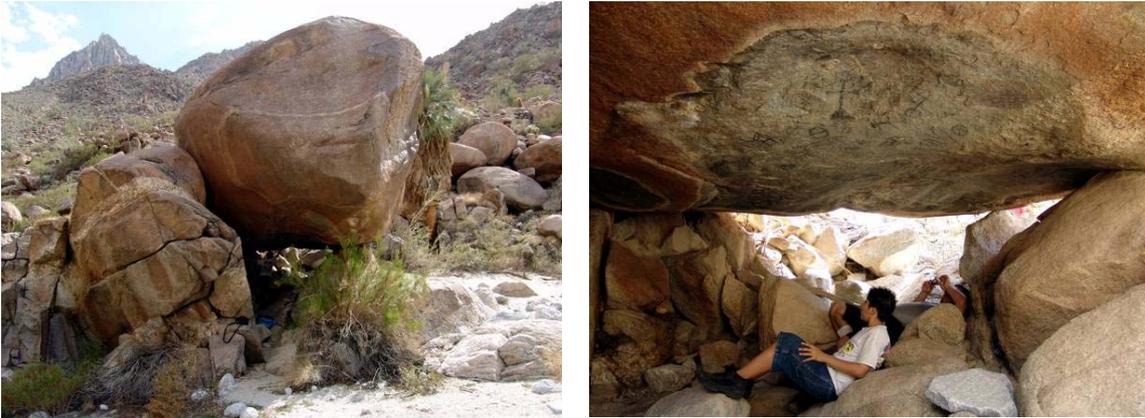
Coordenadas Geográficas:

Latitud norte 32° 08' 58.49"

Longitud oeste 115° 48' 22.83"

#### Morfología del sitio:

Canto redondeado embancado, las pinturas se localizan en el polo inferior (véase Figura 4.18).



**Figura 4.18** Canto redondeado embancado en cantos rocosos menores. Región arqueológica Cañón de Guadalupe, sitio Resguardo de La Cruz, *derecha*, acercamiento.

#### Petrología.

Descripción megascópica.- roca de composición granitoide, blanca, de composición feldespática, con puntos diseminados de minerales ferromagnesianos.

Descripción microscópica.- textura holocristalina panidiomórfica. La talla de los cristales es de 1.0 a 3.0 mm. En zonas hay desarrollo de texturas mirmequíticas.

Composición global	%
Cuarzo	20
Plagioclasa	40
Feldespato potásico	32
Biotita	8

El cuarzo se observa en grandes placas irregulares hasta de 4.0 mm, entre los intersticios de los feldespatos. El cuarzo presenta extinción ondulante. La plagioclasa existe en abundantes cristales en forma de tabletas, macladas de manera polisintética. El feldespato potásico parece microclina, pero con maclado en tapete mal desarrollado. Entre los feldespatos y el cuarzo existen mirmequitas. La biotita está como hojuelas hasta de 1.0 mm, de tonos castaños

en luz natural, por su composición ferrífera y se altera débilmente a clorita. Existen trazas de epidota ferrífera (pistachita) y de biotita secundarias.

Clasificación de la roca:

Plutón de composición *granodiorítico de biotita*.

Color rojo naranja

Elementos químicos determinados por EDX en la muestra de roca con pintura. (PR – R de LC, rn/or, rx: s/n). O, Ca, C, Fe, Si, S, Al, Cl, K, Na, Mg.

Contenidos en los minerales de la roca: O, Ca, Fe, Si, Al, Cl, K, Na, Mg.

El oxígeno y el silicio se encuentran en todos los minerales que forman la roca como son: plagioclasa, feldespato potásico, cuarzo, biotita, clorita y epidota ferrífera (pistachito). El calcio está presente en la plagioclasa, epidota ferrífera (pistachito).

El hierro se encuentra en la biotita, epidota ferrífera (pistachito). El aluminio es parte de la plagioclasa, feldespato potásico, biotita, epidota ferrífera (pistachito) y el cloro se encuentra en el mineral de apatito (clorapatito), no se encontró en sección delgada. El potasio es parte del feldespato potásico y de la biotita, el sodio se encuentra en la plagioclasa y el magnesio forma parte de los minerales de biotita y clorita.

Elementos determinados y no contenidos en la roca: C, S.

Forman parte de los productos de alteración por intemperismo químico y autigénesis: O, Ca, C, Si, Al.

El carbono se incluye en la roca durante el proceso de alteración de los feldespatos. Los procesos de alteración son carbonatación oxidación y caolinización y los productos son carbonatos esencialmente de calcio, óxidos de silicio y silicatos alumínicos hidratados.

*Componentes de la pintura:*

O, Fe o O, Ca, Fe, S.

El pigmento es un óxido de hierro y por el color pudiera corresponder a goethita que es un mineral hidratado, el contenido de agua pudiera ser el responsable de esa tonalidad.

#### Color rojo

Elementos químicos determinados por EDX en la muestra de roca con pintura. (PR – R de LC, r/r, rx: s/n). O, Ca, C, Si, S, Al, Fe, Mg, Cl, K.

Contenidos en los minerales de la roca: O, Ca, Si, Al, Fe, Mg, Cl, K.

Se encuentran contenidos en los mismos minerales que para el color rojo naranja.

Elementos determinados y no contenidos en la roca: C, S.

Forman parte de los productos de alteración por intemperismo químico y autigénesis: O, Ca, C, Si, Al.

El carbono se suma a la roca durante el proceso de alteración de los feldespatos. Los procesos de alteración son carbonatación oxidación y caolinización y los productos son carbonatos mayormente de calcio, óxidos de silicio y silicatos alumínicos hidratados.

Componentes de la pintura: O, Ca, S, Fe.

El pigmento para el color rojo es: el mineral de hematita y la presencia del azufre se debe al mineral de yeso, este último utilizado para bosquejar.

#### Color negro

Elementos químicos determinados por EDX en la muestra de roca con pintura. (PR – R de LC, n/b, rx: A). O, C, Ca, Si, Al, S, Fe, K, Cl, Mg, Na.

Contenidos en los minerales de la roca: O, Ca, Si, Al, Fe, K, Cl, Mg, Na.

Los minerales que contienen a estos elementos son los mismos que los mencionados para el color rojo naranja.

Elementos determinados y no contenidos en la roca: C, S.

Forman parte de los productos de alteración por intemperismo químico y autigénesis: O, C, Ca, Si, Al.

El carbono se anexa a la roca durante el proceso de alteración de los feldespatos. Los procesos de alteración son carbonatación oxidación y caolinización y los productos son carbonatos predominantemente de calcio, óxidos de silicio y silicatos alumínicos hidratados.

Componentes de la pintura: O, C, S.

Oxígeno y carbono son los dos principales componentes del carbón de fogata, el azufre es un compuesto menor de este carbón.

Pigmento para el color negro: carbón de fogata.

#### Resumen.

En los tres colores analizados para este sitio arqueológico que son: rojo naranja, rojo y negro, los elementos químicos determinados por EDX y que se encuentran contenidos en los minerales de la roca son: oxígeno, calcio, hierro, silicio, aluminio, cloro, potasio, magnesio y sodio, este último sólo se determinó en el rojo naranja y negro. Los elementos determinados y no contenidos en la roca son carbono y azufre. El carbono se agrega a la roca durante el proceso de alteración de los feldespatos, la fuente del azufre se considera que es a partir del mineral de yeso o bien como componente menor del carbón de fogata. Los componentes de la pintura para los colores rojo naranja y rojo, para el primero un óxido de hierro hidratado como el mineral goethita o bien mineral de hematita ubicada sobre el trazo con mineral de yeso, esto último también para el color rojo y en el color negro el pigmento es el carbón de fogata, el incremento de carbono en este color es muy significativa.

**b) Sitio arqueológico La Tinaja Partida (PR-LTP).** (Véase Figura 1.1, círculo con número 14)

#### Localización:

UTM: E 617,100 N 3, 559,400

Coordenadas Geográficas:

Latitud norte 32° 10' 00.09" Longitud oeste 115° 45' 29.08"

#### Morfología del sitio:

Frente rocoso o paredón.

Petrología.

Descripción megascópica.- roca hololeucócrata de composición granítica de grano medio a grueso. Se aprecia una masa granuda feldespática en la que se observan diseminadas hojuelas de mica blanca.

Descripción microscópica.- textura holocristalina, hipidiomórfica.

Composición global	%
Cuarzo	25
Plagioclasa	30
Feldespato potásico	38
Moscovita	5
Biotita	2

El cuarzo aparece en placas intersticiales con extinción ondulante. La plagioclasa existe como cristales subhedrales hasta de 2.0 mm con maclado polisintético. El feldespato potásico es xenomorfo, tardío, se mete entre los cristales de plagioclasa, no está maclado y es probablemente ortoclasa. La moscovita se observa en cristales hasta de 1.0 mm, bien formados, de otro tipo, pero más escasa se observa alargada como filamentos, parece secundaria y crece sobre los feldespatos. La escasa biotita contiene inclusiones de apatito.

Clasificación de la roca:

*Granito hololeucocrata plutónico de dos micas (moscovita+biotita).*

Color rojo oscuro

Elementos químicos determinados por EDX en la muestra de roca con pintura. (PR – LTP, ro/dr, rx: s/n). O, Fe, C, Ca, Si, Al, S, Mg, Cl, Na, K.

*Contenidos en los minerales de la roca:*

O, Fe, Ca, Si, Al, Mg, Cl, Na, K.

El oxígeno está presente en el feldespato potásico, plagioclasa, cuarzo, moscovita, biotita y apatito.

El hierro y el magnesio están presentes en la biotita. El calcio forma parte de la plagioclasa y del apatito. El silicio y el aluminio se encuentran en el feldespato potásico, plagioclasa, cuarzo, moscovita y biotita. El cloro está contenido en el apatito (clorapatito) mientras que el sodio es parte de la plagioclasa. El potasio esta presente en el feldespato potásico, moscovita y biotita.

Elementos determinados y no contenidos en la roca: C, S.

Forman parte de los productos de alteración por intemperismo químico y autigénesis: O, C, Ca, Si, Al.

El carbono se une a la roca durante el proceso de alteración de los feldespatos. Los procesos de alteración son carbonatación oxidación y caolinización y los productos son carbonatos principalmente de calcio, óxidos de silicio y silicatos alumínicos hidratados.

Componentes de la pintura: O, Fe, C, S.

El oxígeno y el hierro son parte del mineral de hematita, oxígeno, carbono y azufre son parte de los componentes del carbón de fogata, posiblemente utilizado para el trazo.

Pigmento de color rojo: mineral de hematita + carbón de fogata (trazo).

Color negro

Elementos químicos determinados por EDX en la muestra de roca con pintura. (PR – LTP, n/b, rx: s/n). O, Ca, C, Si, Fe, S, Cl, Al, K, Mg, Na.

Contenidos en los minerales de la roca: O, Ca, Si, Fe, Cl, Al, K, Mg, Na.

Estos elementos corresponden a los mismos minerales mencionados para el color rojo oscuro.

Elementos determinados y no contenidos en la roca: C, S.

Forman parte de los productos de alteración por intemperismo químico y autigénesis: O, Ca, C, Si, Al.

El carbono se asocia a la roca durante el proceso de alteración de los feldespatos. Los procesos de alteración son carbonatación oxidación y caolinización y los productos son carbonatos esencialmente de calcio, óxidos de silicio y silicatos alumínicos hidratados.

Componentes de la pintura: O, C, S.

Estos tres elementos forman parte del carbón de fogata, los dos primeros son los elementos principales y el azufre es un componente menor.

Pigmento para el color negro: carbón de fogata.

Resumen.

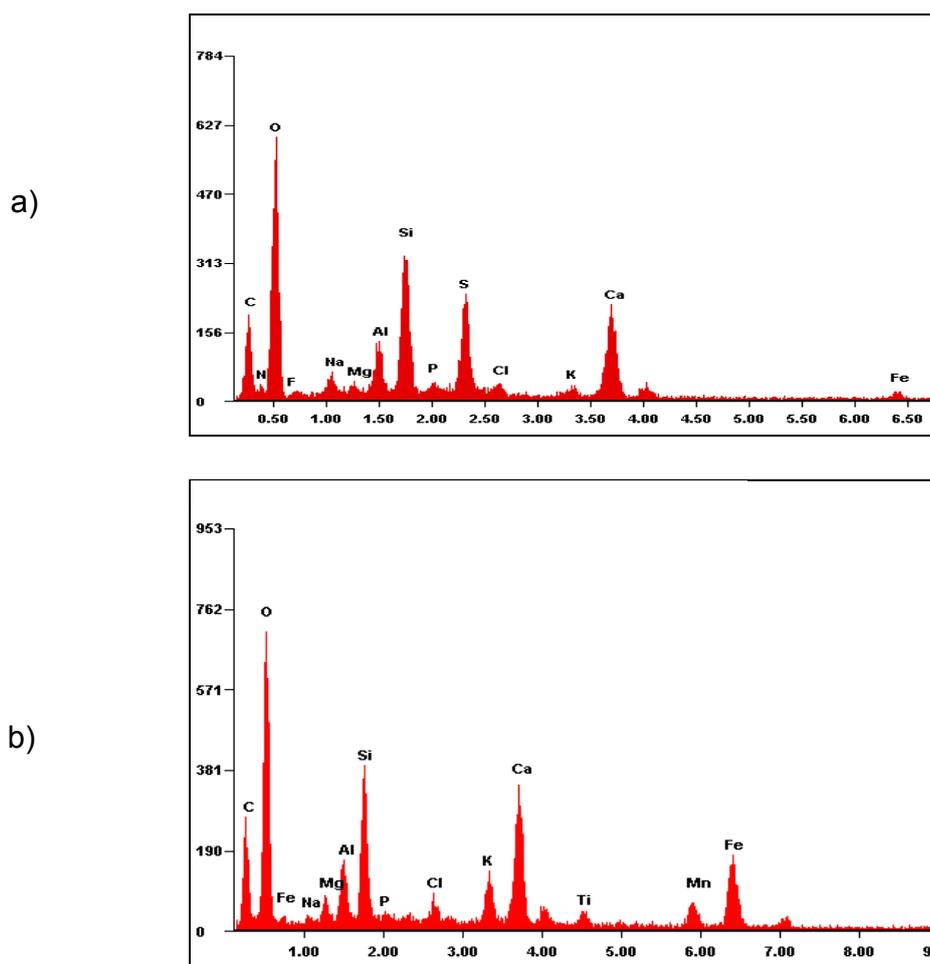
En este sitio arqueológico se obtuvieron dos muestras de roca con pintura, una de color rojo oscuro y la otra de color negro, los elementos químicos comunes a estos dos colores y determinados EDX, contenidos en la roca huésped de la pintura son: oxígeno, silicio, aluminio, magnesio, hierro, calcio, potasio, cloro (apatito) y sodio. Los elementos químicos no contenidos en la roca y determinados por EDX, en los dos colores muestreados son carbono que es más abundante que el azufre. El carbono se añade a la roca durante el proceso de alteración de los feldespatos, otra fuente del carbono y del azufre en el color negro, se debe al carbón de fogata. El carbono en el color negro es ligeramente más abundante que el color rojo oscuro y en este último color el hierro es más abundante que en el color negro. El pigmento para el color rojo es la hematita.

# Capítulo 5

## Discusión de resultados

### 5.1. Discusión de Resultados.

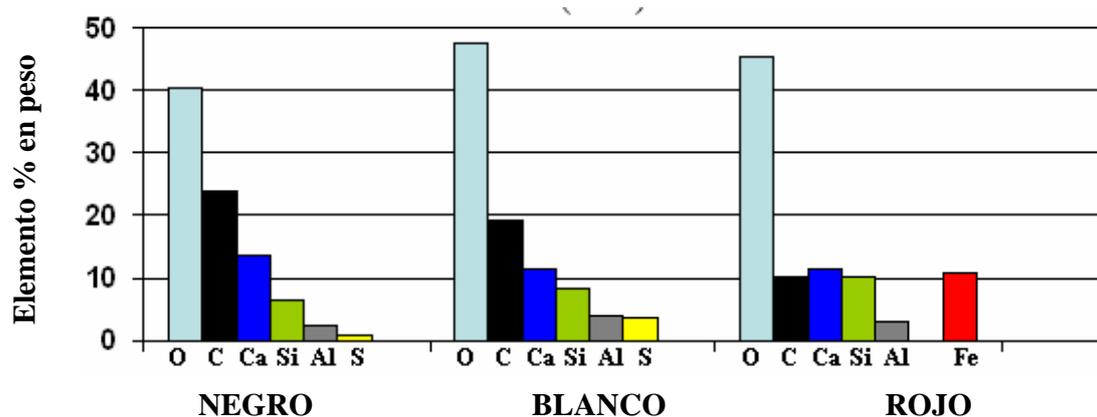
Los elementos químicos determinados por el análisis de las muestras de roca con pintura rupestre mediante el uso de la dispersión de rayos X (EDX) fueron 16. No se encuentra incluido el hidrógeno debido a que el equipo empleado para estos análisis sólo puede determinar los elementos químicos con número atómico a partir del boro con número cinco (véase Figura 5.1). Diez de los elementos del estudio se encuentran en los minerales esenciales como el cuarzo, plagioclasas, feldespatos potásicos, biotita, moscovita, hornblenda, actinolita, mientras que el resto de los elementos son parte de los pigmentos denominados núcleos o minerales semilla y de los productos de alteración de las rocas.



**Figura 5.1** Espectros de rayos X, a) muestra de roca con pintura de color negro. Sitio arqueológico El Vallecito: Conjunto. Los Solecitos o Wittinñur y b) de muestra de roca con pintura de color negro. Sitio arqueológico La Milla: Conjunto "A".

Las alteraciones que presentan las rocas huéspedes de las pinturas rupestres, hablando específicamente de los sitios arqueológicos de donde se obtuvieron las muestras para análisis petrográficos y de dispersión de rayos X, se deben principalmente a procesos durante la cristalización del magma, hidrotermalismo, neumatólisis, metamorfismo de contacto, metamorfismo retrógrado en que la biotita se altera débilmente a clorita y alteraciones postcristalización debidas al intemperismo químico y físico, ya en superficie o muy cerca de ella. Los resultados de los análisis de EDX y microscopia electrónica de barrido para las distintas muestras se encuentran concentrados en apéndice A.

La distribución por porcentaje atómico de elementos presentes en los distintos pigmentos de las pinturas rupestres analizadas mediante EDX es mostrado en la Figura 5.2.



**Figura 5.2.** Distribución de los elementos químicos utilizados en las diferentes pinturas rupestres para los colores negro blanco y rojo.

### 5.2. Elementos químicos en rocas con pintura rupestre.

Los elementos químicos de los minerales esenciales de las rocas graníticas ordenados de menor a mayor número atómico son: H, O, Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Fe.

Los minerales accesorios presentes en las rocas son: apatito, esfena, hematita, magnetita y pirita, estos minerales contienen los siguientes elementos

químicos ordenados como anteriormente se mencionó: O, **F**, Si, **P**, **S**, **Cl**, Ca, Ti, Fe.

De estos nueve elementos el F, P, S y Cl, no se encuentran presentes entre los 10 elementos químicos de los minerales esenciales.

Los productos de alteración de los minerales esenciales y accesorios son silicato aluminio hidratado (caolinita), sílice y carbonatos, en estos productos se encuentran presentes los siguientes 10 elementos químicos: H, **C**, O, Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Fe.

El carbono no se encuentra ni en los minerales esenciales ni en los accesorios. Los núcleos (materia orgánica y mineral) o minerales semilla como el caolín, carbón de fogata, hematita, goethita, limonita, pirolusita y yeso introducen nuevos elementos químicos como el nitrógeno y el manganeso que no se encuentran ni en los minerales esenciales, en los accesorios, o en los de alteración. Los elementos químicos contenidos en los núcleos o minerales semilla son: H, C, **N**, O, Na, Al, Si, S, K, Ca, Mn, Fe.

### 5.2.1. Oxígeno, silicio y aluminio

La principal fuente de procedencia del oxígeno, silicio y aluminio es la meteorización de los silicatos de aluminio que constituyen a los feldespatos que son los componentes importantes de las rocas graníticas del área de estudio.

El elemento más abundante determinado por EDX es oxígeno seguido por silicio y aluminio.

**Oxígeno;** forma parte de los minerales que forman las rocas, como son cuarzo, feldespato potásico, plagioclasas, biotita, moscovita, hornblenda, actinolita, esfena, apatito, así como también en sus productos formados por alteración: caolinita, sílice y carbonatos.

**Silicio;** se encuentra en todos los minerales que componen las rocas a excepción del apatito y de los productos de alteración y de los carbonatos.

**Aluminio;** está contenido en el feldespato potásico, plagioclasa, biotita, moscovita, hornblenda y de los productos de alteración tan sólo en la caolinita.

### 5.2.2. Calcio, sodio y potasio.

Su presencia se debe principalmente a los feldespatos de las rocas ígneas o graníticas donde están contenidos los gráficos rupestres. Los feldespatos forman uno de los grupos más importantes de los minerales los cuales son: silicatos de aluminio con potasio, sodio y calcio principalmente.

**Calcio:** la relativa abundancia del calcio sobre el sodio y el potasio se debe a que la plagioclasa cálcica es menos estable y que esta se meteoriza más rápidamente que la plagioclasa sódica y esta a su vez se meteoriza más rápidamente que el feldespato potásico y esto queda de manifiesto en los resultados obtenidos de las muestras de roca con pintura con la técnica de la dispersión de rayos X, cumpliéndose con la serie de estabilidad mineral en la meteorización de Goldich (1938).

El calcio, no sólo es más abundante que el sodio y el potasio, sino que también es más abundante que aluminio e incluso que el silicio para la mayoría de los sitios arqueológicos muestreados.

Cuando hay hierro y la presencia de calcio es un poco mayor, el silicio se encuentra en mayor proporción que el calcio no porque tenga un aumento en su presencia, sino que el calcio empieza a ser sustituido por hierro ferroso  $Fe^{+2}$ , También ocurre en los dibujos de color rojo en los que se emplearon óxidos de hierro como pigmento; en la mayoría de los sitios arqueológicos muestreados, el hierro es más abundante que el calcio porque el mineral semilla o núcleo (óxidos de hierro) es utilizado en la pintura y en parte al hierro contenido en la roca que sustituyen al calcio.

El calcio se encuentra en la hornblenda y en la actinolita, estos son parte de los minerales esenciales de las rocas, de los minerales accesorios en el apatito y la esfena y de los productos de alteración de los feldespatos en el caolín.

**Sodio;** se encuentra en la hornblenda y en los productos de alteración de las plagioclasas.

**Potasio;** se encuentra en los minerales esenciales como la biotita, moscovita y en el producto de alteración de los feldespatos potásicos.

### 5.2.3. Carbono, hidrógeno, nitrógeno y manganeso.

**Carbono:** a través del análisis EDX, se determinó este elemento, se encontró presente en todos los colores (blanco, rojo y negro) y en todos los sitios arqueológicos muestreados sólo disminuyendo su frecuencia de aparición en el color rojo, su presencia sólo superada por oxígeno, calcio y silicio esto en cuanto a número de sitios (presencia).

En cuanto a su contenido en por ciento en peso es mayor que calcio y silicio, pero menor que el oxígeno. En el color negro el carbono incrementa su por ciento en peso con respecto al color rojo y al blanco.

En general el contenido en por ciento en peso del carbono es mayor que calcio, silicio y aluminio pero menor que oxígeno. En relación con los colores el carbono es mayor en el negro superando al blanco y al rojo, mientras que en el blanco es más abundante este elemento que en el rojo; en este último el contenido de calcio es ligeramente superior al carbono.

El carbono se encuentra en el anión carbonato  $\text{CO}_3^{-2}$  y en el carbón de fogata o tizón (orgánico), en este último junto con el oxígeno, el hidrógeno, el nitrógeno y el azufre.

Madera: C 49.6%; O 43.2%; H 6.2%; N 0.9%; S trazas. (Clarke, 1924).

De acuerdo a los resultados se cree que el carbón de fogata fue el principal pigmento utilizado para el color negro. Por petrografía microscópica no se detectó carbono y ningún carbonato porque este último es un producto de alteración de los feldespatos y sólo se encuentra sobre la superficie de la roca como una finísima capa, al preparar la sección delgada es la primera en desaparecer por dos aspectos, por el desbaste de la superficie rocosa de la muestra, y porque se emplea agua para la utilización y efectividad de los abrasivos para el desbaste y pulido de la muestra ocasionando la solubilidad de los carbonatos.

**Hidrógeno;** este elemento no fue posible detectarlo a través del análisis EDX, sin embargo por medio de petrografía microscópica se identificaron los minerales biotita, moscovita, hornblenda, actinolita y apatito. En la composición

química de estos minerales incluye el anión hidroxilo  $\text{OH}^-$ , que también se encuentra en la caolinita que es un producto de la alteración de los feldespatos.

**Nitrógeno;** sólo se encontró en unas cuantas muestras de pintura de color negro, entre todas consideradas de las más recientes por su contenido gráfico colonial. La fuente del nitrógeno es el carbón de fogata o tizón y es un componente menor de este, lo mismo que el azufre.

**Azufre;** se encontró en 31 muestras de un total de 63 que se tomaron de roca con pintura, este elemento está presente principalmente en el blanco, en el rojo y en el negro.

El azufre no forma parte de la composición de los minerales que constituyen las rocas, ni de ninguno de sus productos de alteración. Es parte de un núcleo, compuesto o mineral semilla, por lo tanto se considera que su presencia en el contenido de la pintura se puede deber a lo siguiente:

- Los gráficos rupestres eran bosquejados o dibujados utilizando fragmentos de carbón de fogata o tizón, en el cual el azufre se encuentra como un componente menor. En todos los casos en que se encontró azufre, su presencia siempre fue por debajo del contenido de carbono, este puede ser, un argumento a favor de la utilización del carbón de fogata para dibujar o bosquejar las figuras, sobre todo por su presencia en los colores blanco y rojo. Por otro lado el pigmento utilizado para el color negro fue el carbón de fogata.
- El uso del mineral de yeso, también como tiza para delinear las figuras rupestres, donde el azufre es parte importante de la composición de este mineral.
- El uso de mineral de yeso como pigmento.

En el caso del manganeso este sólo se detectó en un sitio arqueológico y tan sólo en una muestra de pintura de color negro su presencia no es significativa, la que es grandemente superada por el carbono. El manganeso proviene del mineral pirolusita ( $\text{MnO}_2$ ) que es un bióxido de manganeso utilizado muy escasamente como pigmento para el color negro.

#### **5.2.4. Fósforo, cloro y flúor.**

Estos tres elementos químicos se encuentran reunidos en el mineral de apatito, que generalmente se encuentra en las rocas inclusionando a la biotita.

**Magnesio.** Se encuentra en los minerales esenciales de las rocas del área de estudio como son biotita, hornblenda y actinolita y como parte del producto de alteración.

**Hierro.** Es componente de los minerales esenciales de las rocas como son biotita y hornblenda, también se encuentra en los minerales accesorios de hematita, pirita y magnetita y es parte del pigmento utilizado para el color rojo siendo el núcleo o mineral semilla la hematita.

**Titanio.** Este forma parte del mineral de hornblenda y del mineral esfena que es un mineral accesorio en las rocas de la región.

#### **5.3. Autigénesis.**

Los procesos autígenos en gran parte tienden a establecer un conjunto o facies de equilibrio mediante la eliminación de las especies inestables, el crecimiento de especies estables y la formación de especies nuevas y estables por reacciones químicas apropiadas.

Los pigmentos molidos e hidratados no guardan entre si o con el fluido un equilibrio químico, como tampoco lo guarda con la superficie rocosa donde se aplica o transplanta. Esto da la posibilidad de un mineral nuevo o regenerado, donde su ambiente de reacción es la atmósfera, la misma superficie rocosa y los componentes de la pintura, interactuando entre ellos.

#### **5.4. Meteorización.**

Los feldespatos se ven atacados lentamente pero de manera continua por el producto del intemperismo químico que es el ácido carbónico resultando arcillas. En el intemperismo de la plagioclasa, el otro feldespato abundante en las rocas

del área de estudio, las reacciones son complejas, porque las proporciones de calcio y de sodio varían, pero los productos esenciales son bicarbonatos solubles de estos elementos y las arcillas. El cuarzo que sigue en abundancia a los feldespatos entre los minerales que forman las rocas de los sitios arqueológicos es extremadamente resistente a los cambios químicos. Minerales ferromagnesianos, la biotita y la hornblenda son minerales que bajo la acción del intemperismo químico los minerales ferromagnesianos todos de composición compleja, producen diversos materiales. Tales como hidróxidos 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, parte de estos productos del intemperismo químico recubren a los gráficos rupestres brindándoles un blindaje temporal que los protege de los agentes atmosféricos. El carbonato así formado es soluble en agua y con el tiempo será llevado en solución, el producto de la caolinización forma suelos residuales. La meteorización continuará disminuyendo el tamaño de los cantos rocosos hasta eliminarlos completamente.

La arcilla es insoluble y gran parte de ella se deposita en el suelo. La sílice es parcialmente soluble, pero algo de ella permanece en la arcilla. El carbonato de potasio, el más soluble de los tres es arrastrado por el agua y una parte de él queda en la arcilla.

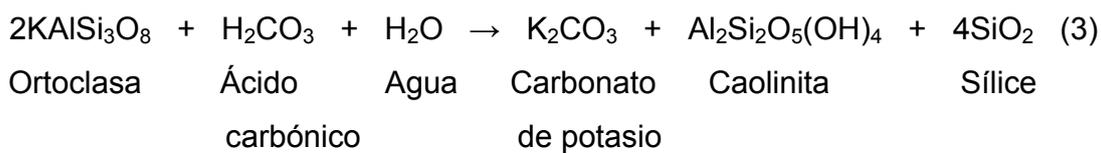
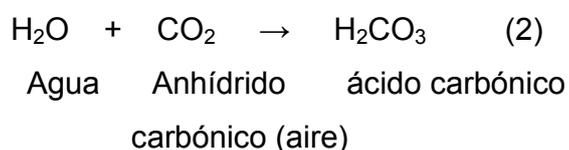
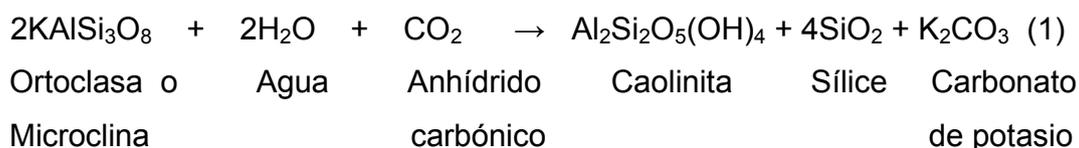
### **5.5. Hidratación, hidrólisis, oxidación y carbonatación.**

Los feldespatos que forman las rocas graníticas de las pinturas rupestres son silicatos de aluminio con potasio, como la ortoclasa y la microclina y silicatos de aluminio con sodio y calcio de la serie de las plagioclasas con composición  $An_{28-30}$  que corresponde a Oligoclasa – Andesina, este grupo de feldespatos sometidos a el proceso de hidratación origina sustancias estables.

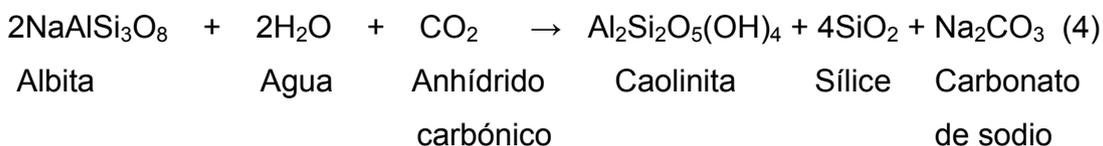
#### **Hidratación e hidrólisis.**

La hidratación ocurre comúnmente durante la hidrólisis, la oxidación y la carbonatación. La hidratación convierte a los silicatos inestables de aluminio de las rocas graníticas en minerales arcillosos (Huang, 1968).

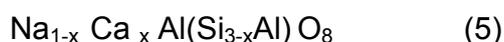
Feldespatos: ortoclasa y microclina:



Serie de las plagioclasas: albita y oligoclasa- andesina ( $\text{An}_{28-30}$ ):



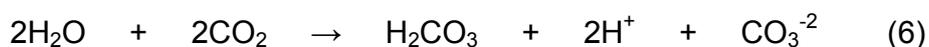
La fórmula general de las plagioclasas puede ser escrita así:



En donde x puede tener todos los valores entre 0 y 1. Esta fórmula indica que el número de iones de calcio que sustituyen al sodio está igualado por el número de iones de aluminio que sustituye al silicio en coordinación 4 en el armazón silicio-oxígeno. El número total de iones de sodio y de calcio tiene que ser igual a 1 y el número total de iones de silicio y de aluminio tiene que ser igual a 3. Un tetraedro de cada cuatro tiene que ser un tetraedro de  $\text{AlO}_4$  aun en el caso en que todas las posiciones catiónicas estén ocupadas por el sodio y por ello en la fórmula aparece un aluminio independientemente de las variaciones en las

proporciones de los otros cationes (Dana, 1960). Las reacciones son complejas, porque las proporciones de calcio y de sodio varían, pero los productos esenciales son los bicarbonatos solubles de estos dos elementos y las arcillas (Longwell y Flint, 1963).

Las reacciones químicas donde interviene el Anhídrido carbónico o bióxido carbónico son de las reacciones de la naturaleza, las más importantes, se ven involucradas en casi toda la actividad biológica y junto con la hidratación son las principales responsables del intemperismo de las rocas:



La acción del  $\text{CO}_2$  sobre los silicatos de las rocas como los minerales máficos y feldespatos produce carbonatos (Huang, 1968).

### **Oxidación.**

A la combinación de oxígeno con otra sustancia se llama oxidación. El oxígeno permite la oxidación, un proceso casi universal de meteorización. Los efectos de oxidación son generalmente los primeros en notarse y comúnmente se supone que es el primero que tiene lugar. La decoloración por óxidos es fácilmente observable. Los anfíboles y piroxenas también son notablemente afectados por este proceso.

La tendencia general de los cambios químicos en áreas de oxidación es descomponer los minerales complejos y formar minerales simples. Los minerales metálicos carentes de oxígeno son los más susceptibles a la oxidación y los óxidos metálicos son poco afectados; el cuarzo es resistente, pero la sílice liberada durante la oxidación se disuelve generalmente. Los carbonatos se descomponen con facilidad y la mayor parte de los silicatos se alteran, transformándose en unos cuantos minerales estables.

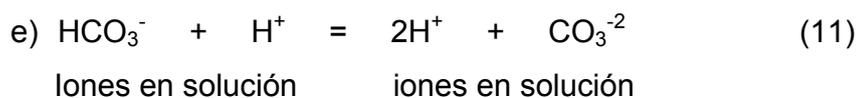
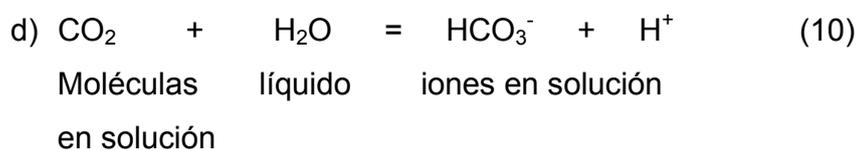
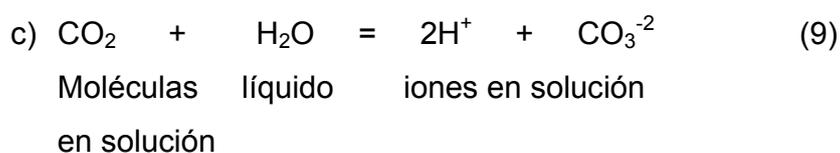
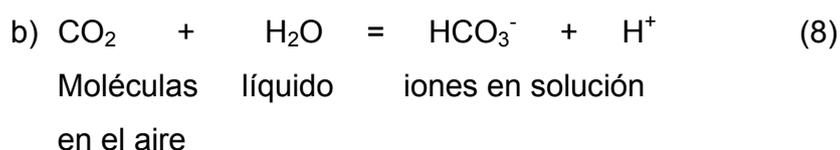
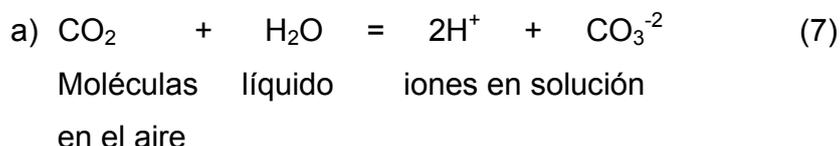
Los factores climáticos que afectan a la oxidación son la temperatura y las lluvias. La temperatura elevada acelera evidentemente la oxidación y la baja la retrasa. La oxidación se ve más favorecida en climas cálidos que en los fríos. Pero es probable que la oxidación se produzca con mayor rapidez en los climas

cálidos y húmedos de lluvias uniformes. Los carbonatos se vuelven porosos con la oxidación y permiten una penetración completa de las aguas superficiales.

### Carbonatación.

En el área de estudio existen afloramientos de rocas calizas así como también se encuentra el mineral de calcita formando delgadas vetas y rellenando fracturas en los afloramientos de roca.

Los cambios químicos en las rocas ígneas se efectúan mientras el agua está presente, pero cuando esta desaparece se produce un proceso químico. En las reacciones químicas de este tipo interviene también el anhídrido carbónico o bióxido de carbono. 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, que junto con la hidratación son las principales responsables del intemperismo de las rocas. El agua se disuelve o se combina con el bióxido de carbono (Bayly, 1972):





De acuerdo con Bragg y otros investigadores, la sustitución atómica en la estructura de los cristales puede presentar las características que a continuación se enlistan:

1. En una estructura iónica no hay moléculas, sino que la estructura es simplemente una extensión indefinida de una armazón tridimensional.
2. Cualquier ion de la estructura puede ser sustituido por otro ion de radio semejante, sin dar lugar a ninguna deformación seria de la misma.
3. Como los minerales cristalizan generalmente a partir de disoluciones que contiene iones diferentes de los esenciales al mineral, en la estructura puede tener lugar con frecuencia la incorporación de iones extraños.
4. En la sustitución atómica, el tamaño de los átomos o de los iones es el factor gobernante, así:
  - Los átomos de Al, Cr, V y  $\text{Fe}^{+3}$  son mutuamente reemplazables en la estructura y así mismo lo son los de Mg,  $\text{Fe}^{+2}$ , Mn y Ni.
  - El calcio sustituye al magnesio y al manganeso.
  - El hierro sustituye al calcio, al magnesio y al manganeso.
  - El magnesio sustituye al calcio, al hierro y al manganeso.
  - El manganeso sustituye al calcio y al hierro.
  - El hierro y el magnesio son elementos gemelos que pueden sustituirse mutuamente en cualquier proporción.
  - No sólo puede ser sustituido un elemento por otro de la misma carga, sino que puede haber un intercambio de átomos de diferentes valencias, a condición de que la neutralidad sea mantenida por la sustitución concomitante en otra parte de la estructura. Así al pasar de los dos miembros extremos albita ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ) y anortita ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ) de la serie plagioclasa, el  $\text{Ca}^{+2}$  sustituye al  $\text{Na}^+$ , y la neutralidad eléctrica se mantiene por la sustitución acoplada del  $\text{Si}^{+4}$  por el  $\text{Al}^{+3}$ ,  $\text{K}^+ - \text{Si}^{+4}$  sustituye a  $\text{Ba}^{+2} - \text{Al}^{+3}$ ,  $\text{Si}^{+4}$  puede ser reemplazado por  $\text{K}^+ - \text{Al}^{+3}$  o  $\text{Al}^{+3} - \text{Mg}^{+2}$ . estas sustituciones son comunes especialmente en los minerales de silicatos.

- El cuarzo muestra muy poca sustitución atómica.

Como resultado de lo anterior, se puede decir que la sustitución atómica influye en la composición química de la mayoría de los minerales, los cuales representan un complejo de sustitución iónica.

### **5.7. El lienzo pétreo y el pigmento.**

El lienzo pétreo o superficie rocosa donde se encuentran desarrollados los diagramas rupestres, cada uno elaborado en uno y dos colores, para un solo dibujo.

De acuerdo a los resultados obtenidos durante el desarrollo de esta investigación químicamente la superficie rocosa está constituida por sílice, silicatos de aluminio con potasio, sodio, calcio, hierro y magnesio, algunos hidratados, silicatos de titanio y calcio y fosfatos.

Las fuerzas que unen entre si las partículas componentes de los sólidos cristalinos son de naturaleza eléctrica y estas fuerzas eléctricas son enlaces químicos principalmente iónicos y covalentes, para los minerales componentes de las rocas de los sitios arqueológicos comprendidos en este estudio.

En los minerales totalmente cristalinos que corresponden a la superficie rocosa, las fuerzas de atracción y repulsión están equilibradas, al estado de equilibrio de los átomos le corresponde el mínimo de energía, por ello la energía potencial de la superficie rocosa es menor que la energía de los átomos libres, no ligados.

### **5.8. Los pigmentos.**

Son sustancias químicas minerales y orgánicas con un color característico que se utilizaron en forma de polvo principalmente y mezcladas con agua, también pudieron haberse utilizado como tiza para bosquejar o bien elaborar los dibujos rupestres.

Químicamente los pigmentos están compuestos por silicatos de aluminio hidratado, carbonatos principalmente de calcio, sílice, sulfato de calcio hidratado,

óxido férrico, hidróxido de hierro, bióxido de manganeso y carbón de fogata o tizón constituido por carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno y azufre. Así mismo se han podido deducir las siguientes características de los pigmentos estudiados

- El pigmento finamente molido posee una gran superficie específica.
- Las partículas de pigmentos son producidos mecánicamente por el hombre, por lo que no hay ninguna razón a priori por la que tales materiales deban estar en equilibrio químico entre si.
- La mayoría de las partículas de pigmentos tienen una estructura cristalina, que es una de las características de los minerales.
- Las partículas poseen una gran capacidad de adsorción.
- Las superficies y los límites de las partículas se distinguen por su alta actividad química, la composición y coordinación.

#### **5.9. Diferencias entre la superficie rocosa y el pigmento.**

Entre las principales diferencias observadas entre la superficie rocosa y el pigmento se tienen las siguientes:

- La superficie rocosa la constituyen minerales donde los átomos están en equilibrio y poseen una energía potencial menor que la de los átomos libres no ligados. Sin embargo en la parte más externa siempre existe una energía superficial que permite la interacción con el medio inmediato.
- La energía potencial de los átomos que constituyen los minerales de la superficie rocosa, es menor que la energía de los átomos libres, no ligados, como es el caso de los pigmentos, ya que los átomos de los elementos químicos que componen los minerales de la superficie rocosa están en equilibrio.
- Algunos pigmentos son de origen orgánico como el carbón de fogata.
- Los minerales en estado finamente disperso (pigmentos) difieren de los minerales totalmente cristalinos (superficie rocosa) por falta de orden lejano en su estructura.

### 5.10. Posibles procesos.

Entre la superficie rocosa y los pigmentos de los gráficos rupestres pudieran ocurrir los siguientes procesos.

- Adsorción.- el pigmento colocado en la superficie rocosa, como una capa adsorbida de átomos y moléculas, puede sostenerse por enlaces químicos iónicos y/o covalentes o por fuerzas débiles de van der Waals.
- Los cristales de origen iónico disociados por un disolvente (agua, etc.), generan partículas cargadas libres. Estos iones tienen la posibilidad de juntarse entre sí por la atracción de sus cargas electrostáticas opuestas.
- El agua además de ser excelente disolvente produce soluciones que son conductoras debido al contenido de iones libres.
- Sustitución iónica de un ion, o grupo iónico por otro ion o grupo iónico.
- Tendencia a completar la configuración estable del nivel de valencia externa, tomando un electrón libre del medio ambiente participando en la formación de enlaces químicos.
- Formación de nuevas o regeneradas especies minerales más estables, por reacciones químicas apropiadas (Autigénesis).
- Procesos de meteorización química como son hidratación, hidrólisis oxidación, carbonatación, disolución, alteración de los feldspatos o caolinización.
- La meteorización física como la expansión térmica genera una exfoliación granular, etc.

### 5.11. Caolín, carbón de fogata, hematita-goethita-limonita, pirolusita, yeso.

#### a) Caolín

Es una roca de color blanco, muy porosa con baja densidad, de textura muy fina y se pega al tacto con la lengua. Es una masa de arcillas de composición probablemente caolinita, sobre esta masa flotan eventuales cristales de biotita castaña, con cristales de cuarzo algunos de carácter volcánico rotos y fracturados, la masa hace efervescencia con ácido clorhídrico diluido al 10%, quedando de manifiesto la presencia de carbonatos (véase Figura 5.3).



**Figura 5.3.** Pigmento, roca caolín.

**Composición;** esta roca está constituida por caolinita, sílice y carbonatos de calcio, magnesio, sodio y potasio.

**Uso;** esta roca fue utilizada en las pinturas rupestres para la elaboración de una pasta de color blanco y verde grisáceo, con la cual trazaban sus gráficos en este color.

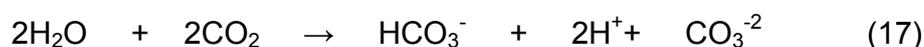
**Preparación y aplicación;** la roca era disgregada y molida obteniéndose un producto fino en su gran mayoría, con presencia de granos que sobresalen por tener un tamaño más grande que el resto del producto, estos granos generalmente son de cuarzo que dada su composición y dureza presentan una mayor resistencia a ser reducidos en su tamaño. Al producto de la disgregación y de la molienda se le agregaba agua obteniendo una pasta ligeramente pegajosa al tacto, posiblemente debido a la disolución de los carbonatos, la que probablemente era aplicada con la punta de los dedos o escobetillas hechas de pencas de agaves de la región, así era como elaboraban sus gráficos o figuras. El trazo consistía en ir untando la pasta en la superficie de la roca, que al tacto es un tanto áspera, puesto que la superficie de la roca está constituida por el contorno de la superficie de los granos minerales que constituyen la roca con una topografía de microcuencas y diminutas crestas, en las primeras existe un

mayor volumen de pasta que en las crestas, las oquedades sirven de anclaje a la pasta. Los carbonatos contenidos en el caolín se disuelven con el agua y mezclados con la arcilla (caolinita) y el cuarzo forma el mortero corriente que al deshidratarse, los carbonatos constituyen un cemento que se endurece enlazando los componentes de la pasta.

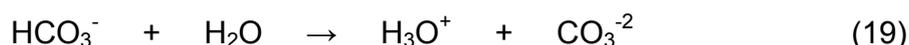
**Aspectos megascópicos de la relación pintura- roca:** en el color blanco, la pasta aplicada sobresale notoriamente su volumen del trazo del dibujo rupestre, sobre la superficie de la roca, esta pasta se aprecia con buena cohesión y adherencia entre sus componentes y la de sus componentes con la superficie rocosa.

**Proceso de postpintura:** la pasta que conforma los trazos rupestres pudiera estar sometida a un enriquecimiento de carbonato sobre todo de calcio, ya que su presencia es significativa de acuerdo a los análisis de dispersión de rayos X, llevados a cabo sobre la pintura de color blanco. Tanto la pasta de la pintura como la superficie rocosa pueden ser portadoras de calcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{+2}$ ), potasio ( $\text{K}^+$ ) y sodio ( $\text{Na}^+$ ). El agua de lluvia, escurrimientos, la humedad ocasionada por la neblina disuelve o se combina con el  $\text{CO}_2$  y forma ácido carbónico, formando carbonatos de calcio, magnesio, potasio y sodio.

Este enriquecimiento por carbonatación así como el intemperismo químico que dio origen al caolín (arcillas, óxidos y carbonatos) generó sustancias estables, estas pueden ser las causas de su poco o nulo deterioro y de su gran durabilidad.



Ion carbonato ácido, bicarbonato.



La caolinita  $\text{SiO}_4\text{Al}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$  tiene una estructura laminar de dos capas, una de  $\text{SiO}_4$  y otra de hidróxido de aluminio. Las láminas de  $\text{SiO}_4$  cada una con tres oxígenos compartidos con los grupos adyacentes, dando  $\text{Si}_4\text{O}_{10}$  y separadas por

unidades Al - (OH), dispuestas de tal modo que cada aluminio está rodeado por seis oxígenos o hidroxilos en coordinación séxtuple. Estos dos tipos de unidades están ligados por oxígenos comunes a ambos. Resumiendo la caolinita tiene una estructura o enrejado de dos capas, que Ca no se agranda con el contenido variable de agua y la substitución del silicio o el aluminio por otros elementos no ocurre (Huang, 1968).

#### **b) Carbón de fogata o tizón.**

Se obtiene al quemar parcialmente la materia vegetal obteniéndose un residuo de color negro que mancha al tacto. Si está muy quemado la ceniza se desmorona fácilmente y tiene un color gris con tendencia al blanco (véase Figura 5.4).



**Figura 5.4.** Carbón de fogata o tizón, fuente del pigmento de color negro..

**Composición:** la composición promedio de la madera se ha considerado como muy semejante al de la leña y de acuerdo con Clarke, esta tiene 49.64% de carbono, 6.23% de hidrógeno, 0.92% de nitrógeno y 43.20% de oxígeno, el nitrógeno es un componente menor, lo mismo que el azufre, su cantidad de cenizas es variable.

**Uso:** este material vegetal con combustión parcial que adquiere un color negro, fue utilizado como pigmento para este color en las pinturas rupestres y como tiza para bosquejar y terminar los gráficos rupestres.

**Preparación y aplicación:** este residuo de origen vegetal además de ser utilizado como tiza, pudo haber sido empleado molido al grado que este quedara pulverizado. Este material en polvo se le adicionaba agua y se mezclaba hasta obtener una pasta con una viscosidad conveniente para su manejo untándose o aplicándose con escobetillas en la superficie rocosa se dibujaba el gráfico rupestre.

**Aspectos megascópicos de la pintura-roca:** la superficie con pintura presenta puntos diseminados donde no existe o sea se ha perdido la pintura viéndose disminuida o interrumpida su homogeneidad en los colores blanco, rojo-naranja y rojo de ellos, el color negro es el que presenta más deterioro. El volumen de la pintura de este color, no sobresale como el de la pintura de color blanco, ni tampoco es tan imperceptible su volumen como el de la pintura de color rojo.

**Proceso de postpintura:** cuando el carbón de fogata se oxide sufre decoloración, si comparamos cualquiera de los gráficos de color negro con los gráficos con motivos coloniales que de acuerdo a estos, se consideran los más recientes apreciamos la decoloración de los primeros, por lo tanto los gráficos al carbón más antiguos presentan una mayor oxidación que los más recientes y eso se refleja en la intensidad o decoloración del color negro (véase Figura 5.5). Azufre, nitrógeno y carbono reaccionan con el oxígeno del aire, para formar dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) y monóxido de carbono (CO).

### **c) Minerales de hematita-goethita-limonita.**

La hematita es un óxido férrico  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , la composición de la goethita es  $\text{HFeO}_2$  y de la limonita  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n \text{H}_2\text{O}$ .

**Uso:** estos minerales fueron utilizados en las pinturas rupestres como pigmentos para el color rojo la hematita, para el rojo naranja la goethita y la limonita para el amarillo.



**Figura 5.5.** Decoloración de los gráficos de color negro.

Minerales de hematita-goethita-limonita (Figura 5.6).

La hematita es un óxido férrico  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , la composición de la goethita es  $\text{HFeO}_2$  y de la limonita  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n \text{H}_2\text{O}$ .



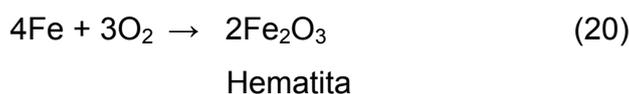
**Figura 5.6.** Hematita (izquierda) y limonita (derecha), fuentes de pigmentos

**Preparación y aplicación:** este mineral de hematita fue molido hasta el grado de pulverizarlo, posteriormente se mezcló con agua. Posiblemente utilizando las puntas de los dedos, escobetillas de agave, brochas de pelo, esparcían la mezcla con la boca, etc., para efectuar los gráficos sobre la superficie de la roca granítica en los sitios arqueológicos. El término de granítica se usa en un sentido

amplio para abarcar todas las rocas intrusivas o plutónicas descritas en este estudio.

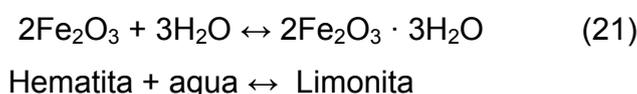
**Aspectos megascópicos de la relación pintura-roca:** La hematita pulverizada y mezclada con agua y aplicada sobre la superficie de la roca, con el tiempo forma un cemento que da lugar a una película fina que recubre el trazo del gráfico rupestre dando la impresión de quedar este impregnado a semejanza de un tatuaje en la superficie rocosa.

**Proceso de postpintura:** Formación del 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, en este caso la hematita puede en condiciones oxidantes, ceder el hierro para formar el cemento que en algunas ocasiones se extiende desparramándose y manchando fuera del contorno inicial del gráfico rupestre, considerándose esta película un blindaje protector. El intemperismo químico desarrollado y llevado hasta su terminación, origina la producción de sustancias estables de acuerdo a la reacción (20), las que difícilmente volverán a sufrir intemperismo químico. (Huang, 1968). En el caso de humedad reacciona el oxígeno para formar hematita..



**Hidratación de la hematita.**

Este proceso involucra la absorción del agua por la hematita, de acuerdo a la siguiente reacción:



Esta reacción resulta exotérmica y fácilmente reversible al aplicarse calor, lo anterior indica que no hubo ningún cambio químico, aunque si en el color del mineral, el cual pasa de rojo a rojo naranja, hasta el amarillo que es el color de la limonita.

Este mineral en condiciones oxidantes puede ceder el hierro para formar un tipo de cemento que puede impregnar la superficie de la roca, formando una fina película, con apariencia de tatuaje.



**Figura 5.7.** Dispersión del cemento oxidante (hematita).

#### **d) Pirolusita.**

Este mineral es dióxido de manganeso  $MnO_2$ , normalmente conteniendo un poco de agua.

**Uso:** el manganeso sólo se encontró en el sitio arqueológico La Milla, Conj. A, aunque posiblemente su utilización fue como complemento del carbón ya que su presencia con respecto a este no es significativa.

**Preparación y aplicación:** molido y pulverizado, posiblemente mezclado con carbón de fogata agregándosele agua a la mezcla de estos pigmentos.

**Proceso postpintura:** existe la posibilidad de que el manganeso sea sustituido por hierro ferroso  $Fe^{+2}$ , que podría proveer la biotita de composición ferrífera contenida en la roca. Si el manganeso es sustituido por el hierro ferroso el color negro se tornará castaño o pardo. El calcio inicialmente contenido en las plagioclasas puede sustituir al manganeso, después de un proceso de alteración.

**e) Mineral de yeso**

Este mineral es un sulfato de calcio hidratado  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (Figura 5.8).

**Uso.-** este mineral fue utilizado como pigmento del color blanco principalmente y ocasionalmente para el color rojo, se considera que se utilizó para delinear dibujos rupestres.



**Figura 5.8.** Mineral de yeso, de este se obtenía el pigmento de color blanco.

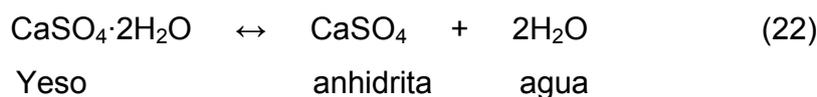
**Preparación y aplicación.-** este mineral se trituró, se molió hasta el grado de pulverizarlo y posteriormente se mezcló con agua, para aplicarla con la punta de los dedos, escobetillas de agave y pelo sobre el trazo previo o bien utilizando fragmentos de este mineral como tiza para bosquejar o bien elaborar los dibujos sobre la superficie rocosa.

**Proceso postpintura.-** las altas temperaturas en el desierto pueden provocar la deshidratación. La pérdida de estas moléculas de agua permite el colapso de

esta estructura, que toma la configuración de la anhidrita  $\text{CaSO}_4$  con gran disminución del volumen atómico y pérdida de la exfoliación. La anhidrita se altera por adsorción de agua atmosférica, entonces la anhidrita se transforma en yeso con aumento de volumen.

El ciclo reiterado de deshidratación-hidratación, o sea incrementos y decrementos, del volumen del pigmento elaborado con este mineral, provocaría su desmoronamiento y por lo consiguiente la pérdida de este (pintura). En los sitios arqueológicos ubicados en la parte media y alta de la sierra el yeso como componente de pintura rupestre difícilmente pudieran deshidratarse, salvo en un periodo de sequía prolongado e intenso, pero no así en los sitios ubicados en la laguna Salada (La Tinaja Partida).

El yeso puede deshidratarse para dar lugar a la anhidrita, lo inverso también es común.

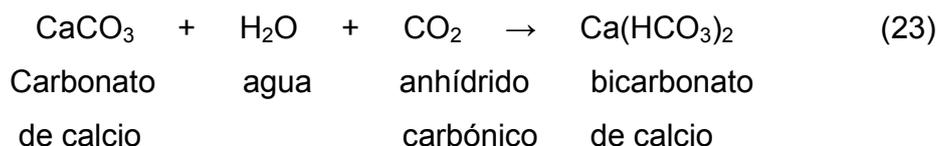


### **5.12. Meteorización de los cantos esferoidales y bloques rocosos donde se encuentran ubicados los gráficos rupestres.**

El proceso comienza con un debilitamiento físico generalmente debido a cambios de temperatura, el que es acompañado y completado por ciertas transformaciones químicas hidratación, hidrólisis, oxidación y solución sobre los feldspatos, micas, hornblenda y otros minerales. En estas condiciones se tornan blandos, perdiendo brillo y elasticidad. El agregado de agua aumenta su volumen, mientras que parte del hierro combinado es oxidado e hidratado juntamente con estos intercambios de cationes activos tales como calcio, sodio, potasio y magnesio que sufren carbonatación, estos nuevos minerales formados son atacados más fácilmente por la meteorización química y física.

Los minerales solubles son removidos cuando el agua se drena, dejando un residuo más o menos despojado de sus bases fácilmente solubles. A medida que sigue el proceso, todos los minerales originales desaparecen menos los más resistentes y siendo reemplazados por silicatos hidratados secundarios y a

menudo recristalizan como arcilla altamente coloidal. La reacción de solución más común sería sobre los carbonatos, siendo el de calcio el de mayor presencia, el cual es disuelto para formar bicarbonato, de acuerdo con la reacción (23), los minerales de carbonato y bicarbonato son los más fácilmente tomados en solución y el anhídrido carbónico procedente principalmente de la materia orgánica en descomposición ayuda grandemente, según:



Cuando el agua de lluvia cae sobre estos monolitos de roca y escurre sobre su superficie, estos componentes (arcillas, materia en solución, etc.) son removidos y llevados al suelo donde se incorporan, quedando nuevamente lista la superficie rocosa para repetir el proceso y continuar con su desgaste. El hemisferio inferior del canto, así como la parte inferior de los bloques rocosos junto al suelo y a la vegetación sufren una meteorización más rápida que el resto del monolito.

En la meteorización de las rocas graníticas, un residuo químico resulta de la extracción selectiva de parte de una roca por medio de disolución de carbonatos y bicarbonatos. Parte del calcio y de sodio es extraído por el agua de lluvia produciendo descomposición de la roca granítica para formar una arena grosera de composición granítica.

### **5.13. Remanentes de exfoliación.**

Las pinturas rupestres fueron realizadas en remanentes de exfoliación de las rocas graníticas, los que presentan formas muy peculiares producto principalmente del intemperismo químico apoyado por la humedad y la acción térmica (principalmente la acción de cuña del hielo), estos procesos son característicos para los sitios arqueológicos ubicados en la parte alta de la sierra y a media pendiente de esta como el sitio arqueológico El Resguardo de La Cruz, estas formas consisten en cantos esferoidales donde se encuentran la mayoría de los sitios, ubicándose los dibujos en el hemisferio inferior del canto,

laberintos (Piedras Gordas), hongo (Cueva del Indio), domo con nicho a  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  y  $\frac{3}{4}$  de domo (véase Figura 5.9), entre otros, en estas formas quedan comprendidos todos los sitios arqueológicos de este estudio a excepción de La Tinaja Partida que se encuentra a la entrada del Cañón de Guadalupe, donde se llevaron a cabo las pinturas en paredones rocosos.



**Figura 5.9.** Cantos esféricos con nicho. Sitio arqueológico El Vallecito.

#### **5.14. Proceso de formación**

La formación de los cantos esféricos rocosos y de sus nichos ocurre de acuerdo a los siguientes procesos.

1. La exfoliación es la separación de delgadas capas sucesivas o conchas (por adquirir esa forma) de la roca masiva, como las rocas graníticas, para que esto ocurra deberá presentarse lo siguiente:

- la formación de minerales arcillosos a partir de la alteración de los feldespatos de las rocas graníticas, va acompañado por un incremento de volumen.
- En los remanentes rocosos la humedad que alcanza a penetrar y alojarse en cavidades minúsculas con el tiempo genera descomposición.
- El paulatino aumento en el volumen a pequeñas profundidades produce esfuerzos que rompen y separan costras de roca.

Estos procesos generan la exfoliación.

2. En el área debe existir un grado apreciable de humedad, este tipo de intemperismo no se lleva a cabo en tierras áridas, excepto en aquellas partes que hallan quedado repetidamente sumergidas bajo las aguas por inundación.
3. Las heladas juegan un papel muy importante al desprender ulteriormente las delgadas capas o conchas producidas por la exfoliación, por el mecanismo acción de cuña de hielo. Esto ocurre cuando los espacios y aberturas entre las rocas se encuentran con agua la que al congelarse se expande y desprende, esto puede ser en una o varias secciones de congelamiento, este fenómeno es común en zonas templadas y frías.
4. La separación de costras curvadas o conchas no es exclusiva de las rocas superficiales, sino que también se encuentran a algunos metros debajo de la superficie de la tierra en rocas circunscriptas a bloques por juego de fracturas, estos bloques son casi cúbicos, las capas concéntricas o conchas son casi esferas. El agua cargada con  $\text{CO}_2$  circula a través de las fracturas, por todos lados del bloque y la acción química redondea cada vértice.
5. La separación de costras curvadas o conchas avanza hacia el interior poco alterado.
6. la formación de estas capas curvadas o conchas a algunos metros debajo de la superficie del terreno es producto de la acción química en

las regiones templadas ya que la acción de las heladas es muy superficial.

7. la exfoliación afecta más a la porción inferior del remanente rocoso ya que está más expuesta a la humedad.
8. Puede ocurrir que el soporte inferior del remanente rocoso también sometido a intemperismo y por lo consiguiente tiene un desgaste y que este llegue a ser tal que haga que el bloque que está soportando pierda el equilibrio y provoque que este caiga o se deslice, o efectúe pequeños giros, sufra ladeamiento, esto pudiera estar ocultando algunas pinturas rupestres.

#### **5.15. Texturas de las pinturas.**

La pintura generalmente es discontinua debido a los fuertes contrastes topográficos entre los diferentes minerales que conforman la superficie rocosa. La pintura en los valles es más abundante y mejor protegida que en las crestas, los granos que constituyen la capa de pintura son extremadamente finos, su aspecto es similar a las puntas de agujas, muy bien clasificados dando una textura suave y uniforme, esto es generalmente para los colores negro y rojo, mientras que en el color blanco, la textura da un aspecto terroso, de mate a brillante.

#### **5.16. Micrografía.**

Esta técnica nos dio la oportunidad de obtener un conocimiento detallado de la naturaleza física de la superficie de las muestras de roca con pintura rupestre, a partir de las micrografías o microfotografías se identificaron tres unidades bien definidas, con rasgos que son característicos a cada una de ellas, a continuación se hace una descripción de estas unidades.

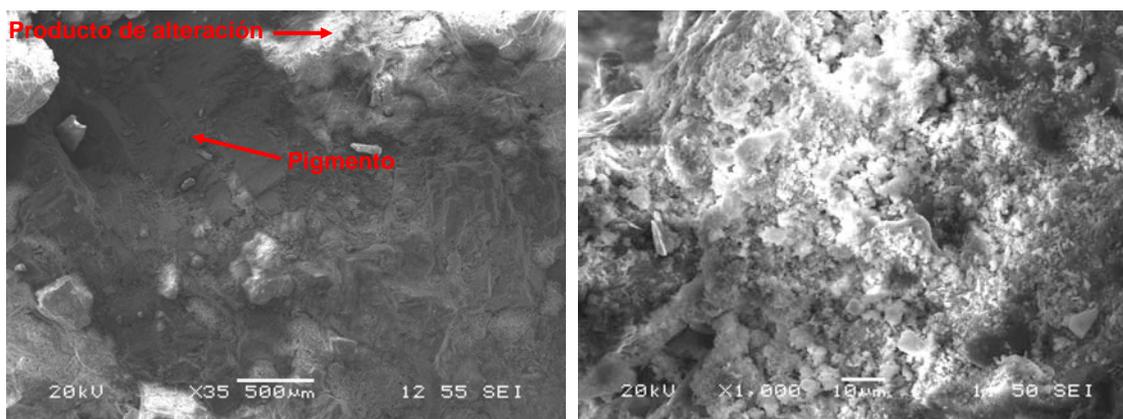
Unidad de las pinturas

##### ***Tiza y tizón.***

La tiza y el tizón dejan sus partículas al frotarlas durante el trazo y/o dibujo sobre la superficie de la roca, quedando polvo fino de un mineral por ejemplo el yeso o

de materia orgánica (carbón de fogata o tizón) en las microcrestas y sus márgenes ubicadas en la superficie del trazo. Los minerales más abundantes que forman la roca son los feldespatos (potásicos y plagioclasas) y el cuarzo, tienen una dureza de 6 y 7 en la escala de dureza de Mohs, contrastando fuertemente su dureza con el carbón de fogata o tizón y el mineral de yeso que no sobrepasan el número dos de esta escala.

La superficie que cubre es irregular y su presencia se concreta a las microcrestas y sus flancos, el área que cubre las partículas de la tiza o tizón es mayor en el flanco de pendiente más suave que las de pendiente abrupta en iguales circunstancias de altitud, siendo notoria su ausencia en las microcuencas ya que la tiza o tizón no tiene un contacto uniforme y continuo sobre la superficie debido a la irregularidad de esta (véase Figura 5.10).



**Figura 5.10.** Micrografía. Imágenes de roca con pintura rupestre. *Izquierda* Sitio arqueológico El Murillo: Conjunto Coronado. Roca Tonalita-granodiorita plutónica de biotita, color de la pintura negro, pigmento carbón de fogata, el material de color blanco corresponde al producto de alteración de los feldespatos, aumento 35x, potencial de aceleración 20 kV. *Derecha* Sitio arqueológico El Vallecito: Conjunto El Hombre Enraizado. Roca granodiorita de biotita, color de la pintura blanco, pigmento mineral de yeso, aumento 1000x, potencial de aceleración 20 kV.

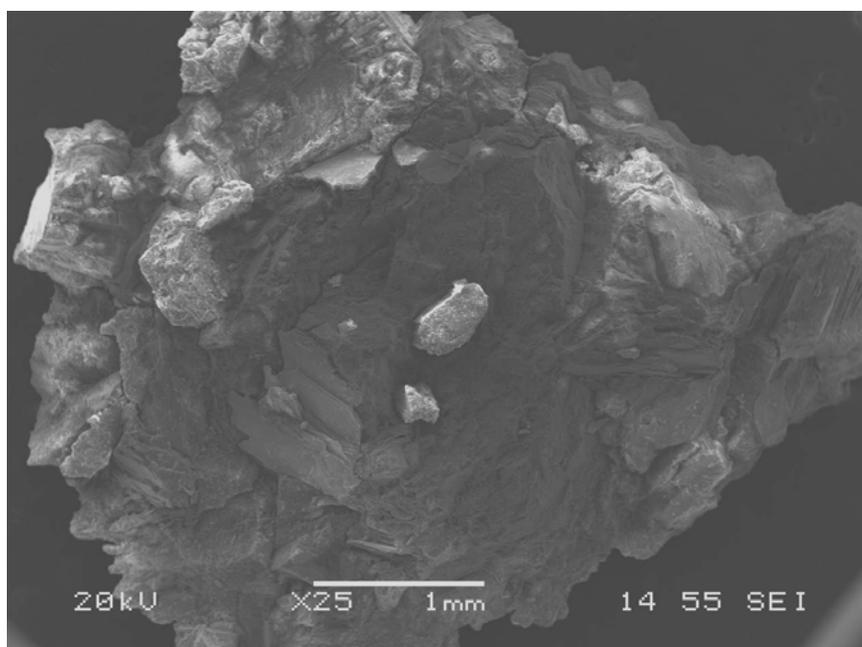
### 5.17. Pasta.

Cuando el pigmento es molido y mezclado con agua y es aplicado con la punta de los dedos ejerciendo una presión, esta acción puede alojar también a la pasta en las microcuencas rellenándolas con una mezcla de finísimas partículas que

se han aglutinado y endurecido formando un sólido (micro hormigón) adherido y sobresaliendo a la superficie de la roca, como es el caso del caolín (Figura 5.11).

### 5.18. Película.

En el caso de los óxidos de hierro (pigmentos) molidos y mezclados con agua y aplicados sobre la superficie de la roca, con el tiempo estos forman películas uniformes que cubren generalmente los contornos y las irregularidades de los componentes de la superficie rocosa, cubriendo la totalidad del trazo de la figura y muchas de las veces fuera de este (véase Figura 5.11).

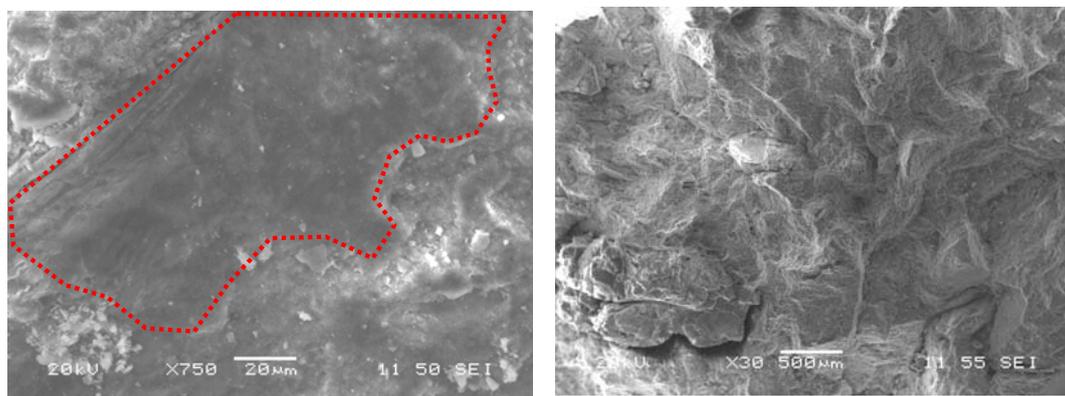


**Figura 5.11** Micrografía. Imagen de roca con pintura rupestre. Sitio arqueológico El Murillo. Conjunto Coronado (El Camote), roca Tonalita-granodiorita plutónica de biotita, color de la pintura verde grisáceo, pigmento caolín (laminas), aumento 25x, potencial de aceleración 20 kV.

### 5.19. Unidad de los productos de alteración de los feldespatos.

Los feldespatos son los principales y más abundantes minerales que componen las rocas huéspedes de las pinturas rupestres, aunque el cuarzo es un mineral esencial no supera la presencia de los feldespatos. El intemperismo químico ataca más rápidamente al feldespato que al cuarzo (véase Figura 5.12).

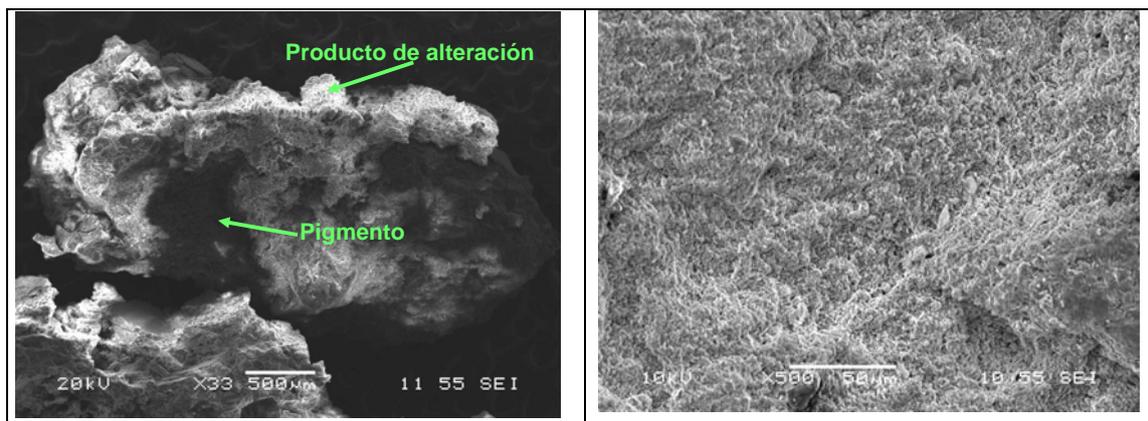
Los feldespatos se encuentran ampliamente distribuidos en la roca, por lo tanto la superficie de alteración se encontrará en cualquier parte de esta y será muy extensa.



**Figura 5.12.** Micrografía. Imágenes de roca con pintura rupestre. *Izquierda.* Sitio arqueológico El Vallecito: Conjunto Los Solecitos o Wittinñur. Roca granodiorita de biotita, color de la pintura rojo naranja, pigmento óxidos de hierro (mineral de goethita), en el área dentro del contorno punteado en rojo, es donde mejor se aprecia el desarrollo de una película de óxidos de hierro, aumento 750x, potencial de aceleración 20 kV. *Derecha.* Sitio arqueológico Los Puntos. Roca plutón tonalítico de biotita y hornblenda, color de la pintura rojo, pigmento óxidos de hierro (mineral de hematita), otra versión de desarrollo de la película, se aprecian dendritas con producto de alteración de los feldespatos, aumento 30x, potencial de aceleración 20 kV.

Las sustancias que se desprenden de la alteración de los feldespatos forman una masa homogénea sólida de cristales, que al continuar la alteración van creciendo formando una masa de cristales entrelazados.

Sobre las áreas de pintura estos productos de alteración se empiezan a manifestar a través de grietas o hendiduras, ocasionadas al quedar expuestas al aire los pigmentos aplicados sobre la superficie de la roca, al deshidratarse estos se contraen formándose las grietas o hendiduras estas inician con una forma de dendritas arborescentes, que son alimentadas con los productos de alteración de los feldespatos a manera de eflorescencia a través de las grietas o



**Figura 5.13.** Micrografía. Imágenes de roca con pintura rupestre y productos de alteración de los feldespatos. *Izquierda.* Sitio arqueológico Valle Seco. Roca plutón granítico de biotita, color de la pintura negro, pigmento carbón de fogata, las áreas de color blanco corresponden a los productos de alteración de los feldespatos las que contrastan con el pigmento, aumento 20x, potencial de aceleración 20 kV. *Derecha.* Sitio arqueológico Piedras Gordas. Roca monzonita de cuarzo, color de la pintura rojo, en esta imagen se observan abundantes dendritas en tonalidades de gris al blanco formadas por productos de alteración de los feldespatos que invaden la zona de pintura, aumento 500x, potencial de aceleración 10 kV.

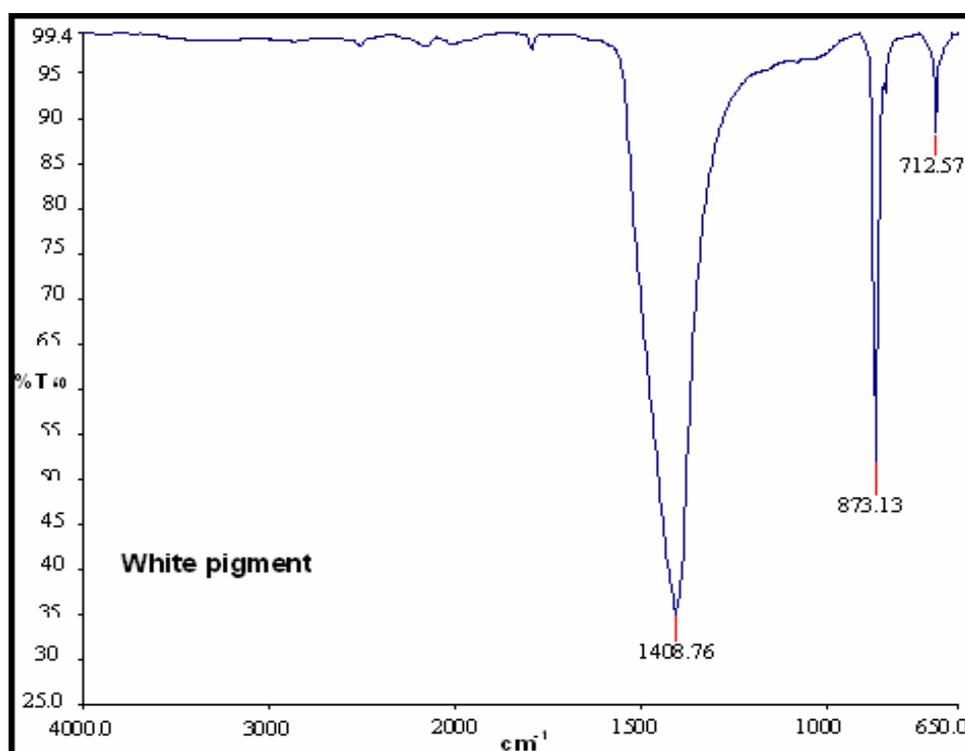
hendiduras desde la superficie de la roca a la superficie de la pintura que posteriormente se trenzan rodeando pequeñas áreas (islas) sin alterar y/o depósito, el trenzado continua ahora cubriendo totalmente pequeñas áreas las que posteriormente van incrementando su extensión uniéndose unas con otras tendiendo a cubrir la totalidad del área de exposición de los feldespatos.

La tonalidad de las dendritas es gris, a medida que se aumentan su área se tornan más claro el color, hasta alcanzar el color blanco lechoso. Las dendritas evolucionan ensanchándose hacia sus márgenes laterales invadiendo el área de pintura, cubriendo a esta con una película. En la micrografía y microfotografía la masa de productos de alteración de los feldespatos tiene un color blanco lechoso, su textura y homogeneidad son similares a la apariencia de la leche y de una caliza litográfica.

## 5.20. Análisis con espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier.

Los resultados de los análisis de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR) corroboran la presencia de compuestos inorgánicos como principales

constituyentes de las pinturas rupestres. Los pigmentos blancos del tipo calcita (Carbonato de calcio) y yeso (sulfato de calcio) conformado por iones poliatómicos, dieron la mejor resolución durante los ensayos practicados en las diferentes muestras de pinturas. En la Figura 5.13, se muestra el espectro FTIR de una muestra de pigmento blanco compuesto principalmente por calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) como lo indican las bandas de frecuencias de vibración para  $\text{CO}_3^{2-}$  a  $1408\text{ cm}^{-1}$  ( $\nu_3$ ),  $873\text{ cm}^{-1}$  ( $\nu_2$ ) y  $712\text{ cm}^{-1}$  ( $\nu_4$ ).



**Figura 5.14.** Espectro FTIR del pigmento blanco utilizado en el sitio “El Vallecito”

### 5.21. Composición de los pigmentos

En la Tabla 5.1, se muestra una descripción de los diversos minerales utilizados para dar color en la elaboración de las pinturas rupestres de Baja California. Estos fueron utilizados tanto para el trazo como para el relleno de las pinturas, y la formulación de diversas mezclas les permitió conseguir una gama variada de tonalidades que aparentaban generar nuevos colores.

El concentrado de la tabla es resultado de los análisis practicados en este estudio a través de diferentes técnicas que van desde la caracterización física hasta la composición química.

**Tabla 5.1.** Descripción de los pigmentos utilizados para los diferentes colores de pinturas y trazos de las pinturas rupestres de Baja California.

Color		Pigmento	Trazo
Blanco		Yeso $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ Roca caolín*	
Verde grisáceo		Roca caolín*	
Rojo	Naranja	Goethita $\text{FeO}(\text{OH})$	Yeso $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
	Normal	Hematita $\text{Fe}_2\text{O}_3$	Yeso $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ Carbón de fogata
	Oscuro	Hematita $\text{Fe}_2\text{O}_3$ Yeso $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Carbón de fogata
Negro		Carbón de fogata: C 49.6%; O 43.2%; H 6.2%; N 0.9%; S trazas (Clarke).	

\* Roca caolín: caolinita [  $(\text{Si}_4\text{O}_{10})\text{Al}_4(\text{OH})_8$  ], sílice ( $\text{SiO}_2$ ) y carbonatos  $\text{CO}_3^{-2}$ .

# Conclusiones

## CONCLUSIONES

- Las pinturas rupestres están asentadas sobre una matriz rocosa de afloramientos graníticos representados por cantos esferoidales, bloques y frentes rocosos, estas rocas son parte del batolito que constituye la península de Baja California
- La textura fanerítica de esta superficie rocosa, es un factor que favorece el anclaje mecánico de la pintura rupestre, que a su vez es capaz de presentar interacción química mediante reacciones de sustitución entre los minerales de los pigmentos y la superficie rocosa.
- Los pigmentos fueron caracterizados física y químicamente, resultando que la mayoría son de origen mineral.
- El color blanco corresponde a los minerales yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) y caolín ( $(\text{Si}_4\text{O}_{10})\text{Al}_4(\text{OH})_8$ ) o roca de caolin que consiste de tres componentes minerales  $(\text{Si}_4\text{O}_{10})\text{Al}_4(\text{OH})_8 + \text{CO}_3^{2-}(\text{Ca}) + \text{SiO}_2$ .
- El color rojo esta compuesto por los minerales goethita ( $\text{FeO}(\text{OH})$ ), hematina ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) y yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), y las combinaciones e hidratación de estos permiten las diversas tonalidades de rojo a naranja.
- El color negro sólo en una de las muestras resultó ser de origen mineral y fue identificado como pirolusita ( $\text{MnO}_2$ ), en todas las demás muestras el pigmento resultó ser de origen orgánico, y fue identificado como carbón de fogata o tizón ( C 49.6%; O 43.2%; H 6.2%; N 0.9%; S trazas, según Clarke).
- Los colores más frecuentes en las pinturas rupestres de Baja California son blanco, verde grisáceo (color muy claro y poco frecuente compuesto de caolín), rojo en diversas tonalidades y negro.
- Las pinturas rupestres se encuentran protegidas de la acción directa de los rayos solares, la lluvia, la nieve y los vientos, pero no así de la humedad, de los escurrimientos y de los cambios de temperatura. Es por ello que algunas presentan daños por intemperismo, aunque también ello ha permitido que se lleven a cabo algunas reacciones químicas que favorecieron su adherencia al sustrato rocoso.

- De los elementos químicos determinados por el análisis de las muestras de roca con pintura rupestre a través de la dispersión de rayos X (EDX), fueron los siguientes C, N, O, F, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Mn y Fe. Como producto de la hidratación se es claro que contiene también hidrógeno, el cual no puede ser determinado con esta técnica. El nitrógeno y el azufre no son parte de los componentes minerales de la roca y el carbono, se adhiere a la esta durante la alteración de los feldespatos.
- El nitrógeno y el azufre, son componentes del carbón de fogata o tizón, encontrándose el azufre también como componente del mineral de yeso.
- Los gráficos al carbón más antiguos presentan mayor decoloración que los más recientes, debido al tiempo de exposición a la oxidación.
- El color negro es el color con menos fortaleza ante los agentes del medio ambiente, lo cual concuerda con la identificación del origen orgánico del pigmento.
- En todos los casos la decoloración en el desierto es más intensa que en la zona templada. Las pinturas a la entrada del Cañón de Guadalupe ubicadas a cinco msnm en un clima árido, presentan más decoloración, están más desvanecidas, más deterioradas y el color más perdido que las que se encuentran a media pendiente (Resguardo de La Cruz que se encuentra aproximadamente a 650 msnm) y sobre la sierra a más de 1000 msnm.
- La relativa abundancia predominante de calcio sobre sodio y potasio se debe a que la plagioclasa cálcica es menos estable que la plagioclasa sódica y el feldespato potásico es menos estable que la plagioclasa sódica. De acuerdo con los resultados de los análisis por dispersión de los rayos X esta regla se cumplió y cuando no hacia escalera descendente, fue debido a la ausencia de alguno de los elementos. Este principio de estabilidad mineral se basa en que los minerales estaban en equilibrio bajo las condiciones de temperatura y presión en que se forman

- las rocas, pero bajo las condiciones de temperatura y presión de la superficie terrestre, algunos de los minerales pierden estabilidad.
- El incremento de contaminantes en el aire, como el ácido carbónico, óxidos de azufre, etc., están ocasionando cambios en el clima que comienzan a tener efecto en la rapidez del deterioro de las pinturas rupestres, que al igual que las rocas a la intemperie están sujetas a procesos de descomposición y ruptura. Se observó además, que las pinturas están siendo blanco de actos vandálicos y es este el principal peligro que actualmente corren.
  - El presente estudio permitió conocer la composición química de las pinturas rupestres de Baja California, que corresponde a compuestos minerales, es decir predominantemente inorgánico, siendo el carbón de fogata el único pigmento orgánico presente en las pinturas rupestres.
  - Las técnicas de análisis petrográfico, análisis de superficie con microscopía electrónica de barrido y microscopía óptica, análisis químico con microsonda de electrones dispersados de rayos X y espectroscopía infrarroja con transformadas de Fourier, resultaron ser eficientes para llevar a cabo la caracterización fisicoquímica de las pinturas rupestres.
  - La presencia de carbono en el pigmento negro, abre la posibilidad de que las pinturas sean datadas, esto siempre y cuando pueda obtenerse el volumen requerido de muestra de este pigmento para su fechamiento con el método del carbono 14 ( $C^{14}$ ) y además con previo conocimiento de la magnitud del daño que pudiera ocasionársele al gráfico rupestre en el momento de tomar la muestra.
  - Finalmente los resultados presentados a lo largo de esta tesis constituye una fuente de información original y única que podrá ser empleada por especialistas en el tema de conservación y restauración para actividades que buscan preservar las pinturas rupestres de Baja California.

# Glosario

## GLOSARIO

Actividad volcánica. La acción volcánica varía entre explosiones violentas, que producen rocas fragmentadas, y flujos tranquilos de roca líquida, emisión de gases provenientes de una fuente profunda.

Afinidad química. Es la tendencia de diferentes clases de átomos a juntarse en fuertes combinaciones.

Almagre. Óxido de hierro de color rojo, abundante en la naturaleza, se usa como pigmento en las pinturas.

Ángulos axiales  $2E$  y  $2V$ . el ángulo axial observado es mayor es mayor que el verdadero ángulo axial del mineral. Esto es debido a la refracción de los rayos oblicuos. El ángulo  $2E$  es el ángulo en el aire, mientras que  $2V$  es el ángulo interno. Para determinar con el microscopio el ángulo axial aproximado puede usarse la ecuación de Mallard ( $D = K \operatorname{sen} E$ ). En esta ecuación,  $K$  es una constante propia del microscopio,  $D$  la mitad de la distancia entre los puntos de emergencia y  $E$ , la mitad del ángulo axial en el aire. La determinación del ángulo axial de un mineral a partir del ángulo axial observado en el aire se logra por la fórmula: ( $\operatorname{sen} E = n_{\beta} \operatorname{sen} V$ ). Cuando  $n_{\beta} \operatorname{sen} V$  es igual a 1, el ángulo  $2E$  resulta  $180^{\circ}$  y no puede medirse el ángulo axial.

Ángulo de extinción. Este ángulo se determina usualmente con referencia al más lento de los dos rayos, el que tiene mayor índice de refracción

Autigénesis. Los procesos autógenos en gran parte tienden a establecer un conjunto o facies en equilibrio mediante la eliminación de las especies inestables por reacciones químicas apropiadas.

Batolito. Es un cuerpo ígneo intrusivo, generalmente discordante, de forma irregular, que se encuentra en áreas muy plegadas, que va aumentando de espesor y de volumen a medida que se va profundizando, es el más grande de los cuerpos ígneos, con una superficie expuesta que sobrepasa los 100 kilómetros cuadrados.

Biáxico. Se dice del cristal que tiene dos ejes ópticos

Canto rodado. Es un sedimento clástico, no consolidado cuyo diámetro es mayor de 256 mm.

Carlsbad macla. Se presenta en la plagioclasa. En sección delgada, la macla de Carlsbad muestra con frecuencia dos cristales individuales separados por un solo plano de composición. Estos individuos varían en su extinción entre nícoles cruzados.

Cretácico. Último período de la era secundaria, se divide generalmente en Cretácico inferior y superior.

Cristal. Sólido en el cual los diversos átomos están ordenados de forma regular, según una disposición fundamental (la malla elemental) cuya distribución en el espacio dibuja la red cristalina. Debido a esta ordenación, las propiedades físicas de un cristal varían según las orientaciones. Cuando un cristal se puede desarrollar sin obstáculos, toma naturalmente una forma poliédrica limitada por caras planas.

Diastrofismo. Término empleado para designar cualquier fenómeno de deformación de la corteza, cualquiera que sea su escala.

Doble refracción (birrefringencia). Al pasar la luz a través de un gran número de minerales transparentes es doblemente refractada en dos haces que vibran según planos que son aproximadamente perpendiculares entre sí. En las secciones delgadas puede estimarse la doble refracción a partir de los colores de interferencia, con referencia a la lámina de colores de interferencia.

Erosión. Conjunto de procesos por medio de los cuales las rocas son disgregadas y/o disueltas y transportadas de un lugar a otro.

Estructura. Es la disposición y el orden de los diferentes componentes.

Estuario. Desembocadura de un río caudaloso, que suele presentar forma de embudo, con la parte más ancha hacia el mar o lago.

Exfoliación. La separación de capas sucesivas y delgadas durante el intemperismo de una roca maciza, tal como el granito.

Extinción. Cuando un cristal grano o lámina mineral con doble refracción se oscurece entre nícoles cruzados, está en posición de extinción.

Falla. Es una fractura en la roca a lo largo de las cuales ha habido movimiento.

Fanerítica textura. Se aplica a las rocas, sobre todo a las rocas magmáticas, cuyo grano es perceptible o visible a simple vista (roca granuda o microgranuda).

Fractura. Es una ruptura en la roca o suelo sin movimiento aparente.

Hidrotermal. Que está en relación con las circulaciones de aguas calientes ligadas a las últimas manifestaciones de una erupción volcánica o a la de la cristalización de un magma y a las sugerencias que eventualmente pueden derivarse de ellas. Las soluciones hidrotermales, a 100 - 400° C y bajo presión, contienen diversos elementos con Fe, Ti, Cu, Pb, Zn, Sn, Hg, U, ... Estos elementos procedentes de un magma o extraídos de las rocas encajonantes pueden precipitar y concentrarse en filones. *Hidrotermalismo.*

Hipidiomórfica textura. Es una textura granular, en la cual algunos constituyentes son euhedrales, algunos subhedrales y el resto anhedrales.

Holoceno. Parte superior de la era cuaternaria.

Holocristalina textura. Está compuesta en su totalidad de cristales.

Hololeucocrata. Se aplica a las rocas magmáticas ricas en minerales blancos (cuarzo, feldespatos, feldespatoides).

Idiomórficos. Los granos limitados completamente por caras cristalinas se llaman euhedrales, idiomórficos o automórficos.

Inclusiones. Todo cuerpo englobado en un cristal huésped.

Índice de refracción. Es igual a la relación entre la velocidad de la onda normal en el vacío y la velocidad de la onda normal (no la velocidad del rayo) en el medio, ya sea isótropo o anisótropo. En secciones delgadas las láminas se montan con bálsamo de Canadá y el examen corriente consiste en averiguar si un mineral dado tiene un índice mayor o menor que el del bálsamo. También se comparan con otros índices de los minerales adyacentes.

Inmersión. Desaparición de capas visibles en el terreno bajo otras formaciones debida a su buzamiento.

Intemperismo. Es la alteración de los materiales rocosos expuestos al aire, la humedad y los efectos de la materia orgánica.

Ion. Es un átomo no balanceado eléctricamente.

Jurásico. Segundo período de la era secundaria, dividido hoy en tres partes: inferior, medio y superior.

Luz polarizada. En el supuesto y con fines descriptivos la luz puede considerarse como un movimiento ondulatorio. Esta condición persiste para la luz blanca ordinaria o para la luz monocromática de cualquier clase. También en el supuesto que la vibración tiene lugar en todas direcciones alrededor de la línea de transmisión. Cuando se modifica la tendencia a vibrar en todas las direcciones y las ondas resultan, en su mayor parte, restringidas a un único plano de vibración. Cuando la vibración está limitada de esta manera, se dice que la luz está polarizada.

Macla. Asociación de cristales de la misma naturaleza según leyes geométricas precisas ligadas a los elementos de simetría del sistema cristalino considerado. Una macla puede ser por yuxtaposición según una cara definida o por interpenetración de cristales. Puede ser simple (dos cristales asociados) o múltiple (más de dos cristales).

Meandros. Son las curvas o recovecos en el cauce de una corriente.

Mesostasia. Término que se usa para designar toda pasta afanítica que contiene cristales granudos.

Mineral. Es una sustancia inorgánica sólida que se encuentra en la naturaleza. Los minerales están constituidos de átomos o iones que representan uno o más elementos químicos dispuestos en una forma definida que es característica para cada uno de ellos. Las propiedades físicas y la composición química son constantes en algunos minerales; en otros presentan variaciones si los iones de un elemento reemplazan a los de otro.

Minerales isotrópicos. No originan cambios de color cuando se les gira bajo la luz polarizada.

Minerales transparentes. Los minerales son transparentes en sección delgada, con un espesor de lámina de roca aproximadamente entre 0.03 y 0.035 mm.

Mioceno. División estratigráfica de la era terciaria, hoy subdividida generalmente en inferior, medio y superior.

Mirmequíticas textura. Cristal de feldespato (plagioclasa) que contiene pequeños trazos sinuosos de cuarzo en disposición enmarañada.

Neumatólisis. Desplazamiento en profundidad de vapores enriquecidos especialmente en B, F, Cl y metales siendo llamados neumatolíticos estos vapores (gas).

Obsidiana. Roca ígnea efusiva totalmente vítrea, negra, de fractura lisa, concoidea, brillante, de composición química de riolita o a veces traquita, anhídrica.

Panidiomórfica textura. Si los principales minerales son en su mayoría euhedrales, la textura es panidiomórfica granular o automórfica granular o lamprofídica.

Peraluminosa roca. En estas rocas, la proporción molecular de alúmina excede a la proporción de sodio, potasio y calcio combinados. El exceso de alúmina va a formar la moscovita, biotita, corindón, turmalina, topacio o granate de manganeso y hierro.

Petrología. Ciencia de las rocas que comprende su descripción (petrografía), su clasificación y la interpretación de su génesis.

Plano de crucero. La estructura atómica de muchos minerales determina el clivaje o crucero, que es la tendencia a separarse a lo largo de planos en una o más direcciones. Estos planos son paralelos a ciertas caras cristalinas e interceptan a otras, siempre y cuando se hayan formado esas caras.

Pleistoceno. Parte inferior de la era cuaternaria.

Plutón. Un cuerpo plutónico, llamado también plutolito es cualquier gran cuerpo ígneo intrusivo, independientemente de su forma

Poiquilitico (estructura). Se dice de un gran cristal de un mineral que contiene numerosos cristallitos de otros.

Polisintética macla. Cuando hay asociación de cristales numerosos pero delgados.

Roca. Es el agregado de uno o varios minerales.

Roca ígnea. Estas se forman por el enfriamiento de materiales constituidos por silicatos en estado de fusión.

Roca ígnea intrusiva. Es la que se forma bajo la superficie de la Tierra.

Terciario. Era geológica que abarca de los 65 millones de años a los 1.5 millones de años.

Textura. Está determinada por el tamaño, forma y disposición de los granos que la componen.

Tectónica. Conjunto de deformaciones que han afectado a los terrenos geológicos posteriormente a su formación (fracturas, pliegues, esquistosidad, etc.).

Uniáxico. Se dice del cristal que tiene un solo eje óptico.

Vientos alisios. Son los vientos que predominan en la zona tropical.

Xenomorfo. Se aplica a un mineral que, aunque bien cristalizado, presenta una forma cualquiera, no habiendo podido desarrollarse las caras características del sistema cristalino a que pertenece. Esto es debido generalmente a que los cristales vecinos o los componentes más próximos y formados precedentemente han impedido su desarrollo. Ant. Automorfo.

### **Minerales:**

Actinolita. Pertenece a la familia de los anfíboles, es un silicato de calcio, magnesio y hierro ferroso, este último con un contenido mayor del 2%.

Andesina. Es de la serie de las plagioclasas, es un silicato alumínico de calcio y sodio.

Anfíbol. Son silicatos de calcio, magnesio y hierro ferroso.

Apatito. Fosfato cálcico. El grupo del apatito los constituyen fluorapatito, clorapatito y hidroxilapatito.

Biotita. Silicato alumínico férrico, magnésico y potásico esencialmente. Pertenece al grupo de las micas.

Caolinita. Es un silicato alumínico hidratado, es un mineral de arcilla.

Clorita. Silicato magnésico alumínico hidratado. Pertenece al grupo de las cloritas.

Cuarzo. Es un óxido de silicio.

Esfena. Es un titanosilicato cálcico (silicato).

Feldespatos. Son silicatos de aluminio con potasio, sodio y calcio y a veces bario. Los feldespatos son minerales esenciales de las rocas ígneas.

Ferromagnesiano. Se aplica a los minerales que tienen Fe y Mg como cationes principales. Los minerales ferromagnesianos, o por simplificación, los ferromagnesianos son principalmente las micas, los anfíboles, los piroxenos y los olivinos. Se designan también con el nombre de minerales negros y forman parte del grupo de los barilitos (piedra pesada, conjunto de minerales de las rocas magmáticas, con densidad >2.77, donde los principales son mica, anfíbol, piroxeno, olivino, minerales opacos, melilita, granate, epidota, apatito, circón, esfena, carbonatos).

Goethita. Hidróxido de hierro.

Hematita. Óxido férrico.

Hornblenda. Este mineral es del grupo del anfíbol.

Magnetita. Óxido  $\text{Fe}^{2+} \text{Fe}^{3+}_2\text{O}_4$

Microclina. Silicato alumínico potásico, es del grupo de los feldespatos potásicos.

Moscovita. Silicato alumínico potásico, es del grupo de las micas.

Oligoclasa. Silicato alumínico de calcio y de sodio.

Ortoclasa. Silicato alumínico potásico, este mineral es del grupo de los feldespatos.

Pirita. Su composición es un bisulfuro de hierro, es parte de la clase de sulfuros.

Plagioclasa. Estos feldespatos son llamados calcosódicos y forman una serie isomorfa que va desde la albita a la anortita.

Sericita. Mica blanca, se presenta en cristales muy pequeños, su composición química es muy similar a la moscovita.

Turmalina. Es un silicato complejo de boro y aluminio, pertenece al grupo de los ciclosilicatos.

Yeso. Es un sulfato de calcio hidratado.

# 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.
- ✚ 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. (1980). Carta Topográfica 1:250 000 MEXICALI I11-12. INEGI.
- ✚ Dirección General de Geografía. (1997). Carta Topográfica 1:50 000 NEJI I11D73. INEGI.
- ✚ Dirección General de Geografía. (1997). Carta Topográfica 1:50000 RUMOROSA I11D63. INEGI.
- ✚ Dirección General de Geografía. (1980). Carta Topográfica 1:250 000 TIJUANA I11-11. 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.
- ✚ 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.
- ✚ 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.
- ✚ 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 – <sup>14</sup>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.

# Anexo A

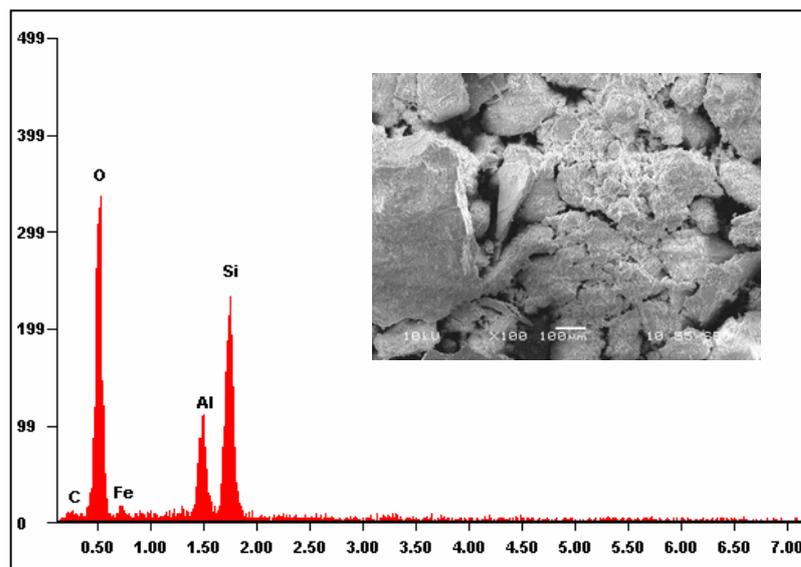


Figura 1A. EDX-SEM de la muestra color blanco: PR-Los Guerreros, b/w, EDX:2

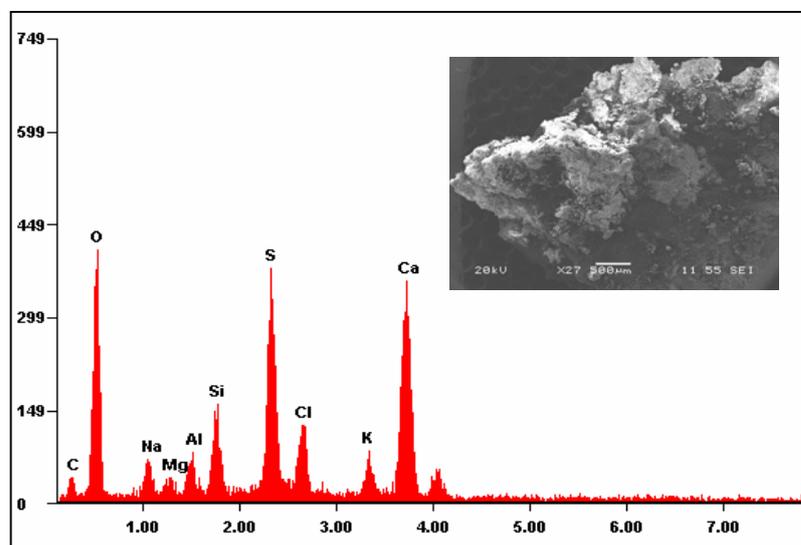


Figura 2A. EDX-SEM de la muestra color blanco: PR-Valle Seco, b/w, EDX :22.2

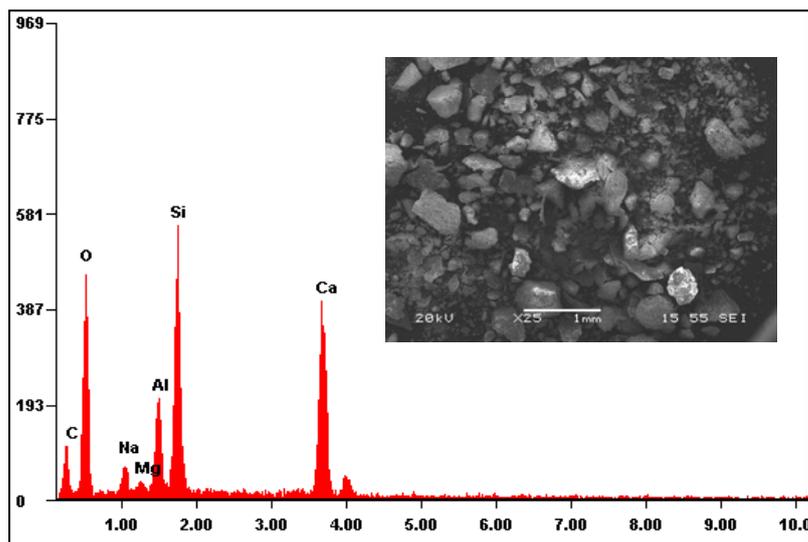


Figura 3. EDX-SEM de la muestra color blanco: PR-Los Puntos, b/w, EDX: 31

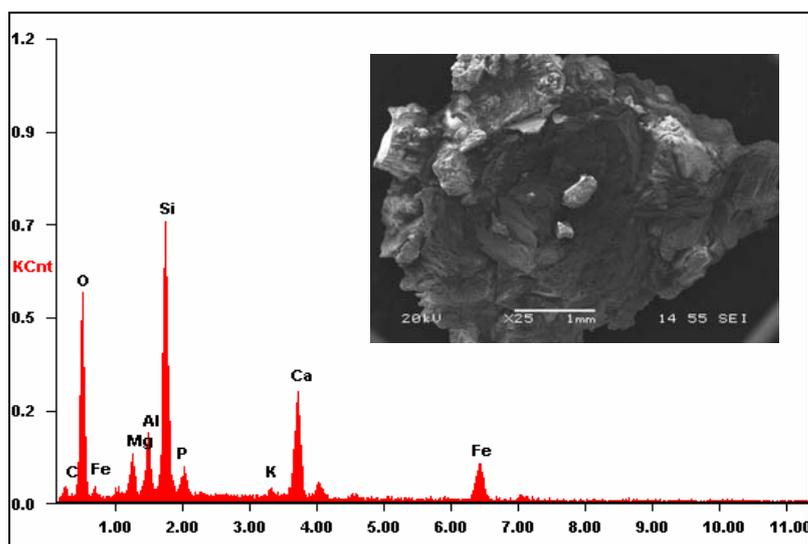


Figura 4. EDX-SEM de la muestra color blanco: PR-EI Murillo: Conjunto Coronado. (El camote) vg/gg, EDX: 7

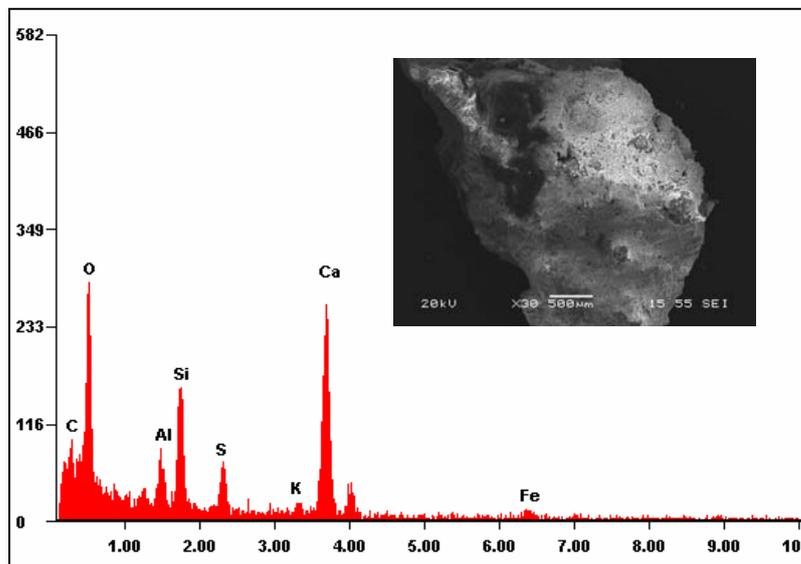


Figura 5A. EDX-SEM de la muestra color blanco: PR-Las Pilitas, b/w, EDX: 12

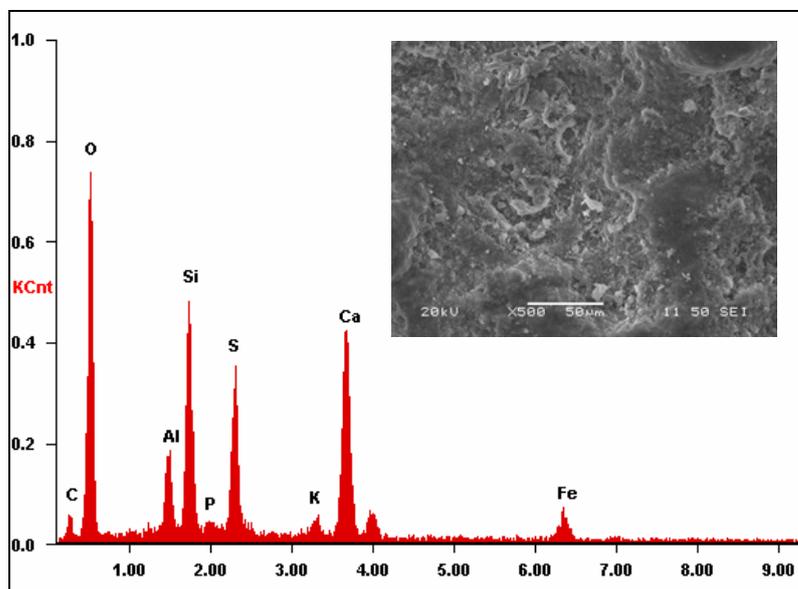


Figura 6A. EDX-SEM de la muestra color rojo, PR-EI Vallecito: Conjunto Los Solecitos o WittInñur, rn/or: EDX: 3

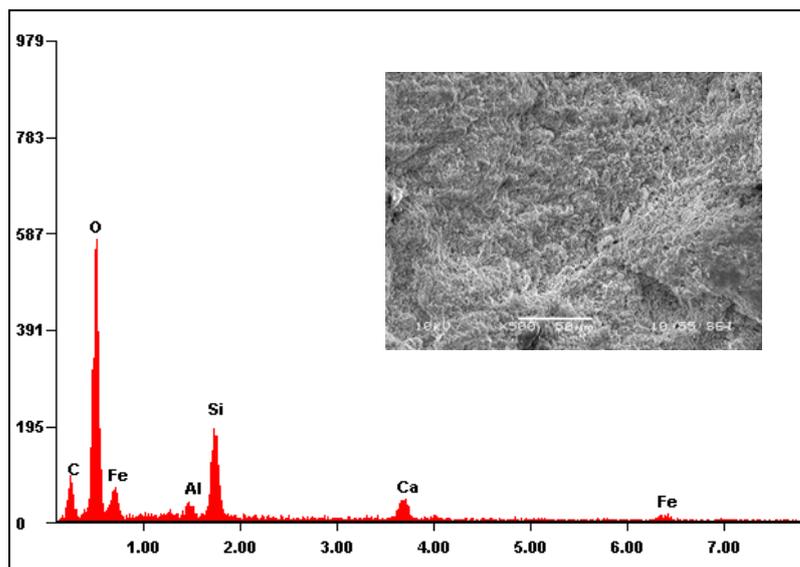


Figura 7A. EDX-SEM de la muestra color rojo, PR-Piedras Gordas, r/r, EDX: s/n

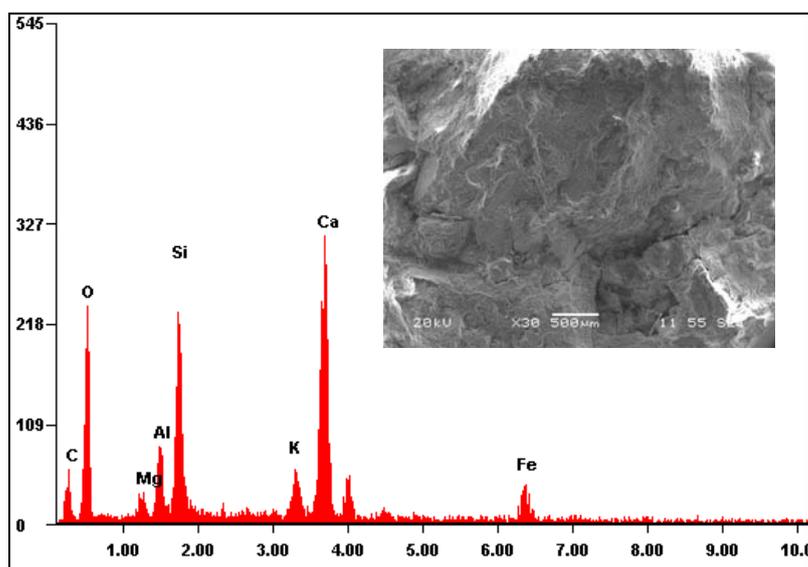


Figura 8A. EDX-SEM de la muestra color rojo, PR- Los Puntos, r/r, EDX: 33.2

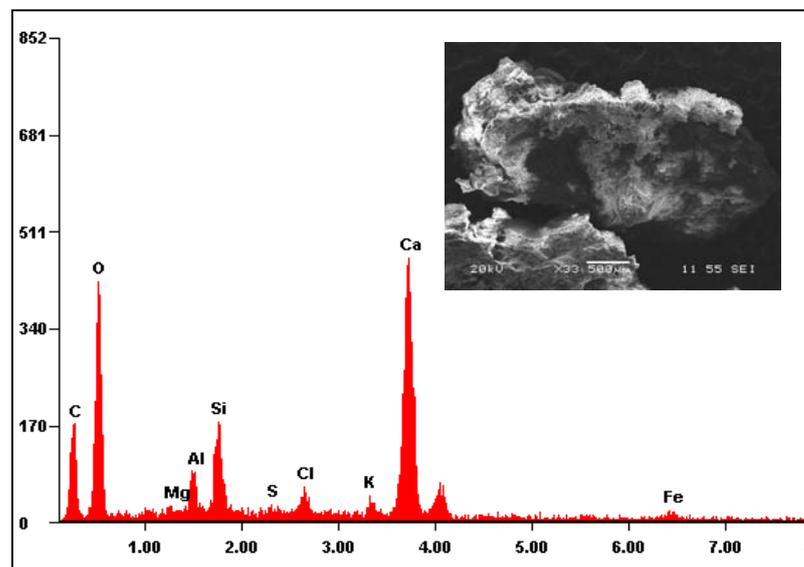


Figura 9A. EDX-SEM de la muestra color negro, PR-Valle Seco, n/b, EDX: 23.1

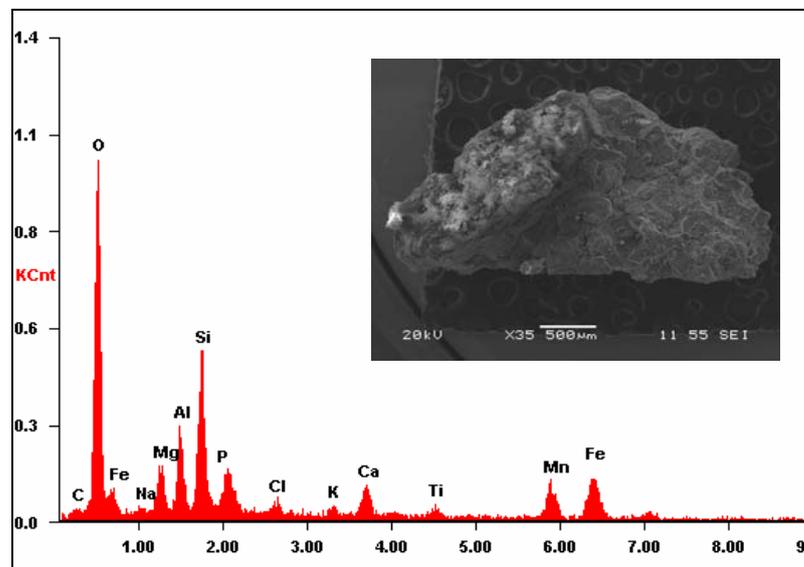


Figura 10A. EDX-SEM de la muestra color negro, La Milla: Conjunto A, n/b, EDX:19-21.2

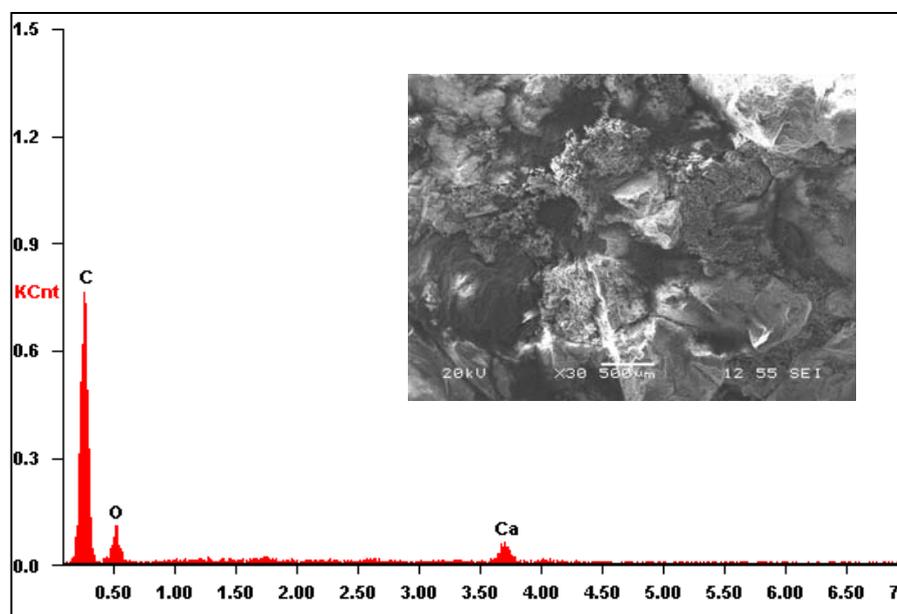


Figura 11A. EDX-SEM de la muestra color negro, PR-Los Puntos, n/b, EDX: 34

# Anexo B

**Tabla 1B. Petrografía de los panales clasificación rocosos con pinturas rupestres de la Rumorosa y el Cañón de Guadalupe, B.C.**

Localidad	Roca	Cuarzo	Feldespato potásico	Plagioclasa	Biotita	Moscovita	Grupo del Anfíbol	Esfena	Mineral opacos
El Vallecito	Granodiorita de biotita	30 %	18 %	40 %	10%	2%			Trazas
Los Guerreros	Tonalita de biotita ± hornblenda	25 %	-	66 % An <sub>28-34</sub> Oligoclasa-andesina	8 %		1 % 1 % Actinolita (Hornblenda → Actinolita)		
Piedras Gordas	Monzonita de cuarzo	35 %	32 %	25 %	4 %	4 %			
Potrero del Toro	Tonalita de biotita » hornblenda	15%		68%	15%		2% Hornblenda		
Rancho Agua Grande	Tonalita de biotita de origen plutónico	35%	13%	40%	12%				
Valle Seco	Plutón granítico de biotita	20%	42%	30%	8%				
Los Monos	Granodiorita plutónica de biotita	30%	15%	39%	15%			1%	
Los Puntos	Plutón tonalítico de biotita y hornblenda	20%		59%	10%		10% Hornblenda	1%	
El Murillo Conjunto Coronado	Tonalita – Granodiorita plutónica de biotita	30%	5%	50%	12%		2% Hornblenda		1%
El Murillo, Conjunto La Paz	Tonalita de biotita plutónica	35%		55%	10%				
La Milla, Conjunto "A"	Granodiorita plutónica de biotita	20%	28%	40%	12%				
La Milla, Conjunto "B"	Microgranito plutónico de biotita	25%	38%	25%	12%				
El Hoyo	Granito de biotita roca plutónica	25%	37%	30%	8%				
Las Pilitas	Granodiorita plutónica rica en cuarzo y pobre en biotita	49%	5%	40%	5%		1% Hornblenda		
Resguardo De La Cruz, C.G.	Plutón de composición granodiorítico de biotita	20%	32%	40%	8%				
La Tinaja Partida	Granito hololeucocrático de dos micas (moscovita + biotita)	25%	38%	30%	2%	5%			

**Tabla 2B. Cuarzo en las rocas huéspedes de la pintura rupestre de La Rumorosa y el Cañón de Guadalupe, B.C**

<b>Sitio arqueológico</b>	<b>Roca</b>	<b>Cuarzo SiO<sub>2</sub></b>
El Vallecito	Granodiorita de biotita	Está como grandes placas xenomorfas intersticiales, fracturadas y con extinción ondulante. Es tardío con relación a los feldespatos. 30%
Los Guerreros	Tonalita de biotita ± horblenda	Es abundante y se ubica como grandes placas xenomorfas tardías, entre los intersticios de los feldespatos. 25%
Piedras Gordas	Monzonita de cuarzo	Existe en forma de grandes placas intersticiales con extinción ondulante. En algunas zonas da la apariencia de que el cuarzo afecta a las plagioclasas. 35%
Potrero del Toro	Tonalita de biotita » horblenda	Es xenomorfo, intersticial presentando extinción ondulante. 15%
Rancho Agua Grande	Tonalita de biotita de origen plutónico	Se observa en grandes placas hasta de 5 mm, xenomorfas y con extinción ondulante. 35%
Valle Seco	Plutón granítico de biotita	Está en grandes placas intersticiales hasta de 5 mm y con extinción ondulante. 20%
Los Monos	Granodiorita plutónica de biotita	Se observa en placas irregulares angulosas, siempre en los intersticios y a veces incluido en otros feldespatos más grandes. 30%
Los Puntos	Plutón tonalítico de biotita y horblenda	Es xenomorfo, intersticial, con extinción ondulante. El tamaño de las placas es de 1 a 3 mm. 20%
El Murillo. Conjunto Coronado	Tonalita–Granodiorita plutónica de biotita	Se ubica en los intersticios, es de extinción ondulante y xenomorfo. Presenta abundantes cicatrices con inclusiones fluidas secundarias. 30%
El Murillo, Conjunto La Paz	Tonalita de biotita plutónica	Es de dos tipos; uno en cristales pequeños euedrales y otro en grandes placas xenomorfas en los intersticios, con débil extinción ondulante. 35%
La Milla, Conjunto “A”	Granodiorita plutónica de biotita	Siempre se observa como placas angulosas en los intersticios. 20%
La Milla, Conjunto “B”	Microgranito plutónico de biotita	Se presenta en cristales euedrales y subeuedrales bien formados, flotando también en feldespato potásico. 25%
El Hoyo	Granito de biotita roca plutónica	Se observa en grandes placas xenomorfas con extinción ondulante. 25%
Las Pilitas	Granodiorita plutónica rica en cuarzo y pobre en biotita	Se ubica como placas irregulares que cementan las plagioclasas. 49%
Resguardo de La Cruz, (Cañón de Guadalupe).	Plutón de composición granodiorítico de biotita	Se observa en grandes placas irregulares hasta de 4 mm entre los intersticios de los feldespatos. El cuarzo presenta extinción ondulante. 20%.
La Tinaja Partida	Granito hololeucócrata de dos micas (moscovita + biotita)	Aparece en placas intersticiales con extinción ondulante. 25%

**Tabla 3B. Feldespato potásico en las rocas huéspedes de la pintura rupestre de La Rumorosa y el Cañón de Guadalupe, B.C.**

<b>Sitio arqueológico</b>	<b>Roca</b>	<b>Feldespato potásico <math>AlSi_3O_8</math> (K,Na,Ca)</b>
El Vallecito	Granodiorita de biotita	Es microclina tardía intersticial, la que junto con el cuarzo cementa las plagioclasas. En el contacto con este mineral suele formar texturas mirmequíticas. Otro tipo de feldespato no presenta maclas y parece ser ortoclasa. 18%
Los Guerreros	Tonalita de biotita ± horblenda	No presenta.
Piedras Gordas	Monzonita de cuarzo	La microclina se observa abundante en una zona de la lámina, se reconoce por su macla característica pero mal desarrollada. En general es xenomorfa, tardía e intersticial. 32%
Potrero del Toro	Tonalita de biotita » horblenda	No presenta.
Rancho Agua Grande	Tonalita de biotita de origen plutónico	Se presenta en placas xenomorfas intersticiales tardías, sin maclas. 13%
Valle Seco	Plutón granítico de biotita	Es más abundante que las plagioclasas y más anedral que estas. Se aprecia más en los intersticios. 42%
Los Monos	Granodiorita plutónica de biotita	Es ortoclasa, en cristales más pequeños que la plagioclase, no maclados o probablemente con macla de Carlsbad. 15%
Los Puntos	Plutón tonalítico de biotita y horblenda	No presenta
El Murillo, Conjunto Coronado	Tonalita–Granodiorita plutónica de biotita	Es escaso, son cristales pequeños con macla de Carlsbad, incluidos en cuarzo. 5%
El Murillo, Conj. La Paz	Tonalita de biotita plutónica	No presenta.
La Milla, Conjunto “A”	Granodiorita plutónica de biotita	Se distingue por no presentar maclado o a veces con macla de Carlsbad. 28%
La Milla, Conjunto “B”	Microgranito plutónico de biotita	Es ortoclase, que se comporta como una masa xenomorfa, en la cual flotan los minerales previamente formados. 48%
El Hoyo	Granito de biotita roca plutónica	Que se observa es microclina xenomorfa, con su típico maclado en tapete pero mal desarrollado. En los bordes de feldespato y cuarzo hay desarrollo de textura mirmequítica.
Las Pilitas	Granodiorita plutónica rica en cuarzo y pobre en biotita	Es escaso, no tiene macla y parece ortoclase. 5%
Resguardo de La Cruz, (Cañón DE Guadalupe).	Plutón de composición granodiorítico de biotita	Parece microclina, pero con maclado en tapete mal desarrollado. Entre los feldespatos y el cuarzo existen mirmequitas. 32%
La Tinaja Partida	Granito hololeucócrata de dos micas (moscovita + biotita)	Es xenomorfo, tardío, se mete entre los cristales de plagioclase, no está maclado y es probablemente ortoclase. 38%

**Tabla 4B. Plagioclasas en las rocas huéspedes de la pintura rupestre de La Rumorosa y el Cañón de Guadalupe, B.C.**

Sitio arqueológico	Roca	Plagioclasas $Ab_{100}An_0$ – $Ab_0An_{100}$ $Si_3AlO_8Na$ – $Si_2Al_2O_8Ca$
El Vallecito	Granodiorita de biotita	Son idiomórficas que pueden llegar hasta 2 mm, presentan maclado polisintético, son de estructura zonal y en ciertos lugares de la lámina flotan sobre una masa de feldespatos potásico sin macla, ni estructura. 40%
Los Guerreros	Tonalita de biotita ± hornblenda	Son el único feldespato presente. Se observa en tabletas idiomorfas alargadas hasta de 4 mm, tiene macla polisintética y una estructura zonal poco desarrollada. Medidas de ángulos de extinción sobre secciones perpendiculares a 010 indican una composición de $An_{28-34}$ , lo cual lo ubica en una composición de oligoclasa-andesina. 66%
Piedras Gordas	Monzonita de cuarzo	Aparecen en menor proporción que el feldespato. Presenta maclado polisintético y pueden estar afectadas por feldespato alcalino tardío. 25%
Potrero del Toro	Tonalita de biotita » hornblenda	Se presentan como cristales euedrales y subeuedrales hasta de 5 mm, son muy abundantes y siempre tienen maclado polisintético. 68%
Rancho Agua Grande	Tonalita de biotita de origen plutónico	Se presenta en cristales grandes hasta de 2 mm, con maclas polisintéticas muy bien formadas y una estructura zonal débilmente desarrollada. 40%
Valle Seco	Plutón granítico de biotita	Son de 1 a 4 mm, subautomorfos, débilmente corroídos y con una estructura zonal bien desarrollada. 30%
Los Monos	Granodiorita plutónica de biotita	Existe como cristales en forma de tabletas hasta de 4 mm de largo, euedrales, zonales y con maclado polisintético. 39%
Los Puntos	Plutón tonalítico de biotita y hornblenda	Están en forma de tabletas con maclado polisintético y de un tamaño entre 2 a 5 mm. 59%
El Murillo. Conjunto Coronado	Tonalita–Granodiorita plutónica de biotita	Se encuentra distribuida de manera abundante en tabletas grandes hasta de 4 mm. Presentan invariablemente maclas polisintéticas y estructura zonal. Otros cristales de plagioclasa pequeños flotan en el cuarzo. 52%
El Murillo, Conjunto La Paz	Tonalita de biotita plutónica	Se observa en forma de cristales grandes como tabletas, hasta de 4 mm, presentan maclados polisintéticos y combinado Carlsbad-polisintético, presentan además leve estructura zonal. 55%
La Milla, Conjunto "A"	Granodiorita plutónica de biotita	Son euedrales, con macla polisintética, a veces con estructura zonal.
La Milla, Conjunto "B"	Microgranito plutónico de biotita	Están siempre en cristales automorfos con las esquinas levemente arredondadas, presentan macla polisintética y estructura zonal. Las plagioclasas, al igual que la biotita, flotan en una masa de feldespato potásico tardío. 25%
El Hoyo	Granito de biotita roca plutónica	Se observa en cristales euedrales y subeuedrales hasta de 2 mm, con gemelación polisintética y débilmente zonal. Estas plagioclasas euedrales flotan en una matriz xenomorfa de microclina. 30%
Las Pilitas	Granodiorita plutónica rica en cuarzo y pobre en biotita	Los cristales mayores son de plagioclasa, los cuales son alargados con una relación largo/ancho de 3/1. presentan macla polisintética y estructura zonal. 40%
Resguardo de La Cruz, (Cañón de Guadalupe).	Plutón de composición granodiorítica de biotita	Existe en abundantes cristales en forma de tabletas, macladas de manera polisintética. 40%
La Tinaja Partida	Granito hololeucócrata de dos micas (moscovita + biotita)	Existe como cristales subeuedrales hasta de 2 mm con maclado polisintético .

**Tabla 5B. Biotita en las rocas huéspedes de la pintura rupestre de La Rumorosa y el Cañón de Guadalupe, B.C**

Sitio arqueológico	Roca	Biotita: $(\text{AlSiO}_{10})\text{K}(\text{Mg,Fe})_2(\text{OH})_2$
El Vallecito	Granodiorita de biotita	Se observa en tonos rojizos en luz natural, también en láminas bien formadas que miden hasta 1 mm de largo. Son normalmente bien frescas y presentan pequeñas inclusiones de apatito y minerales opacos. 10%
Los Guerreros	Tonalita de biotita ± hornblenda	Se observa en cristales grandes, hasta de 4 mm, bien formados con cruceros paralelos en una dirección sobre 001, y con algunos óxidos de hierro sobre los planos de crucero. El tono de polarización es castaño denotando una composición ferrífera. Algunos cristales de biotita que se ubican en las cercanías del anfíbol fueron reemplazados por clorita. 8%
Piedras Gordas	Monzonita de cuarzo	Se observa en láminas muy alargadas de tonos castaños, rica en hierro. 4%
Potrero del Toro	Tonalita de biotita » hornblenda	Se observa en hojuelas diseminadas o en aglomerados de cristales. Es de tonos castaños en luz natural como las variedades ricas en Fe y contiene inclusiones de apatito. 15%
Rancho Agua Grande	Tonalita de biotita de origen plutónico	Se encuentra en cristales entre 0.5 a 1 mm, muchas veces en secciones basales pseudo hexagonales muy café en luz natural. 12%
Valle Seco	Plutón granítico de biotita	Se observa en hojuelas inferiores a 1 mm y en pequeñas cristales aglomeráticos. Es de composición ferrífera. 8%
Los Monos	Granodiorita plutónica de biotita	Está como cristales entre 0.5 a 1 mm con trazas de alteración a clorita. 15%
Los Puntos	Plutón tonalítico de biotita y hornblenda	Es de tonos castaños en luz natural, con débil alteración a clorita en los bordes. Contiene inclusiones de apatito y granos de esfena que siguen planos de crucero. Estos planos de crucero a menudo están deformados. 10%
El Murillo. Conjunto Coronado	Tonalita–Granodiorita plutónica de biotita	Es de composición ferrífera entre 0.5 a 2.0 mm y se relaciona a probable piritita o magnetita minerales opacos. 12%
El Murillo. Conjunto La Paz	Tonalita de biotita plutónica	Está como láminas menores de 0.5 mm, formas alargadas o secciones basales muy café. Por sus tonos en luz natural se deduce una composición ferrífera. 10%
La Milla, Conjunto "A"	Granodiorita plutónica de biotita	Está como pequeños cristales menores de 0.5 mm, como tabletas alargadas con crucero paralelo hasta de 1 mm de largo por 0.4 mm de ancho. Es de composición ferrífera. Se observa también en los intersticios evidenciando carácter tardío. 12%
La Milla, Conjunto "B"	Microgranito plutónico de biotita	Se observa como pequeños cristales de tonos café en luz natural y como pequeñas laminillas alargadas menores de 0.2 mm. A veces los cristales parecen burdamente orientados. 12%
El Hoyo	Granito de biotita roca plutónica	Está como cristales menores de 1 mm, es de tonos castaños de tipo ferrífera. 8%
Las Pilitas	Granodiorita plutónica rica en cuarzo y pobre en biotita	Se encuentra diseminada y parece tardía, ya que se introduce entre los minerales claros. 5%
Resguardo de La Cruz, (Cañón de Guadalupe).	Plutón de composición granodiorítica de biotita	Esta como hojuelas hasta de 1 mm, de tonos castaños en luz natural, por su composición ferrífera y se altera débilmente a clorita. Existen trazas de epidota ferrífera (pistachito) y de biotita secundarias. 8%
La Tinaja Partida	Granito hololeucócrata de dos micas (moscovita + biotita)	Es escasa y contiene inclusiones de apatito. 2%

**Tabla 6B. Texturas de las rocas huéspedes de la pintura rupestre de La Rumorosa y el Cañón de Guadalupe, B.C.**

<b>Sitio arqueológico</b>	<b>Roca</b>	<b>Textura</b>	<b>Talla de los cristales</b>
El Vallecito	Granodiorita de biotita	Fanerítica, holocristalina, panidiomórfica, equigranular, por zonas mirmequíticas	0.2 a 2.0 mm. De grano fino a medio.
Los Guerreros	Tonalita de biotita ± hornblenda	Fanerítica, holocristalina, hipidiomórfica	1.0 a 4.0 mm. De grano medio.
Piedras Gordas	Monzonita de cuarzo	Fanerítica, holocristalina, hipidiomórfica, mirmequítica en zonas	0.5 a 2.0 mm. De grano fino a medio.
Potrero del Toro	Tonalita de biotita » hornblenda	Fanerítica, holocristalina, hipidiomórfica	1.0 a 4.0 mm. De grano medio.
Rancho Agua Grande	Tonalita de biotita de origen plutónico	Fanerítica, holocristalina, hipidiomórfica	0.5 a 5.0 mm. De grano fino a medio.
Valle Seco	Plutón granítico de biotita	Fanerítica, holocristalina	1.0 a 4.0 mm. De grano medio.
Los Monos	Granodiorita plutónica de biotita	Fanerítica, holocristalina, panidiomórfica	0.5 a 2.0 mm. De grano fino a medio.
Los Puntos	Plutón tonalítico de biotita y hornblenda	Fanerítica, holocristalina, hipidiomórfica, tendencia al desarrollo de puntos triples (que indican buenas condiciones de cristalización).	2.0 a 5.0 mm. De grano medio.
El Murillo Conjunto Coronado	Tonalita–Granodiorita plutónica de biotita	Fanerítica, holocristalina, panidiomórfica a hipidiomórfica, hay zonas con desarrollo de puntos triples en la textura	0.5 a 4.0 mm. De grano fino a medio.
El Murillo, Conjunto La Paz	Tonalita de biotita plutónica	Fanerítica, holocristalina, panidiomórfica	0.3 a 4.0 mm. De grano fino a medio.
La Milla, Conjunto “A”	Granodiorita plutónica de biotita	Fanerítica, holocristalina, panidiomórfica a hipidiomórfica, en zonas se advierte la presencia de triples puntos	0.3 a 2.0 mm. De grano fino a medio.
La Milla, Conjunto “B”	Microgranito plutónico de biotita	Fanerítica, holocristalina, hipidiomórfica a panidiomórfica	0.5 a 1.0 mm. De grano fino.
El Hoyo	Granito de biotita roca plutónica	Fanerítica, holocristalina, hipidiomórfica, en zonas se desarrollan mirmequitas	< 1.0 a 2.0 mm. De grano fino a medio.
Las Pilitas	Granodiorita plutónica rica en cuarzo y pobre en biotita	Fanerítica, holocristalina, hipidiomórfica	3.0 a 6.0 mm. De grano medio.
Resguardo de La Cruz, (Cañón de Guadalupe).	Plutón de composición granodiorítico de biotita	Fanerítica, holocristalina, panidiomórfica. En zonas hay desarrollo de mirmequitas	1.0 a 4.0 mm. De grano medio.
La Tinaja Partida	Granito hololeucocrático de dos micas (moscovita + biotita)	Fanerítica, holocristalina, hipidiomórfica.	<1.0 a 2.0 mm. De grano fino a medio.

**Tabla 7B. Alteraciones en las rocas huéspedes de la pintura rupestre de La Rumorosa y el Cañón de Guadalupe, B.C**

Sitio arqueológico	Roca	Alteraciones
El Vallecito	Granodiorita de biotita	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Microclina (feldespato potásico), la que junto el cuarzo <i>cementa</i> las plagioclasas (orden de cristalización)</li> <li>• Textura mirmequíticas (momento de formación)</li> </ul>
Los Guerreros	Tonalita de biotita ± hornblenda	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hornblenda que fue transformada en actinolita (neumatólisis).</li> <li>• Biotita fueron reemplazados por clorita (neumatólisis).</li> <li>• La roca fue afectada por débil pneumatólisis o hidrotermalismo que se manifiesta por la presencia de actinolita + turmalina + clorita</li> </ul> <p>Neumatólisis.- desplazamiento en profundidades de vapores enriquecidos especialmente en B, F, Cl y metales siendo llamados neumatolíticos</p>
Piedras Gordas	Monzonita de cuarzo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mirmequitas [cristal de feldespato (plagioclasa) que contiene pequeños trazos sinuosos de cuarzo en disposición enmarañada]</li> </ul>
Potrero del Toro	Tonalita de biotita » hornblenda	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biotita contiene inclusiones de apatito (momento de formación).</li> <li>• Hornblenda es escasa, se observa en secciones basales con los cruceros subrayados por óxido de hierro (oxihornblenda, hornblenda parda rica en Fe<sup>3+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, NaK ANFIBOL)</li> </ul>
Rancho Agua Grande	Tonalita de biotita de origen plutónico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Como mineral secundario se observan trazas de epidota ferrífera (pistachito, el hierro reemplaza al aluminio) y de sericita procedentes de biotita.</li> <li>• La sericita se trata de minerales de alteración o recristalización en las rocas metamórficas.</li> </ul>
Valle Seco	Plutón granítico de biotita	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La plagioclasa granos subautomorfos débilmente corroídos.</li> <li>• La moscovita no se aprecia claramente si es primaria o secundaria.</li> </ul>
Los Monos	Granodiorita plutónica de biotita	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La biotita está con trazas de alteración a clorita (Neumatólisis).</li> </ul>
Los Puntos	Plutón tonalítico de biotita y hornblenda	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La biotita con débil alteración a clorita en los bordes.</li> <li>• La biotita tiene inclusiones de apatito y granos de esfena.</li> <li>• La hornblenda en grandes cristales poiquilíticos con inclusiones de biotita.(Poiquilítico.- se dice de un cristal de un mineral que contiene numerosos cristales de otro).</li> <li>• La biotita se encuentra en partes actinolitizada (Actinolitización.- cuando su contenido de hierro es mayor del 2%).</li> </ul>
El Murillo Conjunto Coronado	Tonalita–Granodiorita plutónica de biotita	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollo de puntos triples, indican buenas condiciones de cristalización.</li> <li>• El cuarzo presenta abundantes cicatrices con inclusiones fluidas secundarias.</li> </ul>
El Murillo, Conjunto La Paz	Tonalita de biotita plutónica	No se detectaron
La Milla, Conjunto "A"	Granodiorita plutónica de biotita	No se detectaron
La Milla, Conjunto "B"	Microgramito plutónico de biotita	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Existen trazas de sericita de alteración que afecta las plagioclasas.</li> </ul>
El Hoyo	Granito de biotita roca plutónica	No se detectaron.
Las Pilitas	Granodiorita plutónica rica en cuarzo y pobre en biotita	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El cuarzo, cementa las plagioclasas (momento de formación de la roca).</li> <li>• Trazas de hornblenda mal formada probablemente transformada a actinolita y asociada con biotita.</li> </ul>
La Tinaja Partida	Granito hololeucocrático de dos micas (moscovita + biotita)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La biotita se altera débilmente a clorita (Clorita.- son minerales frecuentes de las rocas magmáticas como resultado de alteración de numerosos silicatos ferromagnesianos[en particular la biotita] y también en las rocas de bajo grado de metamorfismo, alteración meteórica).</li> <li>• Trazas de epidota ferrífera (pistachito)</li> </ul>
Resguardo de La Cruz, (Cañón de Guadalupe).	Plutón de composición granodiorítica de biotita	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La moscovita parece secundaria y crece sobre los feldespatos.</li> <li>• La escasa biotita contiene inclusiones de apatito (PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Ca<sub>5</sub>(F, Cl,OH)</li> </ul>

**Alteración.**- Modificación de las propiedades físico-químicas de los minerales por consiguiente de las rocas, por los agentes atmosféricos, por las aguas subterráneas y las aguas termales (alteración hidrotermal). En particular depende del clima, de la temperatura de las aguas, de la composición de las rocas y de su grado de fracturación. Generalmente hace a las rocas menos coherentes, lo que facilita su desintegración.

**Tabla 8B. Iones, radios iónicos y electronegatividad, de los elementos químicos determinados por edx y petrografía**

Elemento químico	Símbolo	Número atómico	Ion	Radio iónico en Å			Electronegatividad
				G	P	L	
Oxígeno	O	8	O <sup>-2</sup>	1.32	1.40	1.25	3.50
Silicio	Si	14	Si <sup>+4</sup>	0.38	0.41	-	1.74
Calcio	Ca	20	Ca <sup>+2</sup>	1.06	0.99	1.18	1.04
Aluminio	Al	13	Al <sup>+3</sup>	0.45	0.50	-	1.47
Carbono	C	6	C <sup>+4</sup>	0.15	0.15	-	2.50
Hierro	Fe	26	Fe <sup>+2</sup> , Fe <sup>+3</sup>	0.83	0.76	0.90	1.64
Potasio	K	19	K <sup>+1</sup>	1.33	1.33	1.44	0.91
Azufre	S	16	S <sup>-2</sup>	1.74	1.84	1.70	2.44
Magnesio	Mg	12	Mg <sup>+2</sup>	0.78	0.65	0.87	1.23
Sodio	Na	11	Na <sup>+1</sup>	0.98	0.95	1.12	1.01
Fósforo	P	15					2.06
Cloro	Cl	17	Cl <sup>-1</sup>	1.81	1.81	1.70	2.83
Titanio	Ti	22	Ti <sup>+4</sup>	0.60	0.68	-	1.32
Manganeso	Mn	25	Mn <sup>+2</sup>	0.91	0.80	0.93	1.60
Flúor	F	9	F <sup>-1</sup>	1.33	1.36	1.19	4.10
Nitrógeno	N	7					3.07
Hidrogeno	H	1	H <sup>-1</sup>	1.54	2.08	1.39	2.20
Hidróxilo	OH		OH <sup>-1</sup>				
Fosfato	PO <sub>4</sub>		PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>				

Å = una millonésima parte de un centímetro

G.- Goldschmidt. P.- Pauling. L.- Ladd

NC.- Número de coordinación

Tabla 9B. Composición química de los minerales involucrados en el estudio

MINERAL	FÓRMULA
Cuarzo	$\text{SiO}_2$
Feldespato potásico ortoclasa-microclina	$(\text{Si}_3\text{AlO}_8)\text{K}$
Plagioclasa albita-anortita	$\text{Si}_3\text{AlO}_8\text{Na} \text{ -- } \text{Si}_3\text{AlO}_8\text{Ca}$
Biotita	$(\text{Si}_3\text{AlO}_{10})\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{OH})_2$
Moscovita	$(\text{Si}_3\text{AlO}_{10})\text{KAl}_2(\text{OH})_2$
Hornblenda	$(\text{AlSi})_8\text{O}_{22}\text{Ca}_2\text{Na}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_4(\text{Al}, \text{Fe}^{3+}, \text{Ti})(\text{O}, \text{OH})_2$
Clorita	$(\text{Si}_4\text{O}_{10})\text{Mg}_3(\text{OH})_2 \cdot \text{Mg}_3(\text{OH})_6$
Apatito	$(\text{PO}_4)_3\text{Ca}_5(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$
Actinolita	$(\text{Si}_8\text{O}_{22})\text{Ca}_2\text{Mg}_5(\text{OH})_2 \text{ Fe}(2\%)$
Esfena	$(\text{SiO}_4)\text{CaTiO}$
Caolinita	$(\text{Si}_4\text{O}_{10})\text{Al}_4(\text{OH})_8$
Magnetita	$\text{Fe}_3\text{O}_4$
Hematita	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
Limonita	$\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$
Goethita	$\text{FeO}(\text{OH})$
Calcita	$\text{CO}_3\text{Ca}$
Yeso	$\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Carbón de fogata	C 49.6%, O 43.2%, H 6.2%, N 0.9%, S trazas (Composición de la Madera según Clarke).