



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Tecnología y conservación de las pinturas murales de los hipogeos del Alto del Aguacate en Tierradentro, Cauca, Colombia.

Ana Isabel Giraldo Ocampo

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Minas, Departamento de Materiales y Minerales
Medellín, Colombia

2020

Tecnología y conservación de las pinturas murales de los hipogeos del Alto del Aguacate en Tierradentro, Cauca, Colombia.

Ana Isabel Giraldo Ocampo

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ingeniería – Materiales y Procesos

Directora:

Dra. Judith Trujillo Téllez

Codirector:

Dr. Hugo Armando Estupiñan Duran

Asesora:

Dra. Luz Marina Ocampo Carmona

Línea de Investigación:

Corrosión, Degradación, Protección y Reciclaje de Materiales

Grupo de Investigación:

Ciencia y Tecnología de Materiales

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Minas, Departamento de Materiales y Minerales

Medellín, Colombia

2020

Agradecimientos

Quisiera agradecer a todas las instituciones, profesores, colegas y amigos quienes con su generoso aporte hicieron posible el desarrollo de esta tesis de maestría.

Especialmente a la profesora Dra. Judith Trujillo Téllez, directora de tesis, por su dedicación, consejos y acompañamiento durante el proceso de tesis; por compartir tanto de su conocimiento y tiempo para llevar a acabo el proyecto de investigación.

Profesor Dr. Hugo Armando Estupiñan Duran, codirector de la tesis, por sus ideas y confianza en un proyecto fuera de lo convencional.

Profesora Dra. Luz Marina Ocampo Carmona, asesora del proyecto, por ayudarme activamente en cada paso e incentivar me a realizar esta maestría, por ser un ejemplo como investigadora y docente.

Laboratorio de Biomateriales de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín, por brindar los espacios para la preparación de muestras y realización de pruebas RS y SEM-EDS; especialmente a MEng. James Rosero Romo, quien fue un amigo y apoyo incansable en los momentos mas intensos del proceso.

Profesora Dra. Natalia Acevedo Gómez, Laboratorio Petrográfico del Departamento de Geociencias, Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín por la realización del análisis petrográfico microscópico.

Laboratorio de Química Experimental de la Universidad Nacional Sede Medellín, a la profesora Dra. Angelina Hormaza, al estudiante Santiago González, quien realizó las pruebas de FT-IR/ATR.

Laboratorio de Tribología de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín; especialmente al profesor Dr. Juan Manuel Meza, el alumno de maestría Juan José Toro y a Edgar Mauricio Álvarez, operario del equipo de XRD.

Laboratorio de Química del Cemento, especialmente al profesor Dr. Oscar Jaime Restrepo y al ingeniero Francisco Darío Cabrera, por brindarme la oportunidad de hacer los estudios de medición de color y aprender mucho más a acerca de pigmentos.

Laboratorio HERCULES: Herença Cultural Estudos e Salvaguarda, de la Universidad de Évora en Portugal, especialmente a los profesores Dra. Cristina Barrocas Dias, Dr. José Antonio Mirão, y demás miembros investigadores, quienes generosamente brindaron su tiempo a la realización de los análisis. A las estudiantes de doctorado Malfalda Costa y Ana Tsoupra por la realización de las pruebas de XRF, Ana Fundurulich y Ana Manhita por la realización de las pruebas de py-GC/MS, a Ana Margarida Cardoso por el análisis de los resultados de FT-IR ATR.

Al Instituto Colombiano de Antropología e Historia ICANH especialmente al Grupo de Patrimonio del ICANH, a la supervisora del proyecto, restauradora MA. Patricia Ramírez Nieto, a Eliana Lozano, asistente del Grupo de Patrimonio, a la administradora del Parque Arqueológico Tierradentro, Rosalin Casas Medina y al señor Oscar Parra, trabajador de la zona arqueológica. Por permitirme trabajar en este maravilloso sitio, apoyar la investigación de múltiples maneras y compartir los informes, tesis, artículos y demás trabajos realizados en Tierradentro.

Al Resguardo Indígena de San Andrés de Pisimbalá, especialmente a su gobernador, Wilson Liz Ipia, por permitirnos realizar este estudio en su territorio y recibirnos de manera cordial expresando sus percepciones y preocupaciones acerca del Aguacate.

Al Grupo de Investigación de Arte Rupestre Indígena GIPRI Colombia, siempre, por compartir su trabajo y brindar a la comunidad científica los espacios para aprender.

A la Conservadora-Restauradora María Paula Álvarez de la Corporación Proyecto Patrimonio, quien durante tantos años ha apoyado los proyectos académicos y personales, por introducirme a la zona arqueológica de Tierradentro, por conectarme con los conservadores trabajando en el sitio, y por animarme a realizar el estudio.

Al ingeniero geológico Juan Carlos Monroy Laitón por la elaboración de las cartografías a escala del sitio arqueológico.

A Lauren Sophia Ariza y David Giraldo, quienes me acompañaron en el trabajo de campo, gracias por su colaboración y amistad a lo largo de los años.

A los profesores y compañeros que me acompañaron a lo largo de la maestría, quienes con su dedicación inspiran a ir mas allá en el proceso investigativo. Especialmente al grupo de investigación Ciencia y Tecnología de Materiales, su presencia y participación en las presentaciones del proyecto fueron un apoyo moral muy importante.

A mi familia, especialmente a mis abuelos, Isabel Carmona y Arcesio Ocampo, quienes me acogieron amorosamente en su casa y me brindaron el apoyo para continuar con la maestría; a mis padres Adriana Ocampo y Jaime Giraldo, sin su esfuerzo no hubiera sido posible para mi llegar hasta donde estoy hoy.



ICANH
Instituto Colombiano de
Antropología e Historia



Resumen

El Alto del Aguacate es uno de los sitios del Parque Arqueológico Nacional Tierradentro, declarado Patrimonio Cultural de la Humanidad en 1995, cuyo principal rasgo es la presencia de centenares de tumbas subterráneas localizadas en la cima de las montañas, denominadas hipogeos, usadas para realizar entierros secundarios y caracterizadas principalmente por la profusión de pinturas murales y relieves en sus paredes rocosas.

Cuatro hipogeos con presencia de pinturas murales ubicados en el sitio arqueológico Alto del Aguacate fueron seleccionados para llevar a cabo un estudio multidisciplinario que comprendió el registro básico, los análisis instrumentales para la caracterización de materiales y una aproximación a los aspectos tecnológicos de la elaboración de las pinturas murales.

Subsecuentemente, basado en los resultados previamente obtenidos, se realizó el examen del estado de conservación de las pinturas murales, el cual consistió en la identificación de indicadores, factores, y mecanismos de deterioro, luego analizados para producir un diagnóstico actualizado.

Palabras clave: Tierradentro, tumbas arqueológicas, pigmentos, pinturas murales, conservación, tecnología.

Abstract

El Alto del Aguacate is one of the sites of the National Archaeological Park of Tierradentro, declared World Heritage Site in 1995, its main feature is the presence of hundreds of underground tombs located on top of the mountains, names hypogea, used for carrying out secondary burials and characterized by the profusion of mural paintings and reliefs in its rock walls.

Four hypogea with the presence of mural paintings, located at the archaeological site Alto del Aguacate, were selected to carry out a multidisciplinary study that included the documentation, instrumental analyses for the characterization of materials, and an approximation to the technological aspects of the elaboration of the mural paintings.

Subsequently, based on the results previously obtained, the examination of the state of conservation of the mural paintings was performed, which consisted of the identification of indicators, factors, and mechanisms of deterioration, later analyzed to produce an updated diagnosis.

Keywords: Tierradentro, archaeological tombs, pigments, mural paintings, conservation, technology.

Technology and Conservation of the Mural Paintings of the Hypogea of Alto del Aguacate in Tierradentro, Cauca, Colombia.

Contenido

1. Contextualización	5
1.1 El Parque Arqueológico Nacional de Tierradentro	5
1.2 El sitio: Alto del Aguacate	9
1.3 Marco legal	14
1.4 Geología de la zona	16
1.5 Contexto geográfico, clima y vegetación	18
1.6 Estudios de materiales en Tierradentro	22
1.7 Trabajos de conservación en Tierradentro	24
1.8 Investigaciones arqueológicas	28
2. Metodología	34
3. Registro	36
3.1 Hipogeo A-0	43
3.2 Hipogeo AR-50	48
3.3 Hipogeo AR-44	50
3.4 Hipogeo AR-38	54
4. Caracterización de materiales	56
4.1 Toma y preparación de muestras	58
4.1.1 Fragmento soporte pétreo	61
4.1.2 Muestras en polvo de las capas pictóricas	62
4.1.3 Fragmentos de cortes transversales o estratigráficos	64
4.2 Instrumentación	68
4.2.1 Petrografía microscópica	68
4.2.2 Microscopia óptica	68
4.2.3 Fluorescencia de rayos X	69
4.2.4 Microscopio electrónico de Barrido - Espectrómetro de Energía Dispersiva de Rayos X	70

X	Tecnología y conservación de las pinturas murales de los hipogeos del Alto del Aguacate en Tierradentro, Cauca, Colombia.	
4.2.5	Espectroscopia Raman Confocal	71
4.2.6	Difracción de rayos de X	72
4.2.7	Espectroscopia Infrarrojo – Transformada de Fourier FT-IR ATR	73
4.2.8	Pirolisis con Cromatografía de gases - espectrometría de masas Py-GC/MS	74
4.3	Resultados y análisis de resultados	75
4.3.1	Sustrato rocoso	75
4.3.2	Estratigrafía	82
4.3.3	Capa de preparación (Hipogeo AR-44)	90
4.3.4	Capas pictóricas	91
4.4	Discusión de resultados	102
4.4.1	Estratigrafía	102
4.4.2	Soporte pétreo	103
4.4.3	Capa de preparación	104
4.4.4	Capas pictóricas	104
4.5	Comparación con los otros sitios	105
4.6	Limitaciones	106
5.	<i>Tecnología</i>	108
5.1	Estratigrafía	112
5.2	Recomendaciones	115
6.	<i>Estado de conservación</i>	116
6.1	Intervenciones anteriores	119
6.2	Levantamiento de deterioros	121
6.3	Diagnóstico del estado de conservación	128
6.4	Recomendaciones de conservación	130
7.	<i>Conclusiones</i>	132
7.1	Metodología	132
7.2	Caracterización de materiales	133
7.3	Tecnología	135
7.4	Conservación	136
Recomendaciones		137
	Documentación	137
	Tecnología	137
	Caracterización de materiales	138
	Conservación	138

<i>Socialización</i>	139
<i>Bibliografía</i>	141
<i>Anexos</i>	147

Lista de figuras

Figura 1-1: Delimitación del Parque Arqueológico Tierradentro.....	6
Figura 1-2: Planta Hipogeo A-0 (Chaves y Puerta, 1986).....	7
Figura 1-3: Mascara en tumbaga encontrada en el Alto del Aguacate.	8
Figura 1-4: Mapa de acceso al sitio.	9
Figuras 1-5 & 1-6: Vista del terreno del sitio Alto del Aguacate.....	10
Figura 1-7: Alto del Aguacate con hipogeos identificados. (Zuluaga, 2015).....	11
Figura 1-8: Hipogeo A-0, Alto del Aguacate. (Chaves y Puerta, 1986. P. 122)	12
Figuras 1-9, 1-10, 1-11, 1-12, 1-13, 1-14, 1-15 & 1-16: Pinturas murales sobre soporte pétreo en los hipogeos del Alto del Aguacate.	13
Figura 1-17: Columna estratigráfica de Tierradentro. Tomado de Duarte, 1999.....	17
Figura 1-18: Ubicación geográfica de Tierradentro.	19
Figura 1-19: Paisaje de Tierradentro desde el Alto del Aguacate.	21
Figuras 3-1, 3-2, 3-3 & 3-4: Figuras representativas de diseños en cada hipogeo seleccionado para el estudio.	39
Figura 3-5: Mapa general, esquema de llegada al sitio.....	40
Figura 3-6: Mapa de sitio. Ubicación de los hipogeos seleccionados.....	41
Figura 3-7: Figuras representativas de los hipogeos estudiados en el Alto del Aguacate.	42
Figuras 3-8 & 3-9: Hipogeo A-0, planta (izquierda) y corte (derecha).	44
Figura 3-10: parte derecha y central del Hipogeo A-0.....	45
Figura 3-11: Parte izquierda, Hipogeo A-0.....	45
Figuras 3-12, 3-13, 3-14, 3-15, 3-16, 3-17, 3-18 & 3-19: “Salamandras”. Hipogeo A-0. .	46
Figuras 3-20, 3-21, 3-22, 3-23, 3-24 & 3-25: “Lunas”. Hipogeo A-0.	47
Figura 3-26: Petroglifo.	47
Figura 3-27: Lado derecho. Hipogeo AR-50.....	49
Figuras 3-28 & 3-29: Parte central (izq) Lado izquierdo (der). Hipogeo AR-50.	49
Figura 3-30: Entrada al Hipogeo AR-50.	49
Figuras 3-31, 3-32 & 3-33: Figura circular conformada por franjas y figuras conformadas por triángulos. Hipogeo AR-50.	50
Figuras 3-34 & 3-35: líneas horizontales y franjas verticales. Hipogeo AR-50.	50
Figura 3-36: Ensamble fotografías generales. Hipogeo AR-44.....	52
Figura 3-37: Entrada del Hipogeo AR-44.	52
Figuras 3-38, 3-39, 3-40, 3-41 & 3-42: Diseños geométricos. Hipogeo AR-44.	53
Figura 3-43: Lado izquierdo. Hipogeo AR-38.	55
Figura 3-44: Lado derecho. Hipogeo AR-38.....	55

Figuras 3-45, 3-46 & 3-47: “Soles”. Hipogeo AR-38.	55
Figura 4-1: Proceso de toma de muestras.	58
Figura 4-2: AR-44 C0 Roca.	61
Figura 4-3 & 4-4: Molido en mortero de ágata (izq) y montaje en cinta de carbón (der). 62	
Figuras 4-5, 4-6 & 4-7: A-0 C1 Negro (izq), A-0 C2 Rojo (cen) y A-0 Blanco (der).	64
Figuras 4-8, 4-9 & 4-10: AR-38 C1 Negro (izq), AR-38 C2 Rojo (cen) y AR-38 C3 Blanco (der).	64
Figura 4-11: AR-38 C4 Rojo claro.	65
Figura 4-12, 4-13 & 4-14: AR-44 C1 Negro (izq), AR-44 C2 Rojo (cen), AR-44 CA1 Blanco (der).	65
Figura 4-15, 4-16 & 4-17: AR-50 C1 Negro (izq) AR-50 C2 Rojo (cen) y AR-50 C3 Blanco -Amarillo (der).	65
Figura 4-18 & 4-19: Muestras en polvo (izq) y sección transversal (der) en RS.	66
Figura 4-20. OM Zeiss Axio Observer 5.	69
Figura 4-21: hXRF Bruker™ Tracer III SD®. Figura 4-22: EDXRF Bruker S2 Puma™. 70	
Figura 4-23: SEM Carl Zeiss EVO MA 10 - EDS Oxford X-act PentaFet® Precision.	71
Figura 4-24: Microscopio Raman Confocal Horiba LabRam HR Evolution.	72
Figura 4-25: Difractómetro PANalytical Xpert Pro MPD.	73
Figura 4-26: Comparación con calcita Ortoclasa.	75
Figura 3-26: Espectro hXRF. Muestra AR-44 C0.	77
Figura 4-28: OM.	82
Figura 4-29: BSD	82
Figura 4-30: OM.	83
Figura 4-31: BSD	83
Figura 4-32: OM.	83
Figura 4-33: BSD	83
Figura 4-34: OM.	84
Figura 4-35: BSD	84
Figura 4-36: OM.	84
Figura 4-37: SEM BSD	84
Figura 4-38: OM.	85
Figura 4-39: SEM BSD	85
Figura 4-40: OM.	85
Figura 4-41: BSD.	85
Figura 4-42: OM.	86
Figura 4-43: BSD.	86
Figura 4-44: OM.	86
Figura 4-45: BSD.	86
Figura 4-46: OM.	87
Figura 4-47: BSD.	87
Figura 4-48: OM.	87
Figura 4-49: BSD.	87
Figura 4-50: OM.	88
Figura 4-51: BSD.	88

Figura 4-52: OM	88
Figura 4-53: SEM BSD	88
Figura 4-54: OM.	89
Figura 4-55: OM.	89
Figura 4-56: SEM BSD.	89
Figura 4-57: Espectros raman, muestras blancas. AR-44 PA1 en verde.	90
Figura 4-58: Difractograma, muestra AR-44 PA1 blanco.	91
Figura 4-59: Espectros Raman, muestras con capa pictórica negra.	91
Figura 4-60: Espectro Raman, muestra AR-44 C1 con espectro patrón de Carbón.	92
Figura 4-61: Difractograma, muestra A-0 P1 negro.	92
Figura 4-62: Difractograma, muestra AR-50 P1 negro.	93
Figura 4-63: Espectros Raman de muestras con capa pictórica roja.	93
Figura 4-64: Espectro Raman, muestra AR-50 P2 rojo con espectro patrón de hematita.	94
Figura 4-65: Difractograma, muestra A-0 P2 rojo.	94
Figura 4-66: Difractograma, muestra AR-44 P2 rojo.	95
Figura 4-67: Espectro Raman, muestra AR-38 P2 rojo claro.	95
Figura 4-68: Espectros Raman, tres muestras de caolinita con formula estándar [Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄].	96
Figura 4-69: Espectro Raman, muestras con capa pictórica blanca.	97
Figura 4-70: Difractograma, muestra A-0 P3 blanco.	98
Figura 4-71: Difractograma, muestra AR-50 P3 blanco/amarillo.	98
Figura 4-72: Espectro FT-IR/ATR. Muestra A-0 P3 blanco.	101
Figura 5-1: Traslapado de hipogeos. Alto del Aguacate.	109
Figuras 5-2, 5-3 5-4, 5-5, 5-6 & 5-7: Detalle de trazos de pintura en el Hipogeo AR-44.	113
Figura 5-8: Pinturas en negro, rojo y amarillo. Hipogeo AR-50.	114
Figura 6-1: Levantamiento de deterioros. (Preciado, 1996)	119
Figuras 6-2 & 6-3: Techos instalados en el Alto del Aguacate.	120
Figuras 6-4 & 6-5: Desprendimientos de soporte, capa de preparación y pinturas.	121
Figura 6-6 & 6-7: Presencia de velos salinos. Hipogeo AR-38.	122
Figura 6-8: Capa de tierra en el Hipogeo AR-50.	122
Figuras 6-9, 6-10, 6-11 & 6-12: Biodeterioro ocasionado por algas.	123
Figura 6-13: Capa pictórica alterada. Hipogeo AR-38.	124
Figura 6-14: Capas pictóricas alteradas. Hipogeo AR-44.	126
Figuras 6-15 & 6-16: Grietas en los Hipogeos A-0 y AR-50.	127
Figuras 6-17 & 6-18: Escaleras deterioradas en los Hipogeos AR-38 (izq) y AR-44 (der).	128
Figura 6-19: Estructura ubicada al final del recorrido del Alto del Aguacate.	131

Lista de tablas

Tabla 1-1: Vegetación de la región (Chaves & Puerta, 1986).	20
Tabla 2-1: Ciclo de acercamiento al objeto patrimonial desde la conservación.	34
Tabla 2-2: Fases metodológicas empleadas.	35
Tabla 3-1: Resumen de hipogeos seleccionados.	39
Tabla 4-1: Resumen de muestras tomadas. Ver <i>Anexo B: Tablas y gráficas de muestras.</i>	60
Tabla 4-2: Resultados hXRF.....	76
Tabla 4-3: Resultados de EDXRF.....	76
Tabla 4-4: Resumen de resultados de análisis en capas pictóricas.	99

Introducción

Esta investigación consistió en un estudio multidisciplinario de una muestra representativa de pinturas murales en hipogeos del sitio Alto del Aguacate en la Zona Arqueológica de Tierradentro, llevado a cabo con el objetivo de aproximarse a los materiales y procesos tecnológicos posiblemente empleados en su elaboración, para finalmente generar un diagnóstico del estado de conservación a partir de la evaluación de las problemáticas de deterioro relacionadas en la transformación de materiales y afectación de las pinturas murales.

La metodología empleada sigue una secuencia lógica disciplinar propia de la conservación- restauración de patrimonio cultural, donde es necesario abordar el objeto en todas sus dimensiones: materialidad, valores, contexto histórico, político, arqueológico, entre otros, para comprender y aproximarse al objeto de manera que se potencialicen y preserven sus valores. A partir de la necesidad de conocer la materialidad de los objetos estudiados, así como de emplear las técnicas y productos adecuados en su intervención, se ha generado la sub-disciplina de ciencias de la conservación, donde la aplicación de herramientas y métodos de las diferentes ramas de las ciencias naturales se encuentran dirigidas y motivadas a mejorar la conservación del patrimonio cultural.

El Parque Arqueológico de Tierradentro fue declarado Patrimonio Cultural de la Humanidad por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura UNESCO, en diciembre de 1995, principalmente debido a la presencia de arquitectura subterránea ricamente decorada en su interior con relieves en piedra y pinturas murales en diversos tonos, tales como rojo, negro, blanco y amarillo; estas tumbas, que datan del 600-900 D.C, son vestigio de los rituales funerarios y una concepción única de los espacios de enterramiento, revelando así la “complejidad social y riqueza cultural de una sociedad prehispánica en la región norte de los Andes” (UNESCO, 1995).

El parque se encuentra conformado por 5 sitios principales: El Alto del Aguacate, Alto del Duende, Alto de San Andrés, Alto de Segovia, y El Tablón. De estos sitios, El Alto del Aguacate ha sido probablemente el menos estudiado; es posible que esto se deba, en parte, a su relativa lejanía y difícil acceso en comparación con las otras áreas de la zona arqueológica, lo cual supone retos metodológicos para la investigación. Por otra parte, el Alto del Aguacate y su área de influencia no pertenecen al Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICANH), sino al resguardo indígena de San Andrés, otorgando un grado mayor de complejidad a las dinámicas territoriales, legales y políticas del sitio.

En marzo de 2018 se realizó una visita de reconocimiento a la zona arqueológica, específicamente a los sitios e hipogeos donde se ha referenciado la presencia técnicas murales: Altos de Segovia, El Duende, San Andrés, y El Aguacate. La visita consistió en observar e identificar las características generales y particulares de los hipogeos, permitiendo reconocer oportunidades investigativas; por otra parte, se revisaron en la literatura los antecedentes relevantes para el proyecto: artículos, libros, e informes de investigaciones realizadas en la zona arqueológica de Tierradentro, información mediante la cual se encontraron los vacíos en estudios sobre materiales, tecnología y conservación.

Después de procesar la información recolectada, se seleccionó El Alto del Aguacate como sitio de estudio, pues allí se encuentran alrededor de 80 hipogeos (Chaves & Puerta, 1986), de los cuales se han identificado mas de 20 con presencia de pinturas murales. En este sitio no se habían realizado estudios de caracterización de materiales y/o tecnología, aunque se encontró información previa: datos arqueológicos, documentación, registro fotográfico, informes de conservación, que sirvió como punto de partida para abordar el sitio; en estas fuentes se evidencian las particularidades, características y problemáticas específicas de conservación en algunos hipogeos del sitio (Zuluaga, 2013 & 2015).

Los hipogeos en El Alto del Aguacate son significativamente más pequeños y menos profundos que los hipogeos en los otros sitios (Sevilla, 2009 P: 377-378); por otra parte, las pinturas en su interior presentan motivos geométricos, que a diferencia de El Alto de Segovia y Alto de San Andrés no cubren la totalidad de los muros y en su mayoría no presentan capa de preparación, a lo cual el Hipogeo AR-44 es la única excepción en el Alto del Aguacate. Entre los motivos representados también se encuentran figuras naturalistas como soles y lunas, y figuras zoomorfas como las denominadas “salamandras” que se presentan en el hipogeo A-0, siendo el mas representativo del sitio.

Aunque se desconoce la razón de las diferencias tecnológicas mencionadas, y teniendo en cuenta que existen estudios de materiales de las pinturas murales presentes en los hipogeos en el Alto de Segovia y Alto de San Andrés (Jiménez, 2004; Rodríguez, 2015; Wright, 2014), es de interés llevar a cabo estudios de las pinturas murales en los hipogeos del Alto del Aguacate, haciendo posible observar las similitudes y diferencias con respecto a los otros sitios de la zona arqueológica.

En agosto de 2018 se realizó la segunda salida de campo, en la cual se profundizó en los aspectos de las pinturas murales exclusivamente en El Alto del Aguacate. Posteriormente, se observaron con mayor detenimiento los hipogeos con mayor presencia de pinturas murales y a partir de la información recolectada se seleccionó una muestra de cuatro hipogeos a estudiar (A-0, AR-50, AR-44, AR-38). Los criterios empleados para la selección fueron: representatividad de tonos, diseños y técnicas de elaboración, dispersión a lo largo del sitio, presencia extensiva de pintura mural y buen estado de conservación, de manera que se lograran diferenciar las pinturas y facilitara la toma de muestras. Además, se realizó un registro preliminar para la aplicación del proyecto de investigación a la convocatoria de Fomento de la Investigación ICANH 2019 y posterior solicitud de autorización de intervención de material arqueológico indicando el propósito de la investigación, los hipogeos seleccionados, e información detallada sobre la toma de muestras requeridas para el estudio.

El Instituto Colombiano de Antropología e Historia ICANH financió las fases de caracterización de materiales y diagnóstico del estado de conservación de los hipogeos seleccionados, a través del Estímulo de Fomento a la Investigación 2019, Contrato 135 de 2019, bajo la supervisión de la restauradora del Área de Patrimonio del ICANH, MA. Martha Patricia Ramírez Nieto, bajo las Autorizaciones de Intervención de material arqueológico para investigación radicado número 2543 del 13 mayo de 2019 y 3627 de 10 de julio de 2019 (*ver Anexo A*).

Debido a que el sitio arqueológico Alto del Aguacate se encuentra en los terrenos del Resguardo Indígena de San Andrés, se estableció contacto con las autoridades para presentar el proyecto y hacer solicitud formal de permisos para su realización, posteriormente se programó una reunión mediante la cual el resguardo resolvió autorizar el proyecto de investigación, y los términos de socialización ante la comunidad. (*Ver Anexo A*)

1. Contextualización

Siendo una de las zonas arqueológicas más importantes del país, a lo largo del tiempo se han realizado numerosos proyectos e investigaciones científicas desde diferentes disciplinas como la arqueología, geología, conservación-restauración, arquitectura, entre otras; predominando las excavaciones y estudios arqueológicos, la documentación de los sitios y proyectos de conservación.

En este capítulo se contextualiza el sitio de estudio dividido en los siguientes ejes temáticos: El Parque Arqueológico Nacional Tierradentro, el sitio Alto del Aguacate, marco legal que los rige, geología de la zona, contexto geográfico, clima y vegetación. También se mencionan los antecedentes disciplinarios que conciernen a esta investigación: estudios de materiales y tecnología, trabajos de conservación e investigaciones arqueológicas en la Zona Arqueológica de Tierradentro.

1.1 El Parque Arqueológico Nacional de Tierradentro

Actualmente, se encuentran en la zona de influencia del parque arqueológico (*Figura 1-1*), los sitios Alto de San Andrés, Alto del Duende, Alto de Segovia y Alto del Aguacate, caracterizados por la presencia de tumbas subterráneas, El tablón destaca por la presencia de esculturas monolíticas. Sin embargo, la declaratoria de la UNESCO no incluye el sitio Alto del Aguacate. (UNESCO, 1995).

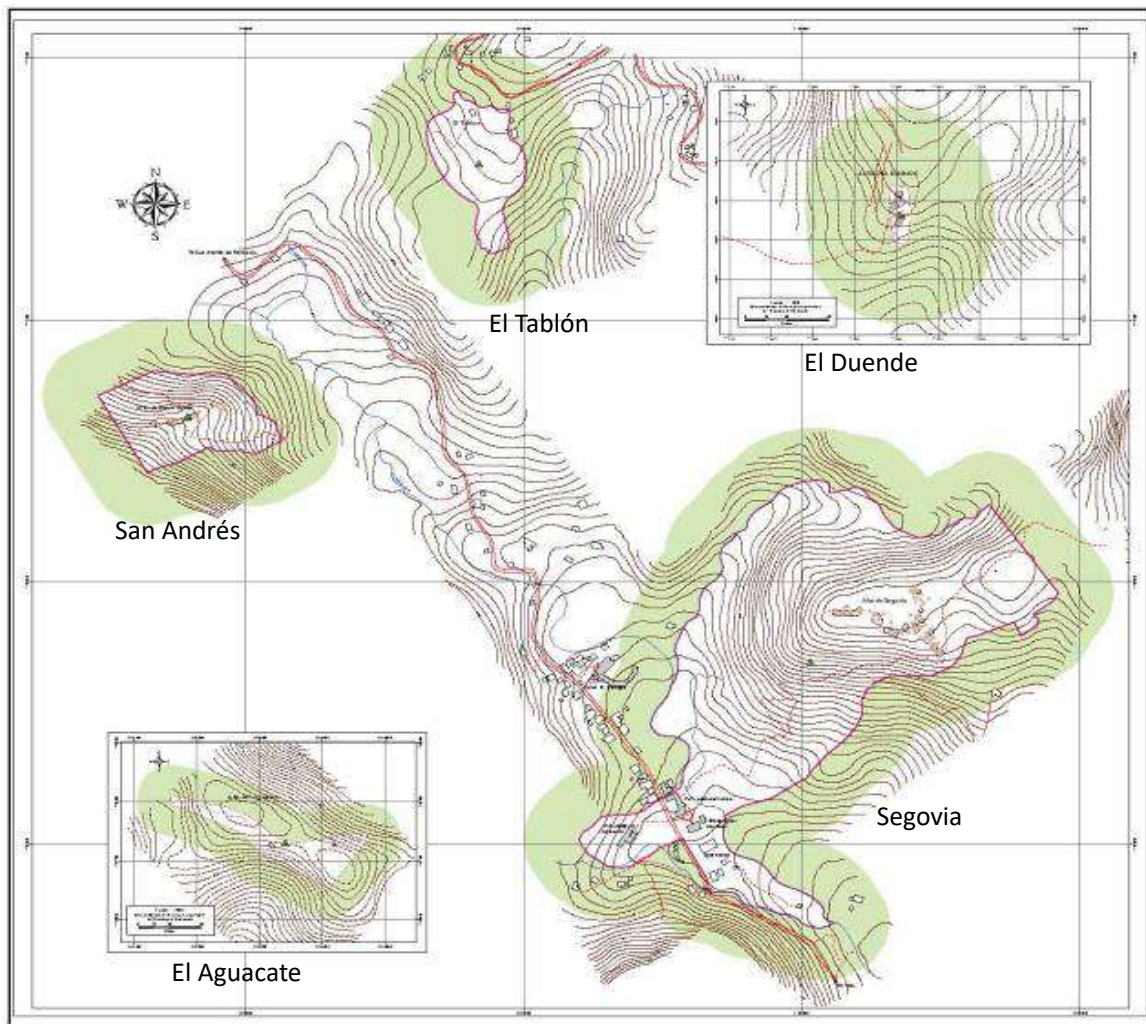


Figura 1-1: Delimitación del Parque Arqueológico Tierradentro.¹

Como ya se ha mencionado, la principal característica de Tierradentro son las necrópolis prehispánicas con presencia de tumbas subterráneas denominadas hipogeos, que datan de los siglos VI al X d.C, y cuentan con diseños arquitectónicos únicos en sus proporciones y decoración (UNESCO, 1995).

La palabra hipogeo, proviene del griego *hipo geas*, y según la RAE significa: “bóveda subterránea” que en la antigüedad se usaba para conservar los cadáveres sin quemarlos”. Las tumbas fueron talladas en el subsuelo de toba volcánica o ceniza volcánica endurecida, cuya dureza es de 2 en la escala de Möhs (Chaves, 1992. P: 13).

Su arquitectura presenta planta oval, techo cóncavo y escaleras (*Figura 1-2*).; las estructuras más grandes y complejas tienen escaleras de caracol, nichos y columnas centrales. Las paredes se encuentran adornadas con esculturas y pinturas con formas geométricas, así como figuras antropomorfas y zoomorfas.

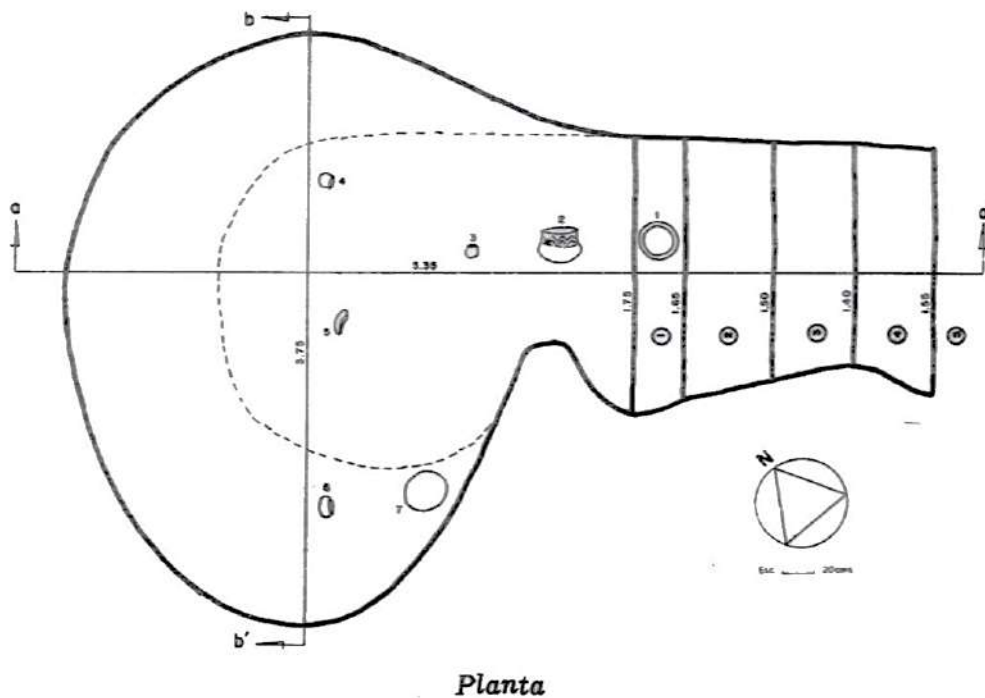


Figura 1-2: Planta Hipogeo A-0 (Chaves y Puerta, 1986).

Los hipogeos de Tierradentro fueron empleados como espacios de entierros secundarios colectivos. El entierro primario o individual se realizaba en pozos cilíndricos con una pequeña cámara lateral, “el cadáver se colocaba en posición de cúbito lateral, aislándolo del pozo mediante losas que obstruían la entrada de la pequeña cámara”, junto con estos se ubicaban elementos cerámicos y líticos (*Op cit.* P: 12).

En el entierro secundario se introducían los restos dentro de una urna posteriormente colocada en un hueco abierto en el piso de la cámara funeraria para tal fin. Además de las urnas funerarias sin tapa, “de boca grande, cuerpo semiglobular, con decoración incisa o excisa”, también se encontraron piezas cerámicas como cuencos, ollas sin asas, copas, vasijas globulares, alcarrazas, y artefactos líticos como manos de moler. (*Op cit.* Pp: 11-12)

Unos pocos elementos orfebres producto de guaquería han sido relacionados a los contextos funerarios en Tierradentro, tal es el caso de una pulsera y un pectoral de estilos Calima y Sinú; sin embargo, debido a la falta de contexto arqueológico esta información no es corroborable (*Op cit.* P: 15).



Figura 1-3: Mascara en tumbaga encontrada en el Alto del Aguacate.²

² <https://www.banrepcultural.org/armenia/actividad/recorrido-virtual-tematico-la-exposicion-temporal-el-paisaje-la-gente-y-el-oro-0>

1.2 El sitio: Alto del Aguacate

El Alto el Aguacate se encuentra a una altura aproximada de 2.100 msnm; siendo el más alto de los sitios en la zona arqueológica de Tierradentro, “esta montaña separa los cauces de la quebrada San Andrés y el río Ullucos” (ICANH); ubicada hacia el suroeste del parque, se encuentra a una distancia de 1.200 m desde la sede administrativa del parque, aproximadamente 2 horas caminando desde la entrada a la zona arqueológica. En el mapa a continuación se pueden observar tres rutas de acceso al sitio.



Figura 1-4: Mapa de acceso al sitio.³

³ <https://thescenicroutethroughlife.com/2011/05/04/colombia-facts-tierradentro-and-cali/>

En *El arte en la necrópolis prehispánica de Tierradentro*, Elías Sevilla menciona que “El Aguacate, es un caso especial por su difícil acceso topográfico y, tal vez, por estar fuera de los terrenos escriturados del Parque —es decir, por estar directamente en terrenos del resguardo de San Andrés— las tumbas han recibido un tratamiento menos diligente que el de los otros altos, incluida la identificación” (Sevilla, 2009. P: 374).

A lo largo de su estrecha cima de aproximadamente 1 km de largo se encuentran las estructuras subterráneas (Ver *Figuras 1-5 & 1-6*). En la *Figura 1-7*, se puede observar el mapa de su ubicación: en rojo los hipogeos abiertos con pintura, en amarillo los abiertos sin pintura, en naranja los semi-cerrados y en azul los cerrados.



Figuras 1-5 & 1-6: Vista del terreno del sitio Alto del Aguacate.

Este sitio fue excavado por primera vez en 1973 por el arqueólogo Mauricio Puerta (Puerta, 1973). Algunos hipogeos han sido cerrados debido a sus problemáticas de deterioro y/o como reserva para futuras generaciones.

En la *Figura 1-7*, se puede observar el mapa con la ubicación de los hipogeos marcada: en rojo los hipogeos abiertos con pintura, en amarillo los abiertos sin pintura, en naranja los semi-cerrados y en azul los cerrados.



Figura 1-7: Alto del Aguacate con hipogeos identificados. (Zuluaga, 2015)

El Aguacate presenta una serie de características diferenciales, a partir de las cuales se realizan planteamientos teóricos interesantes. En cuanto a la arquitectura, los hipogeos se caracterizan por ser poco profundos, pequeños o medianos y de estructura sencilla: cámara oval sin nichos ni columnas. En lo que concierne a las pinturas murales, en este sitio se presentan composiciones estilísticas diferentes a las de los otros tres sitios, pues no ocupan todo el espacio en la cámara funeraria, además se encuentran representadas diversas figuras naturalistas como “soles”, “lunas”, “ciempiés”, “salamandras”, (Sevilla, 2009. P: 377-379) tal como se puede observar en la *Figura 1-6*.

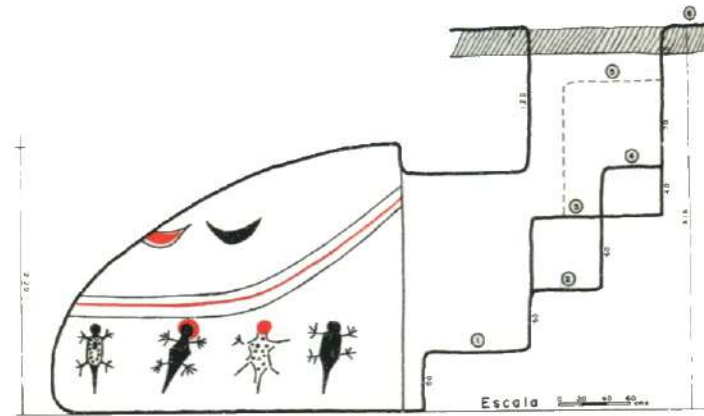
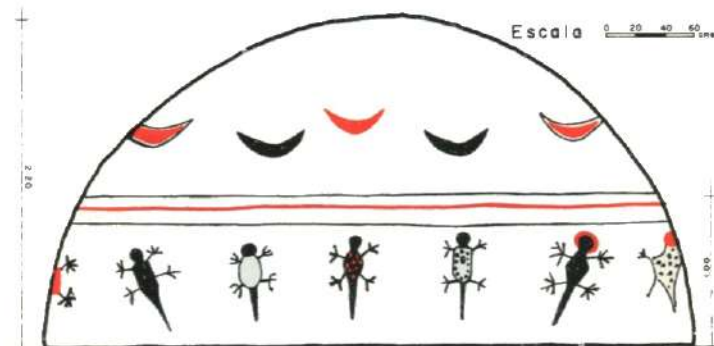


Figura 128 — Corte A-A' — Tumba A-0



Corte B-B' — Tumba A-0

Figura 1-8: Hipogeo A-0, Alto del Aguacate. (Chaves y Puerta, 1986. P. 122)

Cabe destacar la variedad de tonos empleados en la elaboración las pinturas: blanco, negro, rojo y amarillo, también presentes en los otros sitios, hasta variaciones tonales en beige o crema (ocre claro), rojo claro y gris, posiblemente logrados a partir de mezclas de pigmentos.

En las figuras a continuación se pueden observar algunos de los tonos y diseños presentes en las pinturas murales del Alto del Aguacate.



Figuras 1-9, 1-10, 1-11, 1-12, 1-13, 1-14, 1-15 & 1-16: Pinturas murales sobre soporte pétreo en los hipogeos del Alto del Aguacate.

1.3 Marco legal

El Parque Arqueológico Tierradentro, especialmente El Alto del Aguacate, se enmarca en diferentes ámbitos a nivel internacional, nacional y local: como Patrimonio Cultural de la Humanidad declarado por la UNESCO, como Patrimonio Cultural de la Nación, y como territorio indígena protegido.

Entender las diferentes dimensiones que comprende este territorio muestra su gran complejidad a nivel social, formalmente manifiesta en el ámbito legal, pues las declaratorias antes mencionadas no solo otorgan un estatus, sino que también establecen los lineamientos para la protección, manejo, conservación e investigación de los sitios.

En el marco legal internacional, el Parque Arqueológico de Tierradentro fue declarado por la UNESCO como patrimonio cultural de la humanidad en 1995, bajo el criterio iii: “Aportar un testimonio único o al menos excepcional de una tradición cultural o de una civilización existente o ya desaparecida”

“El área arqueológica de Tierradentro, con su complejo de hipogeos, son un testimonio único de la vida diaria, ritual y la concepción singular del espacio de entierro, de una sociedad desarrollada y estable. Estos también revelan la complejidad social y riqueza cultural de una sociedad prehispánica en la región norte de los Andes de Sur América”

UNESCO, 1995 & Sevilla, 2009. P. 373-374

En el ámbito nacional, la legislación general que rige el patrimonio arqueológico aplica para la zona arqueológica. La *Ley 1185 de 2008* que modifica y adiciona la *Ley general de cultura 397 de 1997*, regula al patrimonio cultural de la nación y el patrimonio arqueológico con el objetivo de salvaguardar, proteger, recuperar, divulgar, conservar y promover su sostenibilidad y divulgación (Ley 1185 de 2008, P: 1).

En el *Artículo 1º* se define que el patrimonio arqueológico “comprende aquellos vestigios producto de la actividad humana y aquellos restos orgánicos e inorgánicos que, mediante métodos y técnicas propios de la arqueología y otras ciencias afines, permiten reconstruir

y dar a conocer los orígenes y las trayectorias socioculturales pasadas y garantizan su conservación y restauración” (*Op cit.* P: 3).

En este mismo artículo declara los bienes arqueológicos como “inalienables, imprescriptibles e inembargables” y designa al Instituto Colombiano de Antropología e Historia ICANH como la autoridad competente para el manejo del patrimonio arqueológico en Colombia; encargado de declarar áreas protegidas y aprobar su respectivo Plan de Manejo Arqueológico (*Op cit.* P: 3), el cual “indica las características del sitio y su área de influencia, e incorpora los lineamientos de protección, gestión, divulgación y sostenibilidad” (*Op cit.* P: 9).

En el Decreto 763 de 2009, reitera en el *Título I, Artículo 4º. Competencias institucionales*, que “Al Instituto Colombiano de Antropología e Historia le compete aplicar con exclusividad en todo el territorio nacional el Régimen Especial del Patrimonio Arqueológico” (Decreto 763, 2009. P: 5); y en el *Título II, Capítulo V* y el *Título IV, Artículo 55º*, declara que las intervenciones a bienes de interés cultural deberán “contar con la previa autorización de la autoridad competente”, en este caso el ICANH (*Op cit.* Pp: 18, 25-26).

“Por intervención se entiende todo acto que cause cambios al BIC o que afecte el estado del mismo. Comprende, a título enunciativo, actos de conservación, restauración, recuperación, remoción, demolición, desmembramiento, desplazamiento o subdivisión, y deberá realizarse de conformidad con el Plan Especial de Manejo y Protección si este existe”

(*Op cit.* P: 18)

En el *Título IV. Patrimonio arqueológico, Artículo 56. Áreas Protegidas y Áreas de Influencia*, y *Artículo 57. Tipos de intervención sobre el patrimonio arqueológico*, este decreto profundiza en los aspectos legales específicos para patrimonio arqueológico y áreas protegidas que rigen para el Parque arqueológico de Tierradentro (*Op cit.* Pp: 27-28), declarado como Patrimonio Cultural de la Nación por medio del Decreto 774 del 26 de Abril de 1993, comprendiendo las Sierras de la cordillera central hasta el Valle de San Agustín (Alto Magdalena), Altos de San Andrés, Alto de Segovia, El Duende y El Tablón.

De acuerdo con la información encontrada en la página web oficial del ICANH, “En los años 2006 y 2007 se realizó una actualización de los planes de manejo de los parques arqueológicos de San Agustín, Alto de los Ídolos y Tierradentro a partir de una perspectiva integral y multidisciplinaria, donde se contemplaron diferentes componentes: ambiental, arqueológico, de conservación, de gestión local y de divulgación” (ICANH, 2019). Además, en el año 2006 se planteó el “Plan de Acción de Emergencia del parque Arqueológico de Tierradentro”, integrando los componentes de “Educación y divulgación, Investigación y Conservación, Infraestructura y Medioambiente” (ICANH, 2019).

En el ámbito local, en El Alto del Aguacate y parte del territorio de Tierradentro, las tierras son de propiedad comunitaria del Resguardo Indígena San Andrés de Pisimbalá de la comunidad Páez. Los resguardos se encuentran regidos por la ley 89 de 1890, cada uno cuenta con títulos que limitan y legitiman el territorio, de aquellos que existen en el departamento del Cauca 70% corresponde a la comunidad Paéz. (Pachón, 1996. P: 92)

El poder político de los resguardos recae en los cabildos, cada año se eligen democráticamente sus miembros, entre los cuales se encuentran el Gobernador, Comisario, Alcalde, Alguacil y Fiscal, quienes se posesionan ante el alcalde municipal mediante la entrega de varas o bastones de mando (Pachón, 1996. P: 92). A la cabeza del Resguardo Indígena de San Andrés de Pisimbalá se encuentra actualmente el Gobernador Wilson Liz Ipia.

1.4 Geología de la zona

El 60% del área la componen formaciones rocosas; “Las rocas que cubren la mayor parte de la superficie de la región estudiada son volcánicas; principalmente cenizas compactadas que reciben el nombre de tobas, y algunas partes con lavas que provienen de flujos volcánicos” (Tello, 1977).

En la región en la que se construyeron los hipogeos, afloran tres unidades de roca diferenciados en su composición y edad (Duarte, 1999. P: 13). En la *Figura 1-15* se representan estas unidades: unidad A en verde, unidad B en marrón claro y unidad C en amarillo.

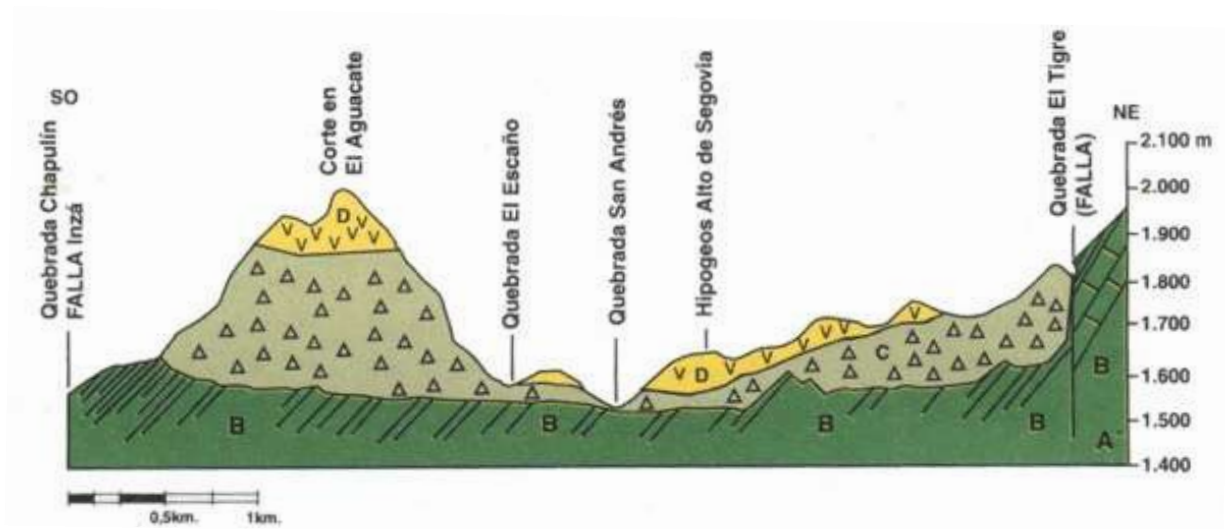


Figura 1-17: Columna estratigráfica de Tierradentro. Tomado de Duarte, 1999.

La unidad B: (Cretáceo) presenta “rocas carbonatadas muy consolidadas y fracturadas (calizas negras) y rocas arcillosas organicosilíceas” de estructura laminar. Este conjunto se encuentra expuesto en las zonas ubicadas al norte del Alto de Segovia y el Duende (Op cit.).

La Unidad C: (Terciario) está compuesta por un aglomerado o brecha volcánica, de “fragmentos angulares y subangulares de rocas ígneas y metamórficas, como esquistos, neises y andesitas”; esta limita con el Alto del Aguacate y se superpone a la Unidad A (Op cit. P: 14).

La Unidad D: (Cuaternario) donde fueron labrados los hipogeos de los cuatro sitios del parque, “está compuesta por un conjunto de materiales producidos por explosiones volcánicas, mezclados con fragmentos de rocas ígneas y metamórficas no mayores a 10 cm de diámetro (andesitas y neises)”, las cuales forman un aglomerado conocido como toba (Op cit.).

La zona arqueológica se encuentra ubicada sobre las fallas regionales de Inzá y Segovia. En el área donde se encuentran los sitios, se evidencia una posible fractura que va en dirección paralela a las fallas; ésta posiblemente se desplaza hacia arriba, poniéndose en contacto con la Unidad C y D; además de ello, se evidencian en las rocas de la unidad D

agrietamientos y fracturas “generadas por un evento regional reactivado por el sismo de 1994 (Op cit. P: 15).

Lo anteriormente descrito, influye en la alteración de la roca por efectos físicos como la erosión generada por la circulación de agua, y efectos químicos como la disolución de calizas; de manera que parte de los deterioros encontrados en los hipogeos se deben a las condiciones geológicas de zona y el clima lluvioso que aporta grandes cantidades de agua, siendo este el principal agente de deterioro del soporte pétreo.

La geomorfología de la zona se clasifica en 3 áreas según los tipos de roca: área de colinas con superficies planas debido a la deforestación, área de valle, constituida por rocas de la Unidad C y del depósito aluvial que el río atraviesa, y el área montañosa con alturas superiores a 2000 m cubierta por bosque nativo con rocas de las Unidades B y C (Op cit.).

A continuación, se observa la mineralogía esperada para una roca ígnea o volcánica como lo es el soporte pétreo en el cual se encuentran labrados los hipogeos. El suelo de toba, en el que se labraron los hipogeos, “está compuesto por una matriz vítrea de color claro en la que se observan cristales de feldespato y plagioclasas de diferentes tamaños, acompañados, en menor proporción, por minerales oscuros ferromagnesianos”; los fragmentos de la matriz son de origen ígneo y metamórfico variado (Op cit.).

1.5 Contexto geográfico, clima y vegetación

La zona arqueológica de Tierradentro se encuentra localizada al suroccidente de Colombia entre los departamentos de Cauca y Huila, al costado oriental de la cordillera Central de los Andes septentrionales en los municipios de Belalcazar e Inzá, Cauca (Figura 1-16); cuenta con paisaje escarpado y de difícil acceso, por lo cual recibe su nombre otorgado por los conquistadores *Tierra adentro*. (Herrera, 2011, P. 8).

Actualmente existen vías de acceso que cruzan Tierradentro, conectando Neiva y la Plata en el Huila con Cali y Popayán en el Cauca y Valle del Cauca respectivamente (Pachón, 1996. P: 63); aunque debido a las condiciones climáticas e inestabilidad geológica es usual que se presenten derrumbes que obstruyen las vías, además gran parte de los trayectos no se encuentran pavimentados, dificultando el acceso a la zona.



Figura 1-18: Ubicación geográfica de Tierradentro.

“Es una región compuesta por los nudos montañosos de las estribaciones de la cordillera Central con algunos valles interandinos de mediana y pequeña extensión formadas por las corrientes que descienden de los páramos” (Chaves, 1992). Cuenta con un paisaje geográfico de aproximadamente 1.300 km² de superficie en “forma de triángulo isósceles cuyos lados mayores van convergiendo hacia el norte” hasta el nevado de Huila, “limitada al este por el cañón y los valles Paéz y sus afluentes, al oeste por los páramos y cumbres de la cordillera Central” y al sur por las montañas que separan el río Páez de La Plata (Chaves & Puerta, 1986. P: 15-18; Groot & Mora, 1989. P: 159).

“Las infranqueables cumbres paramunas de la cordillera Central que enmarcan a Tierradentro, y su quebrada topografía que se vuelca hacia la hoya hidrográfica del Magdalena” (Pachón, 1996. P: 62) haciendo que esta región se encuentre mas relacionada con el departamento del Huila desde tiempos prehispánicos.

Debido a la diferencia de alturas en esta región montañosa, se pueden encontrar diversos pisos térmicos, principalmente templado y frío; la *Tabla 1-1: Vegetación de la región* (Chaves & Puerta, 1986) incluye información acerca del tipo característico de vegetación para cada altura, encontrándose Tierradentro entre el Bosque muy húmedo montano y Bosque húmedo montano.

Tabla 1-1: Vegetación de la región (Chaves & Puerta, 1986).

PISO TÉRMICO	ALTURA	TEMPERATURA	CARACTERÍSTICAS
Páramo	De 4.000 m	- de 6	Frailejón, gramíneas, helechos
Bosque pluvioso montano	3.500 a 4.000 m	6 a 12	Gramíneas, musgos, helechos, arbustos
Bosque húmedo montano	2.500 a 3000 m	12 a 18	Arboles grandes, epifitas, quiches
Bosque muy húmedo montano	2.000 a 2.500 m	12 a 18	Palma de cera y árboles altos
Bosque húmedo subtropical	1.000 a 2.000 m	17 a 24	Terrenos de cultivo

30% bosque natural con flora primitiva.

70% bosque cultivado con agricultura, frutales y cafetales. Praderas para ganadería y formaciones rocosas sin vegetación arbórea.

De acuerdo con lo mencionado en *Geografía Humana de Colombia*, la distribución de los pisos térmicos en la región es la siguiente: piso térmico medio 17%, frío 46%, y páramo 37% (Pachón, 1996. P. 62).

La época de verano se da durante los meses de enero y febrero, julio, agosto y septiembre, el invierno se da en marzo y junio, y octubre y diciembre (P: 62). Las precipitaciones pueden ascender a los 1.350 milímetros en las zonas mas bajas, mientras que a 2.500 m.s.n.m. se encuentra entre 1.800 y 2.000 milímetros (Sevilla, 1976, P: 10. En Langebaek, 2009, P: 325).

La humedad constante y precipitaciones arrastran la vegetación y causan erosión de los suelos debido al alto grado de inclinación de las laderas (Chaves, 1992. P: 11). En la *Figura 1-17*, se aprecia la vista del paisaje y la vegetación de la zona desde el Alto del Aguacate.



Figura 1-19: Paisaje de Tierradentro desde el Alto del Aguacate.

1.6 Estudios de materiales en Tierradentro

Entre los estudios realizados en la Zona Arqueológica de Tierradentro que incluyeron el componente de análisis de materiales se encuentran: el *Estudio arqueométrico de materiales colorantes. Tierradentro, Alto de Segovia, Colombia* (Wright, 2015), los *Estudios técnicos de las pinturas de los hipogeos del parque arqueológico de Tierradentro* realizados por Haerentia (Rodríguez, 2014) y la tesis de pregrado *Diagnóstico del hipogeo S12 del Parque Arqueológico del Tierradentro* (Jiménez, 2004).

Los estudios de Veronique Wright (2015) y Darío Rodríguez (2014) se enfocan en la identificación de materiales empleando técnicas analíticas:

El estudio realizado por Veronique Wright (2015) emplea Fluorescencia de Rayos X (FRX) para identificar la composición elemental de las muestras tomadas de los Hipogeos S30 y T12 del alto de Segovia; tal como lo menciona la autora, los resultados de análisis de fluorescencia de rayos X son de carácter preliminar y se necesitan análisis estructurales, tales como espectrometría Raman y espectrometría Infrarroja para “precisar la composición mineral de las mezclas colorantes así como la posible presencia de materiales orgánicos (como aglutinantes, por ejemplo) indetectables con las experimentaciones FRX” (Wright, 2014. P. 2).

El estudio realizado por Darío Rodríguez (2014) consiste en la caracterización de las pinturas murales de los hipogeos del Alto de Segovia y Alto de San Andrés) empleando estéreomicroscopio óptico, Difracción de Rayos X (DRX) y Fluorescencia de Rayos X (FRX). De acuerdo con este estudio de materiales, siendo el más completo realizado a la actualidad en la zona arqueológica de Tierradentro, los materiales identificados fueron: soporte pétreo de toba volcánica; como capa de preparación, material arcilloso blanco tipo caolín; en cuanto a la capa pictórica, se encontró que el rojo consistió principalmente en hematites, óxidos de hierro hidratados y partículas de hornblenda; el blanco, de arcilla blanca tipo caolín; el negro, de carbón con tierras ocre; el amarillo, de óxidos de hierro, caolín y cuarzo. Como aglutinante se identificó a través de análisis micro-químicos que se trata de una sustancia orgánica soluble en agua, que “puede tratarse de materiales de origen glúcido con cantidades importantes de sustancias terpénicas” (Rodríguez, 2014. P. 7- 45).

En el estudio de Norma Jiménez (2004) en el Hipogeo S12 del Alto de Segovia, se realizaron microestratigrafías, estudios petrográficos para la identificación del soporte, y análisis microquímicos para la identificación de pigmentos y aglutinantes; además se recopiló información y se dio una aproximación general a cerca de las técnicas de elaboración; cabe resaltar que este estudio se enfocó en la realización del diagnóstico del estado de conservación.

La metodología planteada para el proyecto de Jiménez (2004) se basa en estudios realizados anteriormente desde la disciplina de la conservación-restauración. Una secuencia de fases y actividades similares fueron empleadas en estudios de conservación de pinturas murales en Colombia (Álvarez, 1999 & 2000). Además de las investigaciones mencionadas, otros estudios han incluido análisis de materiales y/o tecnología dirigidos a estudios de conservación, los trabajos realizados por el Centro Nacional de Restauración (Bocanegra 1989; Useche, 1990; Colcultura, 1995), y recientemente los estudios realizados por en el marco del convenio ENCRYM, ICANH y Universidad Externado de Colombia (2019), del cual no se han publicado los resultados de los análisis científicos.

Además de los estudios realizados en Tierradentro, cabe mencionar otros estudios de materiales de pinturas murales realizados en el contexto colombiano. Se pueden resaltar las investigaciones realizadas por María Paula Álvarez (1999), María Paula Álvarez y Norma Juliana Jiménez (2000) y Judith Trujillo (2008, 2015, 2017) donde se emplean diferentes técnicas instrumentales de caracterización de materiales para el estudio de pintura mural sobre soporte pétreo.

Los estudios realizados en las esculturas policromadas del Alto del Purutal, Alto de las piedras y Alto de los ídolos en la zona arqueológica San Agustín, Huila (Álvarez, 1999; Álvarez & Jiménez, 2000), incorporan los componentes de estudio de materiales, técnica de elaboración y diagnóstico del estado de conservación. En estos estudios se emplean la microscopia óptica, petrografía microscópica, microscopia electrónica barrido con espectrometría dispersiva de rayos X SEM-EDS, Difracción de rayos X y espectrometría infrarroja con Transformada de Fourier FTIR.

Los estudios realizados por Judith Trujillo en las pinturas rupestres de La piedra La Cuadrícula, Soacha, Cundinamarca (2008), el Parque Arqueológico de las Piedras del Tunjo en Facatativá, Cundinamarca (2015) y la serranía de La Lindosa y Raudal del Guayabero, en el Guaviare (2017), se realiza la documentación y registro de los sitios, la caracterización de materiales empleando técnicas instrumentales de análisis, y estudios de las técnicas de elaboración. Las técnicas de análisis empleadas en este estudio fueron: microscopía óptica, petrografía, Fluorescencia de Rayos X, microscopía electrónica con espectrometría dispersiva de rayos X SEM/EDS, difracción de rayos X, espectrometría infrarroja con Transformada de Fourier FTIR y espectrometría Raman.

En el estudio Caracterización de materiales y estudio de la técnica de elaboración de las pinturas rupestres blancas del sitio “Piedra Pintada La Fragua” en Machetá, Cundinamarca (Giraldo, 2016), se emplean varias técnicas instrumentales de caracterización: petrografía macroscópica y microscópica, Microscopía electrónica de barrido SEM/EDS, difracción de rayos X DRX y espectroscopia Raman; además se realizan experimentos con materiales obtenidos en los alrededores del yacimiento arqueológico para comparar sus características con las de las pinturas estudiadas.

Son muy pocos los estudios que han abordado el componente de tecnología de los hipogeos, por una parte, Norma Juliana Jiménez, en su tesis de grado incluye un apartado corto sobre las técnicas de elaboración de los hipogeos. Otros informes de trabajos de conservación, tal como el desarrollado por la ENCRYM (2019) también abordan brevemente este tema.

1.7 Trabajos de conservación en Tierradentro

Los antecedentes de trabajos de conservación realizados en Tierradentro remontan a la época del Centro Nacional de Restauración (Bocanegra 1989; Useche, 1990; Colcultura, 1995, Álvarez, 1996; Preciado, 1996); estos consistieron principalmente en diagnósticos del estado de conservación e intervenciones de conservación.

Debido de la adhesión a la lista de Patrimonio mundial, se formuló el plan de manejo maestro donde se contemplan como objetivos:

- Proveer continuidad a las acciones preventivas e intervenciones contempladas en el plan.
- Fortalecer oportunidades para involucrar sectores mas amplios de la comunidad del área de influencia del Parque, particularmente del vecino Resguardo Indígena de San Andrés de Pisimbalá.
- Construir alianzas estratégicas para asegurar la protección, continuidad e integridad del sitio.
- Identificar la existencia y distribución de las estructuras del sitio (excavadas e inexcavadas), usando técnicas arqueológicas no intrusivas, y mejorar nuestro conocimiento de las características de cada uno de los grupos de estructuras, incluyendo cargas, resistencia y vulnerabilidad.

(UNESCO, 1995)

Para el logro de estos objetivos se procuraron recursos continuos que fortalecieran el equipo de investigadores y asesores provenientes de diversas disciplinas, generando proyectos continuos dirigidos a asegurar la integridad y sostenibilidad del Parque Arqueológico Nacional de Tierradentro (ICANH).

Los trabajos realizados en el parque en las últimas décadas se han enfocado al estudio de los sitios ya identificados, enfocándose en la documentación y registro, estudio de las problemáticas de conservación, valoración, entre otros aspectos; esto se debe al criterio arqueológico de no excavar completamente las zonas arqueológicas estableciendo zonas de reserva para futuros estudios.

A partir del año 2000, se empiezan a realizar proyectos específicos de colaboración para la investigación y conservación de los sitios, entre ellos se encuentran la documentación más reciente realizada en el Parque arqueológico de Tierradentro (Álvarez, García & Jiménez, 2002), la tesis de grado de Norma Juliana Jiménez, *Diagnóstico del Hipogeo S12 del Parque Arqueológico del Tierradentro* (Jiménez, 2004), un *Proyecto piloto para evaluar el efecto de la actividad de los ciempiés sobre la conservación de los hipogeos del parque* (Mendoza, 2010).

En el año 2015, se realizan varios proyectos investigativos relacionados con los objetivos planteados en el plan de manejo del parque en el marco del convenio específico suscrito entre el ICANH y Haerentia S.A.S, empresa dedicada al estudio del patrimonio desde las ciencias.

Entre estos estudios se encuentran, seguido de un estudio extensivo de caracterización de materiales realizado en 2014 (Rodríguez, 2014), la realización de la evaluación del *Impacto de la colonización o crecimiento de los agentes microbiológicos sobre la superficie de la toba volcánica y pinturas, considerando la incidencia de factores lumínicos sobre el soporte y los pigmentos* (Rodríguez, 2015) y la evaluación del *Impacto de la colonización o crecimiento de los agentes microbiológicos sobre la superficie de la toba volcánica y pintura rupestre, considerando el factor lumínico y la materialidad del soporte y evaluar el impacto del factor lumínico sobre los pigmentos previamente caracterizados* (Villalba, 2015). El grupo Haerentia había realizado en años anteriores el seguimiento de los procesos de *Saneamiento ambiental curativo e identificación de algas deteriorantes en los hipogeos del Parque Arqueológico de Tierradentro* (Villalba, 2010, 2012).

A pesar de que se han realizado otros estudios relacionados con la conservación del Parque, muchos de estos no incluyen el Alto del Aguacate. Como parte del plan de conservación anual, profesionales de la conservación-restauración han trabajado en el Parque realizando labores de monitoreo y evaluación de las condiciones de los sitios, procesos de intervención a los hipogeos, así como las estructuras e instalaciones colocadas con propósitos de museografía y conservación. (Zuluaga, 2013, 2014, 2015, 2016; López, 2017). Acerca de las actividades realizadas en el Alto del Aguacate se profundiza en el apartado de Intervenciones Anteriores del Capítulo 5. Estado de Conservación.

A partir del año 2016 inicia el proyecto de colaboración entre la Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía – Instituto Nacional de Antropología de Historia ENCRYM-INAH de México, el Instituto Colombiano de Antropología e Historia, y la Universidad Externado de Colombia, *Misión de Intercambio Académico, Investigación e Inspección en los Sitios Arqueológicos de Tierradentro y Lindosa*.

Los objetivos de este proyecto de cooperación son los de formar a estudiantes de la carrera universitaria de conservación-restauración, y brindar asesoría técnico-científica en los Parques Arqueológicos San Agustín, Tierradentro y Chiribiquete-La Lindosa.

En el año 2017 se realizó un curso de Conservación de Sitios Arqueológicos con Monumentos en Piedra, Impartido por la Mtra. Sandra Cruz y la Dra. Isabel Medina González.

En el marco de este proyecto, en el año 2018 se realizó el diagnóstico de los Hipogeos S10 y S12 del Alto Segovia, en el cual el equipo conformado por investigadores miembro de las instituciones cooperantes, en conjunto con alumnas de la ENCRYM, realizaron un estudio que incluía aspectos como el monitoreo y análisis de las condiciones ambientales, la documentación de algunos de los nichos y columnas en los hipogeos seleccionados, y la evaluación del diagnóstico del estado de conservación; también se abordan de manera general los aspectos como la técnica de manufactura y propiedades de los materiales constitutivos. (Medina et al. 2019)

En el año 2019, de manera simultanea al inicio de los trabajos realizados en el Alto del Aguacate, se desarrollaron dos proyectos ligados entre sí, los cuales consistieron en estudios de materiales dirigidos a la conservación, documentación y diagnóstico del estado de conservación. Del 5 al 22 de junio, el grupo de la ENCRYM-INAH realizó una “inspección científica y transferencia de avances de investigación en el Parque Arqueológico de Tierradentro”, con los objetivos de realizar un traspaso de saberes en materia de tecnología, análisis científicos, e inspección realizada en Segovia, Hipogeos S10, S12 y S30, y en el Duende Hipogeos D4 y D5; se tomaron muestras para análisis científicos de caracterización de materiales, así como para datación por arqueomagnetismo (Medina, 2019. P: 5), sin embargo, hasta el momento no se conocen los resultados de los análisis de materiales.

Durante esta misión, y como conferencia invitada de Congreso Latinoamericano de Arqueometría llevado a cabo en Bogotá en junio de 2019, la Dra. Isabel Medina del INAH presentó la ponencia “Una aproximación a la metodología de investigación y diagnóstico para la conservación de la obra mural de Tierradentro Colombia: un proyecto interdisciplinario, interinstitucional e Internacional”. Así mismo, el investigador Manuel

Eduardo Espinosa Pesqueira, presentó la ponencia “El espacio arquitectónico, escultórico y pictórico de Tierradentro, Colombia: Un estudio interdisciplinario desde lo macro a la nanoescala”. En estas conferencias se presentó el avance los resultados (Medina, 2019)

Paralelamente, los estudiantes de la Universidad Externado de Colombia, en el marco del Taller de Restauración de Pintura Mural del programa de Conservación y Restauración de Patrimonio Cultural de la Universidad Externado de Colombia, la profesora Clemencia Vernaza, en conjunto con la conservadora Juana Segura Escobar, y con la colaboración de los alumnos del taller, realizó estudios y pruebas para la *Formulación de un mortero de inyección para la estabilización de las superficies decoradas del Hipogeo S12 de Tierradentro*, en el sitio Alto de Segovia (Vernaza, 2019). El Hipogeo S12 uno de los hipogeos más grandes de la zona arqueológica ha sido el mas estudiado debido a sus problemáticas de conservación.

En este estudio se identificó la necesidad inminente de solucionar un problema específico de conservación en el Hipogeo S12: la falta de adherencia del pañete al soporte, y a causa de ello pérdida del mismo junto con las pinturas, por lo cual se requería un material que permitiera estabilizar; en este caso, se planteó la formulación de un mortero de inyección empleando materiales compatibles, estables, que no agregaran peso o sales solubles ocasionando mayores problemas de conservación, para lo cual se realizaron diversas pruebas (Vernaza, 2019, P: 2).

1.8 Investigaciones arqueológicas

Las primeras investigaciones arqueológicas en Tierradentro iniciaron en los años 30’s, por parte del geólogo alemán y profesor de la Universidad del Cauca, Georg Burg. Sin embargo, las primeras fuentes escritas que hacen referencia al patrimonio arqueológico datan del S. XVIII, por parte del religioso Fray Juan de Santa Gertrudis, quien describió brevemente los entierros y sus contenidos: “como había indios ricos y pobres, de aquí es que hay guacas ricas donde se halla mucho oro, y guacas pobres donde no se hallan sino juguetes como son platillos, ollitas, jarras, muñequitos y varios pájaros y animales. Pero todo de un barro muy fino y las figuras con una total perfección” (Franco, 2017. P: 143). Posteriormente, en el siglo XIX, Carlos Cuervo Márquez se cuestionó: “¿Cuál fue este

pueblo y por qué abandonó el territorio, o cuándo y cómo fue destruido?” (Franco, 2017. P: 143), en lo cual se evidencia el interés que las culturas prehispánicas y sus vestigios han despertado.

En el año 1936, el profesor Burg estudió y describió algunas de las tumbas de los sitios Alto de San Andrés, Alto de Segovia y Alto del Aguacate (Franco, 2017. P: 144). A partir de este estudio se incentivaron otras investigaciones. En el mismo año, comisionado por el Ministerio de Educación Nacional, el arqueólogo español José Pérez de Barradas, además de describir detalladamente las tumbas y procedimientos de excavación (Franco, 2017. P: 144), realizó el primer intento de determinar una cronología de la zona “basada en el estudio de los materiales recuperados, así como en la complejidad de las estructuras funerarias” (Groot & Mora, 1989: 161), y cuestiones de migraciones, relacionando la información de Tierradentro, con otras zonas conocidas en Colombia y en América (Pérez de Barradas, 1937, P: 40. En: Franco, 2017. P: 144).

Al año siguiente, Gregorio Hernández de Alba fue comisionado por el Ministerio de Educación Nacional para visitar la zona y realizar un informe sobre las estructuras funerarias; su trabajo incluye descripciones detalladas, planos y dibujos de algunas de las tumbas, así como estudios de las cerámicas excavadas (Hernández de Alba, 1938 & 1946. En: Op cit. 161); sus trabajos, publicados en algunos periódicos y en la *Revista de Indias*, son aún de importancia en investigaciones de Tierradentro.

De igual modo, Pérez de Barradas y Hernández de Alba trabajaron en conjunto en sitios como: “el Marme, el Hato, el Rodeo, el Tablón, San Andrés, Loma Alta, Segovia, Belalcázar y el Alto del Grillo” (Franco, 2017. P: 144).

A inicios de los años 40’, el arqueólogo Eliecer Silva Celis realizó una expedición en la cual se descubrieron nuevos sitios ampliando la zona arqueológica, se excavaron y describieron detalladamente algunas tumbas, al igual que los objetos encontrados en ellas (Silva, 1943. En: Op cit. 161); además, incluye aspectos etnográficos y generalidades de la arqueología regional, resaltando el papel de la geografía y geología en el desarrollo de estructuras monumentales y estatuaria (Franco, 2017. P: 148).

En la década de los 50's, Horst Nachtigall (1955, 1956 y 1959) realizó excavaciones en el Alto de Segovia, Alto del Aguacate y El Canadá. Las investigaciones del arqueólogo alemán se enfocaron en la "monumentalidad de las practicas funerarias, la significación de las pinturas de los hipogeos y la estatuaria, así como el origen del pueblo que habría creado estas obras" (Franco, 2017. P: 149). En el intento de establecer la relación con las comunidades indígenas Nasa, concluyó que las estructuras de desigualdad social que se evidenciaban en los hipogeos, entre otras actividades, contrastaban con aquellas encontradas en los grupos indígenas de la región, de estructura altamente democrática, por otra parte, si se encontraron similitudes con los desarrollos de la cultura agustiana, así como otras áreas del norte de los Andes (Franco, 2017. P: 149).

Aunque esta idea ya había sido mencionada desde los años 30 por Pérez de Barradas (Franco, 2017. P: 149), en 1965, Reichel Dolmatoff estableció la relación entre San Agustín y Tierradentro en cuanto a la cultura material cerámica y escultórica (Groot & Mora, 1989: P:162).

Arqueólogos han planteado la posible relación cultural de Tierradentro y San Agustín dado que fueron pueblos contemporáneos, se han encontrado similitudes en la forma, decoración y estilo de los materiales cerámicos; por otra parte, se han encontrado vestigios de caminos prehispánicos que comunican ambas localidades, además, en sitios intermedios se han encontrado elementos de las dos culturas, estatuas de estilo agustiano en Aguabonita, así como tumbas de pozo y cámara y vestigios de antiguas viviendas de planta oval", característicos de Tierradentro, en Moscopán," (Chaves, 1992. P: 15-17).

Las esculturas encontradas en el sitio El Tablón fueron elaboradas en toba volcánica tallada con martillos y cinceles. Según Chaves (1992) representan dignatarios y sacerdotes, sus rasgos característicos son "la posición frontal, la rigidez, la simetría, el estatismo y diferente tratamiento en tamaño y forma de la cabeza, cuerpo y extremidades de las figuras", y sus representaciones son figuras antropomorfas, zoomorfas y antropozoomorfas (Op cit. P: 14). A pesar de que las esculturas de Tierradentro son muy similares en su representación a las encontradas en San Agustín, son menos numerosas y más pequeñas.

De acuerdo con Chaves (1992), en Tierradentro y San Agustín se encontraron viviendas de planta oval o circular dispersas o quizás formando pequeñas aldeas o caseríos, se supone que se trataba de arquitectura de “caña o bahareque y techos cónicos de paja”, en su interior se encontraron agujeros relacionados con mobiliario y un fogón localizado en el centro (Chaves, 1992. P:15).

Entre 1986 y 1989, se realizaban simultáneamente proyectos en San Agustín por parte de Reichel Dolmatoff, mientras que Stanley Long y Juan Yanguéz (1970-1971) realizaban excavaciones arqueológicas en los sitios de San Andrés de Pisimbalá, El Tablón, El Volador, El Marne y El Rodeo, en Tierradentro; lo “que permitió establecer comparaciones con las regiones: San Agustín, Momil y Tumaco” (Groot & Mora, 1989. P: 162).

A partir de los años 60, el enfoque investigativo de Tierradentro cambia; por ejemplo, Vernon y Yanguéz realizan entre 1967 y 1968 los primeros estudios incluyendo sitios de habitación (Franco, 2017. P: 149).

Long y Yanguéz (1971) señalan que “Las ocupaciones que han tenido lugar en la región de Tierradentro, se caracterizan por un patrón de asentamiento disperso; ninguna de ellas parece indicar la existencia de grandes concentraciones humanas” (Long & Yáñez, 1970-1971. P: 67 En Groot & Mora, 1989. P: 163). Por los vestigios arqueológicos encontrados en Tierradentro, se puede decir que los pueblos que habitaban la zona eran agricultores, tejedores, escultores y alfareros, empleando productos como el maíz y el algodón (Long & Yáñez, 1970-1971. P: 67 En Groot & Mora, 1989. P: 163).

En los años 70’, encontramos los trabajos de Julio Cesar Cubillos (1971), quien describe el paisaje de Tierradentro como agresivo, influyendo este aspecto en el “tardío conocimiento de los vestigios precolombinos de esta región” (Cubillos, 1971. P: 27. En Franco, 2017. P: 152). En 1974, Ana María Groot realizó una amplia prospección arqueológica y excavaciones de varios sitios para un *estudio sobre la cerámica y su posible uso en la elaboración de sal*. (Groot & Mora, 1989. P: 165).

A partir de la segunda mitad de la década de los 70’, y durante casi 20 años, fueron Álvaro Chaves y Mauricio Puerta quienes realizaron casi exclusivamente las investigaciones arqueológicas en Tierradentro (Chaves, 1981; Chaves & Puerta, 1978, 1980, 1984, 1986,

& 1988).

Buscando la evolución y secuencia de las tumbas de Tierradentro a través del tiempo (Chaves, 1972 y Puerta, 1973. En: Groot & Mora, 1989: 163), se consiguen los primeros fechamientos de radiocarbono para los sitios Segovia, Patacué y el Aguacate en 1985, con el apoyo de la Fundación de Investigaciones Arqueológicas FIAN. (Chaves & Puerta, 1986).

- Segovia: 1080 AP, 870 d.C
- Patacué: 1320 AP, 630 d.C
- Aguacate: 1110 AP, 850 d.C

De acuerdo con lo señalado por Chaves, existen grandes dificultades para datar el material arqueológico de la zona debido a la alta humedad (Chaves, 1992. P: 16). Es por lo anterior que estos son las únicas dataciones exactas con las que se cuenta en la zona arqueológica.

En 1986, se publicó el libro *Monumentos arqueológicos de Tierradentro* (Chaves y Puerta, 1986) en el cuál se recopila información sobre estudios anteriores, información de las excavaciones arqueológicas realizadas por los autores; sus trabajos profundizan en aspectos diversos como el medio ambiente de la zona, y descripciones de la simbología en cultura material de Tierradentro: tumbas, estatuaria, orfebrería; incluyendo planos y dibujos de un gran número de hipogeos, los cuales han sido la base para futuras documentaciones. Solo se abordan dos hipogeos del Alto del Aguacate en este trabajo.

En los años 90` se empezaron a desarrollar investigaciones enfocadas en los procesos de cambio social en la región del Valle de la Plata, estableciendo relaciones de ocupación humana y del paisaje, contribuyendo a refinar las cronologías regionales. (Langebaek 1995, 1998. En Franco, 2017. P: 155).

En 1994 el Proyecto Arqueológico Tierradentro PAT, entre el Instituto Colombiano de Antropología e Historia ICAHN y la Universidad de Los Andes, al tomar como referencia la metodología empleada en el Valle de la Plata permitiendo establecer comparaciones entre

Tierradentro y San Agustín (Langebaek, 2009. P: 324).

En 1998, Carl Langebaek plantea una cronología cerámica para Tierradentro basada en las dataciones de C14 obtenidas por Chaves y Puerta en 1986; además evalúa y define los patrones de poblamiento de la zona arqueológica. La cronología de poblamiento establecida para Tierradentro consiste en seis periodos: Temprano 1, 2 y 3, Medio, Tardío y Moderno. No obstante, esta no aplica para los hipogeos, pues las investigaciones de poblamiento regional realizadas por Carl Langebaek se dieron en sitios de vivienda.

Acerca de los sitios funerarios Langebaek afirma: “muchas veces estos se encuentran en fillos de difícil acceso que no fueron sitios de ocupación, como el caso de El Aguacate. No obstante, otras áreas con hipogeos sí están asociadas con áreas que tienen alguna evidencia de vivienda, como es el caso de Segovia” (Langebaek, 2009. P: 328-329).

Algunas investigaciones no mencionadas se dedicaron a interpretar aspectos varios de los restos materiales encontrados en Tierradentro, entre ellos: Leonardo Ayala (1964, 1975), Andrea Cuellar (1997), Alejandro Dever (1999), Didier Astudillo (2008), Santiago Giraldo (1997), Naia George (1998), Zoad Humar (1999), Carl Langebaek (1995, 1998, Langebaek et ál. 2001), Mora (1986), Luis Rodríguez Lamuz (1961), Juan Rubiano (1999), y Francisco Zarur (1998). (Groot & Mora, 1989. P: 163; Franco, 2017. P: 146).

Los trabajos realizados en el parque en las últimas décadas se han enfocado al estudio de los sitios ya identificados, centrándose en la documentación, estudio de las problemáticas de conservación, valoración, entre otros aspectos; esto se debe al criterio arqueológico de no excavar completamente las zonas arqueológicas estableciendo zonas de reserva para futuros estudios.

2. Metodología

La metodología empleada en el presente estudio sigue una secuencia lógica de fases subsecuentes: registro, caracterización de materiales, estudio tecnológico y diagnóstico del estado de conservación. En esta secuencia cada fase contribuye con información relevante para el desarrollo de la fase siguiente.

Este acercamiento, como ya se había mencionado anteriormente, es propio de la disciplina de la conservación-restauración de patrimonio cultural y constituye un ciclo que se resume en la *Tabla 2-1* a continuación.



Tabla 2-1: Ciclo de acercamiento al objeto patrimonial desde la conservación.

El registro realizado pretendió abordar de una manera básica y general los hipogeos y las pinturas murales en su interior, además de documentar los aspectos mas relevantes para el estudio de materiales, tecnología y estado de conservación.

La caracterización de materiales permitió observar e identificar las diferentes capas que conforman las pinturas murales: soporte pétreo, capa de preparación, capa(s) pictórica(s), identificando sus características a través de técnicas de análisis instrumentales complementarias.

El estudio tecnológico buscó aproximarse a la cadena procesos de fabricación posiblemente empleados en la elaboración de las pinturas murales, comprendiendo desde la selección y preparación de materiales hasta la aplicación de las capas pictóricas.

El diagnóstico del estado de conservación partió de la evaluación de indicadores, factores y mecanismos de deterioro relacionados en la transformación y afectación de las pinturas murales.

La *Tabla 2-2* se resumen la secuencia de fases y su desarrollo lógico, dividido en subcomponentes de actividades realizadas o temáticas abordadas.

Tabla 2-2: Fases metodológicas empleadas.

Documentación	Caracterización de materiales	Tecnología	Estado de Conservación	Conclusiones
<ul style="list-style-type: none"> • Contexto • Registro Información general Hipogeo: -Fotografías -Medidas -Detalles.	<ul style="list-style-type: none"> • Toma de muestras. • Preparación. • Análisis instrumentales • Interpretación de datos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Observación in situ de huellas. • Relación bibliografía – materiales. • Características y propiedades de materiales. • Análisis de información. 	<ul style="list-style-type: none"> • Intervenciones anteriores. • Levantamiento de deterioros. • Diagnóstico (análisis de resultados y conclusiones). 	<ul style="list-style-type: none"> • Metodología. Relación de fases. • Resultados obtenidos y análisis. • Relación con otros sitios.

3.Registro

La documentación los sitios es un paso esencial para la identificación de las características del objeto de estudio, permitiendo la observación de rasgos importantes para entender aspectos sobre los materiales, las posibles técnicas empleadas en la elaboración y las problemáticas de conservación que afectan este sitio patrimonial.

El registro de los hipogeos seleccionados para el estudio contribuye a sentar un precedente y actualizar la información reportando el estado actual de las estructuras y sus técnicas decorativas; por otra parte, permite realizar comparaciones con los otros sitios que conforman el Parque Arqueológico, enriqueciendo proyectos de diferentes disciplinas.

Teniendo en cuenta el difícil acceso al sitio, donde incluso el uso de animales de carga es complicado, es importante exponer las limitaciones que esto impone; por una parte, la cantidad de equipos que se pueden cargar es reducida, por lo cual se llevaron apenas los elementos esenciales: linternas, una cámara semi-profesional, GPS, metros, cajas de instrumentos para la toma de muestras, cuadernos de notas, agua, y comida.

Las salidas al sitio debían realizarse temprano en la mañana, en este caso se realizaron a las 8 am para llegar al sitio aproximadamente a las 10 de la mañana, la bajada del sitio debía realizarse máximo a las 3 de la tarde, para regresar a la sede administrativa a la hora de cierre del parque. La carga de los elementos mencionados extendía el tiempo de subida.

Dado lo anterior, el trabajo de registro realizado tuvo como objetivo principal documentar de manera simple el estado actual de los hipogeos, de manera que este pueda informar los procesos de caracterización, estudio de la tecnología y diagnóstico del estado de conservación. Se recomienda realizar un proyecto exhaustivo de documentación del sitio, donde se cuente con los equipos y profesionales especializados en las tareas específicas.

Cabe resaltar que, a inicios de 2019, el Grupo de Investigación de Pintura Rupestre Indígena GIPRI presentó un proyecto ante la Fundación de Investigaciones Arqueológicas FIAN, el cual buscaba cooperar para la documentación del sitio Alto del Aguacate y la realización de análisis instrumentales in situ. Dicho proyecto no consiguió ser financiado.

Considerando que no se contaba con el personal o recursos para realizar una documentación exhaustiva, se deben resaltar los aspectos técnicos del registro realizado. Dada la extensión del sitio, estimada una longitud de aproximadamente 1 km, y que los hipogeos seleccionados se encontraban dispersos a lo largo de la cima, se decidió realizar los trabajos de documentación uno por uno dedicando casi un día de trabajo por cada hipogeo.

El sitio no tiene seguridad permanente y los hipogeos se encuentran siempre abiertos, por lo cual fue necesario cargar a diario con los equipos necesarios para las actividades de campo. Tampoco se cuenta con acceso a recursos como electricidad, de manera que se emplearon solo equipos portátiles y recargables. Especialmente las luces, necesarias debido a la poca u nula luminosidad al interior de los hipogeos.

Dentro de los hipogeos se presentaban limitaciones físicas, pues en la mayoría de los casos el espacio es restringido, dificultando la toma de fotografías generales; por otra parte dado el diseño arquitectónico de las estructuras y su forma oval la perspectiva se ve afectada. En estos casos, para presentar una fotografía precisa es necesario hacer uso de software especializados para la modificación de imágenes por parte de personal profesional.

El registro fotográfico se realizó empleando una cámara Canon Rebel T5i, linternas led de 80 luces graduables y recargables, pues no se cuenta con electricidad en el sitio. Debido a que no se emplearon animales de carga para el transporte de los equipos, no se empleó el trípode en la toma de fotografías, por otra parte, debe considerarse la irregularidad en la forma y superficie del hipogeo.

En principio se realizó la descripción del sitio y luego se procede a exponer la información registrada para cada uno de los hipogeos:

- Datos GPS.
- Medidas generales del hipogeo.
- Descripción del hipogeo.
- Descripción de los diseños.
- Fotos generales.
- Fotografías de las figuras.

El Alto del Aguacate no contaba con una cartografía a escala, por lo cual fue necesario realizar la toma de la localización por GPS. Para la toma de fotografías, las luces led en la parte superior de la cámara, se tomaron las fotografías a manera de retícula, comenzando por el lado izquierdo de la entrada del hipogeo y prosiguiendo hacia la derecha hasta llegar de nuevo a la entrada.

En cuanto a la conservación, el registro brinda información de gran utilidad para identificar indicadores, factores y mecanismos de deterioro, que afectan las pinturas y las estructuras; permitiendo generar un diagnóstico del estado de conservación crítico e informado; esencial para determinar materiales y técnicas de restauración compatibles para futuras intervenciones.

En la tabla a continuación (*Tabla 3-1*) se presentan de manera resumida los hipogeos seleccionados y las características generales de las pinturas murales en su interior, incluyendo una imagen representativa de los diseños empleados.

Tabla 3-1: Resumen de hipogeos seleccionados.

	Hipogeo AR-38	Hipogeo AR-50	Hipogeo AR-44	Hipogeo A-0
Diseños	“Soles” y figuras geométricas. Talla en bajo relieve en forma de círculo.	Figuras geométricas Superposición de tonos.	Figuras geométricas. Superposición de tonos. Capa de preparación (mortero).	Líneas, “lunas” y “salamandras” Petroglifo: figura antropomorfa.
Tonos	Negro, rojo, blanco, rosa.	Amarillo, negro y rojo.	Negro, rojo, blanco.	Negro, rojo y blanco.



Figuras 3-1, 3-2, 3-3 & 3-4: Figuras representativas de diseños en cada hipogeo seleccionado para el estudio.

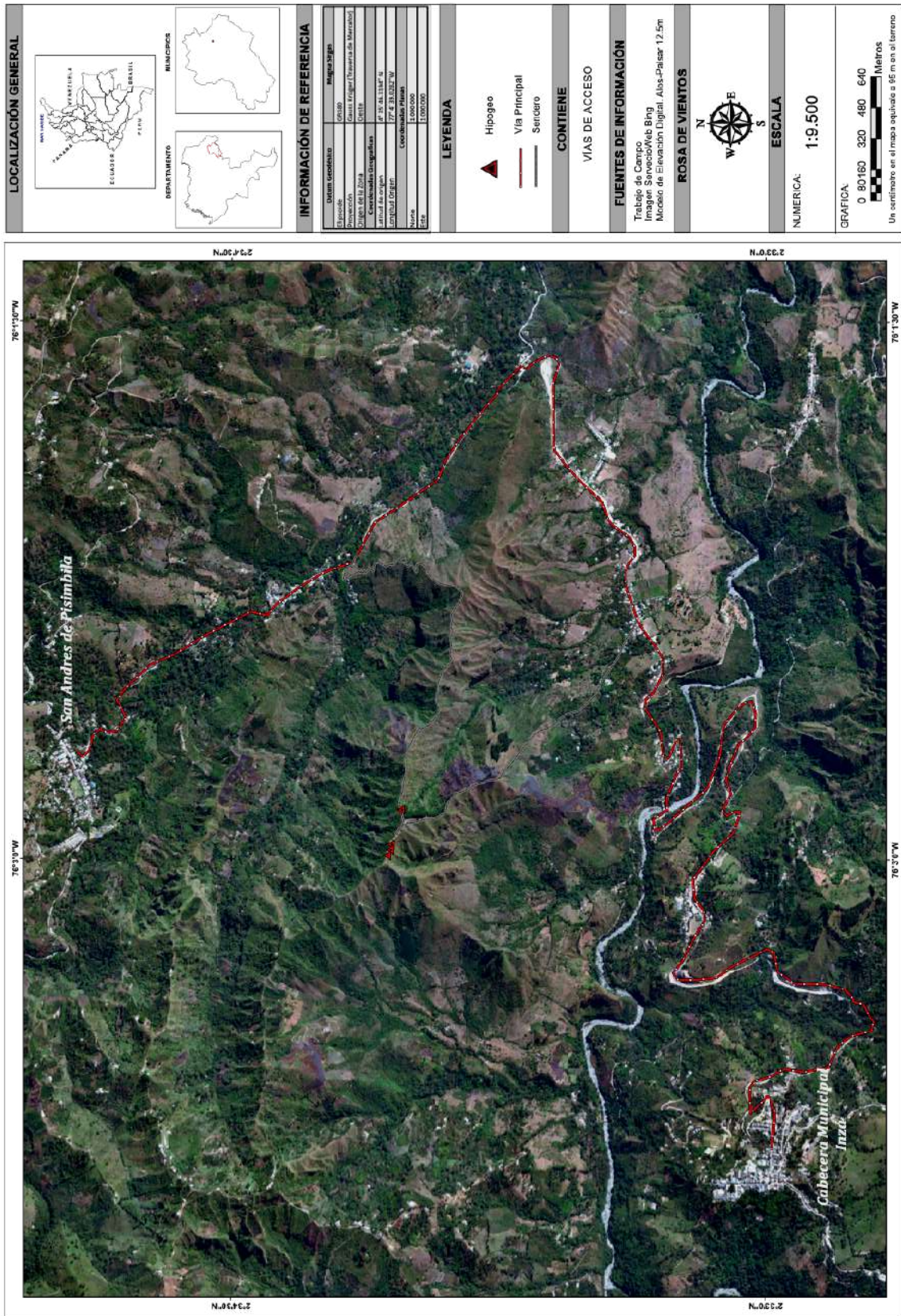


Figura 3-5: Mapa general, esquema de llegada al sitio

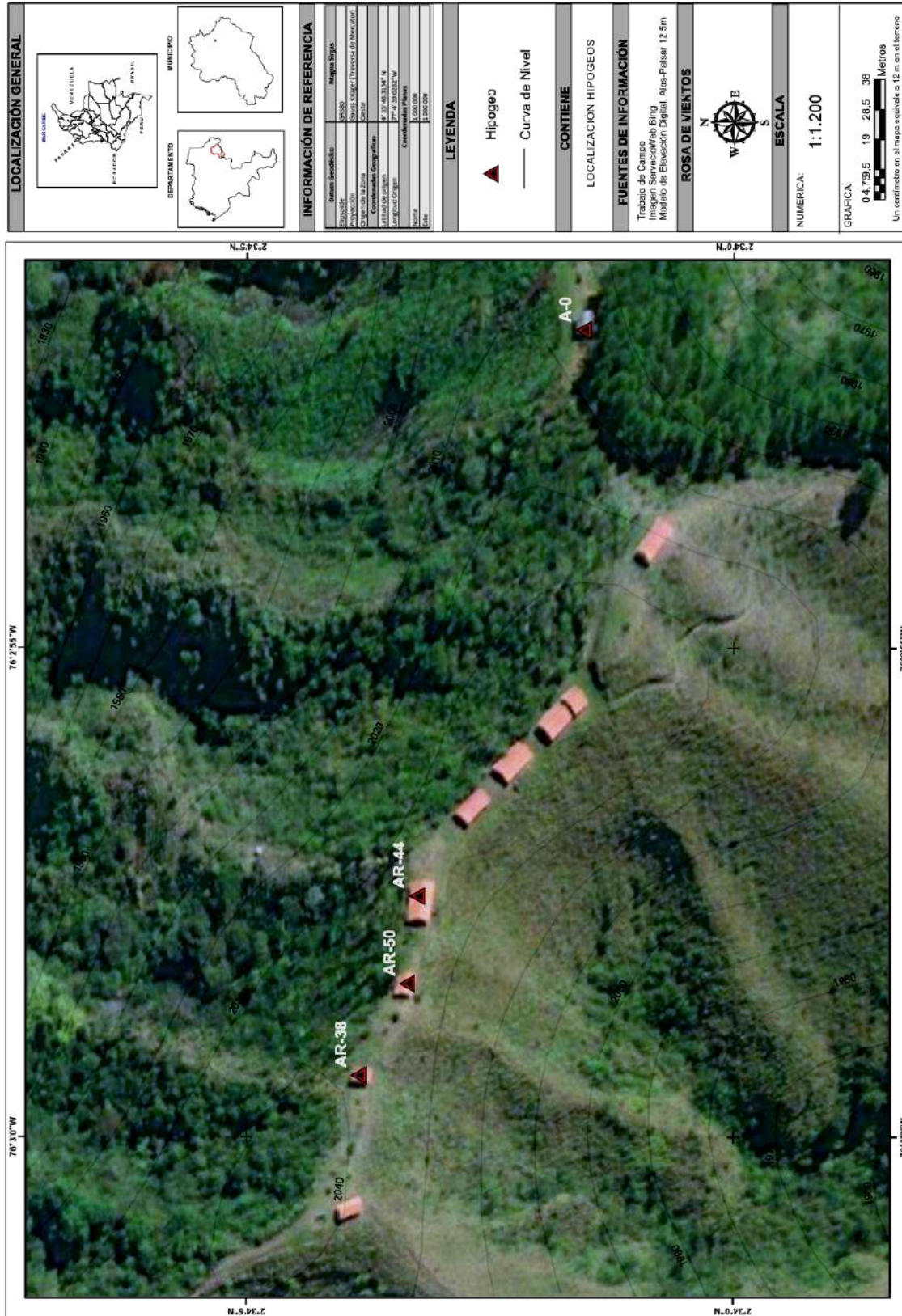


Figura 3-6: Mapa de sitio. Ubicación de los hipogeos seleccionados.

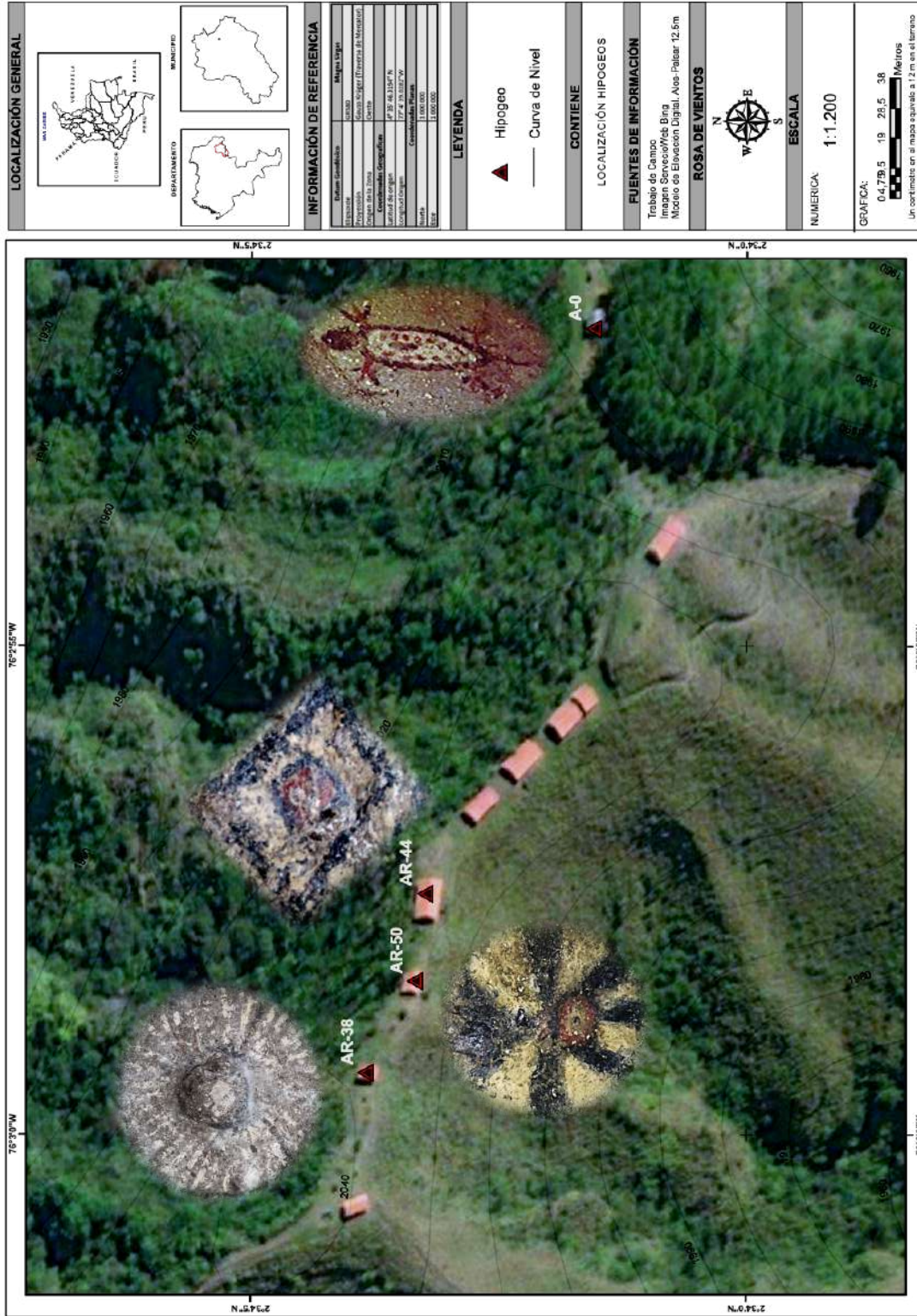


Figura 3-7: Figuras representativas de los hipogeos estudiados en el Alto del Aguacate.

3.1 Hipogeo A-0

Ubicación GPS

Latitud: 2°34.030' N

Longitud: -76°02.880' W

±6 m

Altitud: msnm 2030 msnm (6.650 ft)

Orientación: 102° E

Medidas aproximadas

Largo: 2.75 m

Ancho: 4.23 m

Alto: 2.26 m

Profundidad: 2.71 m

Descripción

Estructura

Tumba de cámara oval con escaleras sin nichos ni columnas.

Pintura mural

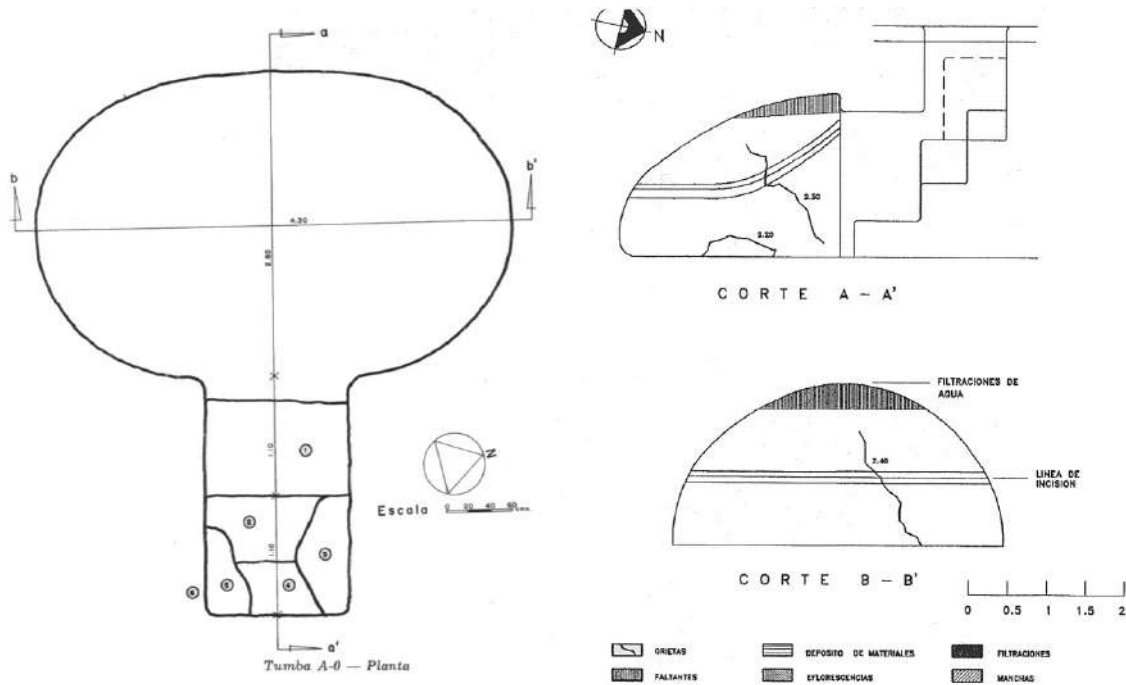
Pinturas aplicadas directamente sobre la roca en tonos negro, rojo y blanco, diseños en forma de “medialunas” y “salamandras”, con líneas que cruzan el hipogeo por la parte media, y suben al aproximarse a la entrada. Las figuras presentan variaciones en forma y aplicación del color, en lo cual se evidencia la intención de no pintar un patrón específico de diseño.

Otros

Presenta un techo de protección, encerramiento en madera con candado en la parte superior de la escalera, y barrera de guadua para evitar el ingreso de los visitantes a la parte interior del hipogeo.

Documentado y excavación por parte de Álvaro Chaves y Mauricio Puerta (1986). Documentación y estado de conservación realizados por parte de Gisela Preciado (1996).

Planos



Figuras 3-8 & 3-9: Hipogeo A-0, planta (izquierda) y corte (derecha).
(Chaves & Puerta, 1986. P: 122 & Preciado, 1996)

Fotografías generales



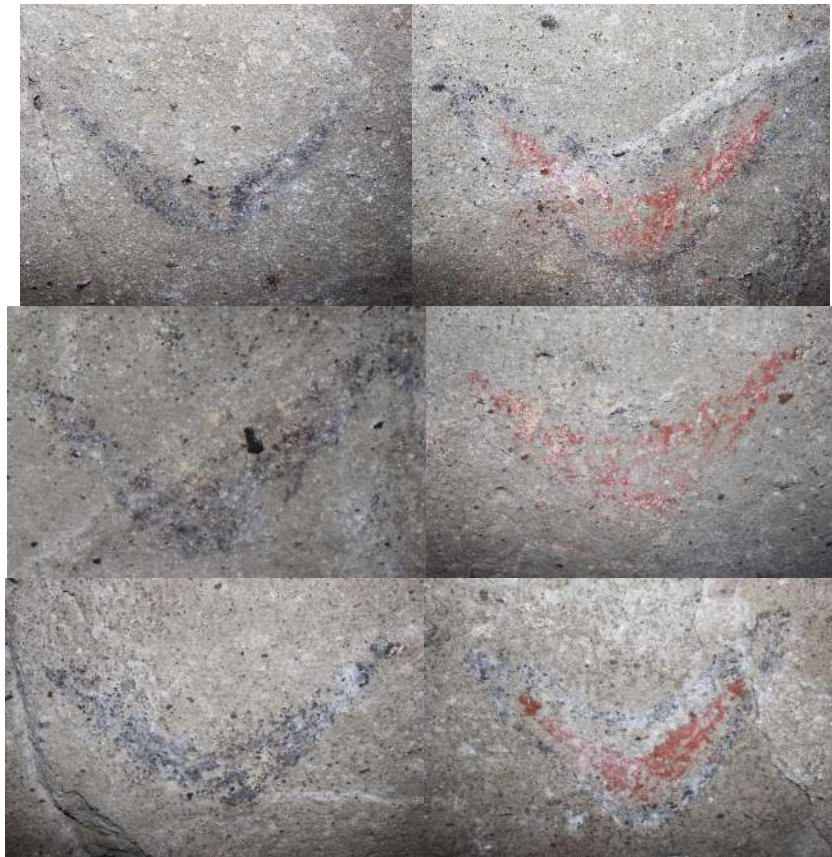
Figura 3-10: parte derecha y central del Hipogeo A-0.



Figura 3-11: Parte izquierda, Hipogeo A-0

Detalles

Figuras 3-12, 3-13, 3-14, 3-15, 3-16, 3-17, 3-18 & 3-19: "Salamandras". Hipogeo A-0.



Figuras 3-20, 3-21, 3-22, 3-23, 3-24 & 3-25: "Lunas". Hipogeo A-0.



Figura 3-26: Petroglifo.

3.2 Hipogeo AR-50

Coordenadas GPS

Latitud: 2°34.055' N

Longitud: -76°02.966' W

± 4 m

Altitud: 2018-2041 msnm (6620 ft)

Orientación: 64° NE

Medidas aproximadas

Largo: 3.79 m

Ancho: 2.15 m

Alto: 1,98 m

Profundidad: 3.90m

Descripción

Estructura

Tumba de cámara oval con escaleras sin nichos ni columnas.

Pintura

Pinturas aplicadas directamente sobre la roca, en tonos negro, rojo y amarillo claro. Los diseños son variables, presentando figuras triangulares en rojo y negro con un diseño circular en medio, conformado por franjas alrededor de círculos concéntricos en negro, rojo y amarillo. En la parte media presenta líneas horizontales que cruzan todo el hipogeo, y en la parte inferior presenta franjas verticales negras con relleno en blanco.

Observaciones

Es el tercero de los tres hipogeos bajo el mismo techo, siguiendo el trayecto hacia el noroccidente.

Fotografías generales

Figura 3-27: Lado derecho. Hipogeo AR-50.



Figuras 3-28 & 3-29: Parte central (izq) Lado izquierdo (der). Hipogeo AR-50.



Figura 3-30: Entrada al Hipogeo AR-50.

Detalles



Figuras 3-31, 3-32 & 3-33: Figura circular conformada por franjas y figuras conformadas por triángulos. Hipogeo AR-50.



Figuras 3-34 & 3-35: líneas horizontales y franjas verticales. Hipogeo AR-50.

3.3 Hipogeo AR-44

Ubicación GPS

Latitud: 2°34.058' N

Longitud: -76°02.979' W

± 4 m

Altitud: 2021-2041 msnm (6630 ft)

Orientación: 106° E

Medidas aproximadas

Largo: 3.67

Ancho: 5.48 m

Alto: 2.29

Profundidad: 3.72 m

DescripciónEstructura

Tumba de cámara oval con escaleras sin nichos ni columnas. Es el hipogeo mas grande del Alto del Aguacate y se encuentra localizado en una de las partes mas altas del sitio,

Pintura mural

Pinturas en tonos negro y rojo aplicadas con retoques en amarillo, extensivamente aplicadas sobre una capa de preparación blanca con tendencia a amarillo que cubría la totalidad del hipogeo. El diseño consiste en figuras geométricas intrincadas que, aunque tienen cierta simetría no son rígidas en este aspecto, presentando algunas variaciones a lo largo de la superficie. Hacia el lado izquierdo se observan algunos diseños que emplean solo el color negro, y hacia el lado derecho se implementaron algunas figuras en rojo, aunque las líneas principales fueron pintadas en negro.

Fotografía general

Figura 3-36: Ensamble fotografías generales. Hipogeo AR-44.



Figura 3-37: Entrada del Hipogeo AR-44.

Detalles

Figuras 3-38, 3-39, 3-40, 3-41 & 3-42: Diseños geométricos. Hipogeo AR-44.

3.4 Hipogeo AR-38

Ubicación GPS

Latitud: 2°34.065' N

Longitud: -76°02.996'W

± 4 m

Altitud: 2019-2041 msnm (6630 ft)

Orientación: 102° E

Medidas

Largo: 2.86 m

Ancho: 4.83 m

Alto: 2.38 m

Profundidad: 3.55 m

Descripción

Estructura

Tumba de cámara oval con escaleras sin nichos ni columnas.

Pintura mural

Pinturas aplicadas directamente sobre la roca en tonos negro, blanco, rojo oscuro y rojo claro. La pintura fue aplicada alrededor de tallas circulares en bajo relieve, los diseños consisten en círculos concéntricos y líneas que conectan perpendicularmente. La forma de estas figuras es interpretada como "soles".

Observaciones

Este hipogeo presenta una superficie rocosa mas irregular. Se encuentra al final de la cima de la montaña dirigiéndose hacia noroeste, es el penúltimo de las estructuras en este sitio. Presenta un techo individual.

Fotografías generales

Figura 3-43: Lado izquierdo. Hipogeo AR-38.



Figura 3-44: Lado derecho. Hipogeo AR-38

Detalle de figuras

Figuras 3-45, 3-46 & 3-47: "Soles". Hipogeo AR-38.

4. Caracterización de materiales

Los estudios de caracterización de materiales en objetos patrimoniales son llevados a cabo por equipos interdisciplinarios, creando puentes entre las humanidades y las ciencias, pues es necesario el conocimiento previo del objeto de estudio (datos arqueológicos, históricos, estéticos, tecnológicos, etc.), de manera que los análisis partan de una pregunta específica que complemente y aporte a los análisis, disminuyendo la incertidumbre en los resultados debido a variables como la contaminación de las muestras, limitaciones de las técnicas (resolución y sensibilidad), entre otros factores de error en la interpretación de datos (Gómez, 1998, P:184).

En cuanto a la utilización de análisis científicos en el estudio del patrimonio cultural, Gómez (2004) realiza una serie de consideraciones importantes, enunciadas a continuación:

- Ningún método de examen puede dar juicio absoluto, ni determinar por sí solo la naturaleza, composición y estructura del objeto.
- Sólo la elaboración de los datos analíticos obtenidos mediante diversos métodos complementarios puede dar lugar a conclusiones adecuadas.
- Si se presenta alguna contradicción entre los datos analíticos obtenidos por distintos medios, se debe a un error que habrá que localizar.
- El examen científico no es un fin en sí mismo, sino que permite recoger datos que han de elaborarse posteriormente.
- Es la colaboración entre expertos de las diferentes disciplinas la que hace verdaderamente provechoso el examen científico de los objetos de interés cultural.

(Gómez, 2004. p.148-149)

En esta fase se implementaron las herramientas para el análisis de las muestras con el objetivo de identificar los materiales que componen los diferentes estratos de las pinturas murales y sus características. Para ello se hace necesario emplear técnicas instrumentales complementarias de análisis químicos y estructurales de materiales.

Las técnicas instrumentales empleadas incluyeron, microscopio petrográfico, microscopio óptico (OM), fluorescencia de rayos X por energía dispersiva (EDXRF) y Fluorescencia de Rayos X portátil (hXRF), difracción de rayos X (XRD), Microscopio electrónico de Barrido – espectrómetro de energía dispersiva de rayos X (SEM-EDS), microscopio Raman Confocal (RS), espectroscopia Infrarrojo – Transformada de Fourier (FT-IR), pirolisis con cromatografía de gases - espectrometría de masas (py-GC/MS).

La metodología para esta fase incluyó la toma de muestras en campo, su preparación y pruebas en laboratorio, el análisis y la discusión de resultados. Los análisis de materiales permitieron observar e identificar las diferentes capas que conforman las pinturas murales: soporte pétreo, capa de preparación, capa(s) pictórica(s), con especial enfoque en la última mencionada. El registro de los hipogeos fue esencial para la identificación macroscópica de las diferentes capas, así como para determinar la cantidad y tipo de muestras necesarias, así como de las zonas mas apropiadas para la toma de muestras aptas para la realización de los análisis. Los resultados obtenidos mediante esta fase permitieron comparar con los materiales identificados en estudios anteriores realizados en el Alto de Segovia y San Andrés.

4.1 Toma y preparación de muestras

Mediante la observación a simple vista y con lentes de aumento se determinó la localización de las zonas para la toma de muestras en los hipogeos seleccionados (ver Anexo B).

La extracción de las muestras se encuentra justificada en la posibilidad de profundizar acerca del conocimiento de los materiales y técnicas empleadas, brindando una mejor aproximación al objeto de estudio. Es importante resaltar que, de las pruebas realizadas, la mayoría no son destructivas, de manera que se dio el mayor aprovechamiento a cada una de las muestras usando diferentes técnicas de análisis complementarias.

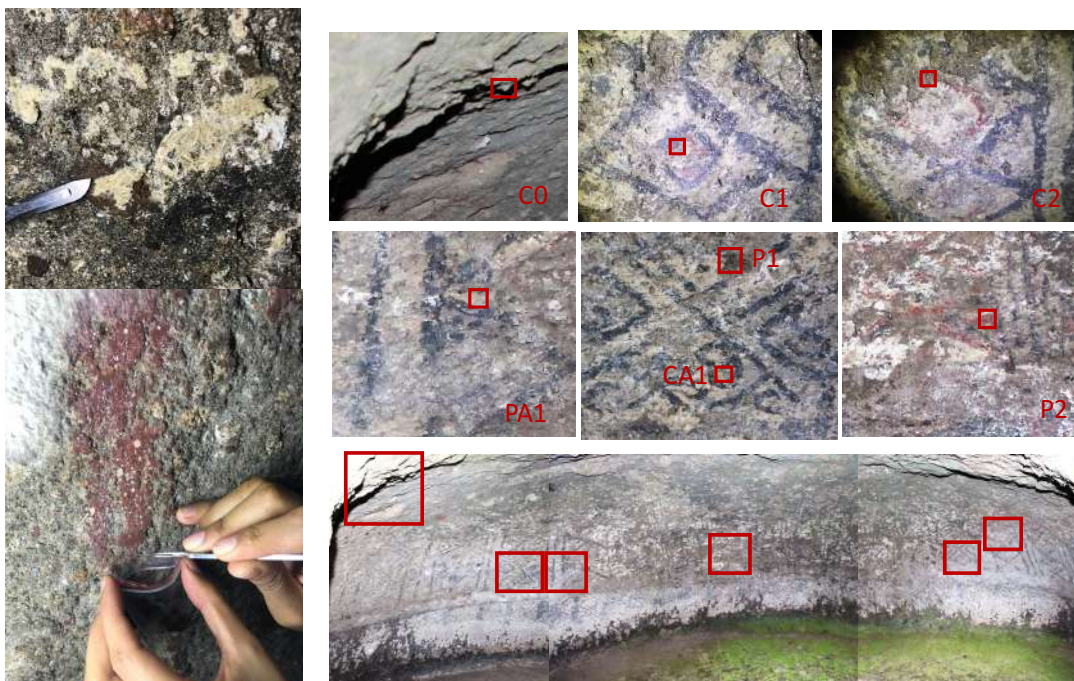


Figura 4-1: Proceso de toma de muestras.

El registro previo, durante y después de la extracción de las muestras, fue esencial para garantizar que la relación de información y los análisis de resultados fueran precisos al respecto de posibles variables derivadas de la ubicación, extracción y apariencia original de los materiales. Estos se encuentran consignados en el Anexo B: Tablas y gráficos de toma de muestras.

La localización de los puntos para la toma de muestras se definió de acuerdo con los criterios de 1.) Extraer la cantidad mínima necesaria, 2.) seleccionar puntos donde el daño sea menor, 3.) no causar irrupción estética de las pinturas, de manera que las muestras se tomaron de zonas no muy notorias, y adyacentes a faltantes.

Sin embargo, en algunos casos la presencia de ciertos tonos sólo se da en sólo una de las figuras; tal es el caso del Hipogeo AR-38 que presenta pocas figuras, una de ellas en un tono de rosa (rojo claro) de gran interés para el estudio; un caso similar es el del Hipogeo A-0 donde solo una de las “salamandras” presenta pintura blanca, por cual fue necesario tomar las muestras de aquellas figuras.

Dado que se seleccionó una muestra representativa de cuatro hipogeos con pinturas en diferentes tonos, y bajo el criterio de complementariedad en la información obtenida de los análisis y teniendo en cuenta que algunas pruebas o instrumentos requieren muestras con preparación o características específicas, se extrajeron dos tipos de muestras: una muestra de pintura en polvo y una micro-estratigrafía por cada tono en cada uno de los hipogeos. Bajo el principio de mínima intervención, el tamaño y cantidad de muestras fue el mínimo posible para llevar a cabo los análisis requeridos en el estudio.

De las 27 muestras tomadas: 13 muestras en polvo, 12 de microestratigrafías. 1 fragmento de soporte, 1 de microestratigrafía capa de preparación; estas dos últimas fueron tomadas del Hipogeo AR-44, en este hipogeo no se encuentra capa pictórica blanca, ya que corresponde a la capa de preparación; solamente una muestra de fragmento de soporte fue autorizada para todo el sitio.

Inicialmente se había autorizado una muestra de cada tipo por cada color en todo el sitio, correspondientes a las muestras tomadas en la salida de campo del 17 al 20 de mayo, 2019 autorización ICANH-132 2543 del 13 de mayo de 2019; al evidenciarse la necesidad de realizar mayor número de análisis para establecer comparaciones, fue otorgado el permiso de toma de una muestra de cada color en cada uno de los hipogeos, correspondientes a la muestras tomadas en la salida de campo del 13 al 21 de julio, 2019, autorización ICANH-132 3627 del 10 de julio de 2019. Ver anexos A. Autorizaciones de intervención & B. Tablas y gráficas de muestras.

En la tabla a continuación se resumen la cantidad y tipo de muestras tomadas en cada una de las salidas de campo.

Tabla 4-1: Resumen de muestras tomadas. Ver Anexo B: Tablas y gráficas de muestras.

	Hipogeo	Salida de campo 17-20 de mayo	Salida de campo 13-21 de julio	# total de muestras
1	Hipogeo A-0	C3, P3 2	C1, P1 C2, P2. 4	6
2	Hipogeo AR-38	C4, P4 2	C1, P1 C2, P2 C3, P3 6	8
3	Hipogeo AR-44	C0 CA1, PA1 C1, P1 5	C2, P2 2	7
4	Hipogeo AR-50	C2, P2 2	C1, P1 C3, P3 4	6
Total de muestras				27

C: muestra tipo corte estratigráfico

P: muestra tipo polvo

4.1.1 Fragmento soporte pétreo

Esta muestra, con medidas aproximadas de 27 x 46 x 10 mm, fue tomada de un área sobresaliente y rugosa del techo del hipogeo donde presentaba pérdidas de la superficie original. Esta muestra se extrajo empleando un cortador X-acto insertado en la superficie rocosa y empujado hacia abajo. Dado que gran parte del techo ha sufrido desprendimiento casi completo de la capa de preparación y las capas pictóricas, la roca se encuentra expuesta, siendo su superficie altamente irregular y su textura rugosa, por lo cual es una zona donde la extracción de la muestra no se hace evidente con facilidad, excepto por el aspecto limpio y sin microorganismos.

Debido a que la superficie del hipogeo se encontraba bastante alterada, y a pesar de haber almacenado la muestra en una caja con protección en el interior, el fragmento de roca se fragmentó y pulverizó al perder humedad, tal como se puede observar en la Figura 4-2.

Esta muestra fue empleada para análisis de fluorescencia de Rayos X por energía dispersiva EDXRF y portátil hXRF, espectroscopia Raman Confocal (RS), y difracción de Rayos X (XRD).



Figura 4-2: AR-44 C0 Roca.

La muestra fue preparada a manera de lámina delgada en el laboratorio MinerLab Ltda., Bogotá. Para este tipo de preparación la muestra es limpiada y embebida en resina epóxica azul, cortada a la mitad, pulida y adherida a un vidrio portaobjetos para el pulido final hasta alcanzar un grosor de aproximadamente 30 μ . Este tipo de preparación es especializada para estudios de minerales. En este caso la lámina delgada fue empleada para los análisis

de petrografía microscópica. La mitad de la muestra que no fue preparada a manera de lámina delgada fue analizada por fluorescencia de Rayos EDXRF y hXRF.

La parte pulverizada de la muestra molida finamente en mortero de ágata en el Laboratorio de Biomateriales de la Universidad Nacional – Sede Medellín, una parte fue empleada para las pruebas SEM-EDS y RS. Otra parte fue preparada a manera de disco de vidrio en el laboratorio Hercules de la Universidad Évora, donde 1,2g del polvo fue mezclado con 12g de yoduro de litio, posteriormente fundido a 1065°C y moldeado a manera de disco de vidrio usando el instrumento de fusión Claisse Fluxer® LeNeo™, para su análisis en el equipo de XRF.

4.1.2 Muestras en polvo de las capas pictóricas

Las muestras en polvo fueron extraídas por raspado con bisturí de tamaño #20, de zonas con alta concentración de pintura, donde la capa se encontraba expuesta en zonas adyacentes a faltantes, de manera que no se evidenciara fácilmente la toma de la muestra.

El tamaño de la zona de muestreo fue de aproximadamente 1 cm² raspado de la parte superficial de la pintura, la cantidad de muestra requerida menor a 0.5 gr. Aunque en el caso de las muestras de pintura roja, a ser tan delgadas, el área fue mayor, aproximadamente 2 cm², esto con la finalidad de no remover por completo la capa pictórica en esta zona. Las muestras en polvo fueron separadas extrayendo los fragmentos de soporte pétreo, y posteriormente fueron molidas en mortero de ágata hasta lograr un polvo fino.



Figura 4-3 & 4-4: Molido en mortero de ágata (izq) y montaje en cinta de carbón (der).

Estas muestras fueron empleadas para análisis de microscopía electrónica de barrido - espectrometría de energía dispersiva de Rayos X (SEM-EDS), difracción de Rayos X (XRD), espectrometría Infrarroja con Transformadas de Fourier (FTIR) y pirolisis con cromatografía de gases – espectrometría de masas (GC-MS).

Para las pruebas de FTIR-ATR las muestras en polvo fueron colocadas directamente sobre el cristal de diamante. Para las pruebas de XRD, las muestras en polvo se dispersaron en alcohol sobre láminas cubreobjetos.

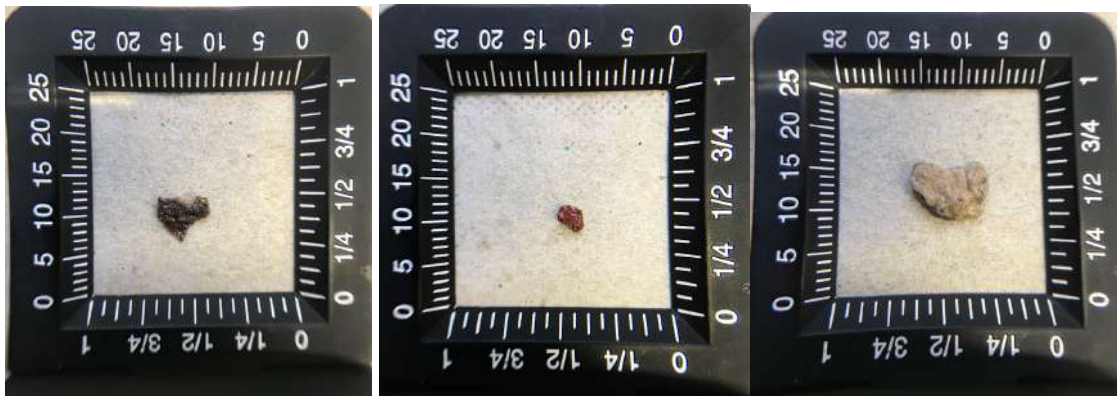
Para las pruebas de py-GC/MS, una cantidad mínima de cada muestra (<100 µg) fue sometida al proceso de derivatización con 3 µl de hidróxido de tetramethylammonio (2.5% en metanol, v/v) en una cápsula Eco-cup de 50µl y colocada en un pirolizador de doble trampilla (double-shot pyrolizer) usando un Eco-stick. La cápsula fue colocada en la interfaz de pirolisis y pirolizada a 500 °C.

4.1.3 Fragmentos de cortes transversales o estratigráficos

Fueron extraídos con bisturí quirúrgico de tamaño #15 y #20, de zonas con faltantes y poco visibles, preferiblemente donde se diera la superposición de tonos, de manera que se pudieran observar aspectos de la aplicación de las capas, así como de sus diferencias (grosor, granos, etc.). El tamaño fue de aproximadamente 5mm², tal como se puede observar en las imágenes tomadas empleando lupa cuentahílos.



Figuras 4-5, 4-6 & 4-7: A-0 C1 Negro (izq), A-0 C2 Rojo (cen) y A-0 Blanco (der).



Figuras 4-8, 4-9 & 4-10: AR-38 C1 Negro (izq), AR-38 C2 Rojo (cen) y AR-38 C3 Blanco (der).

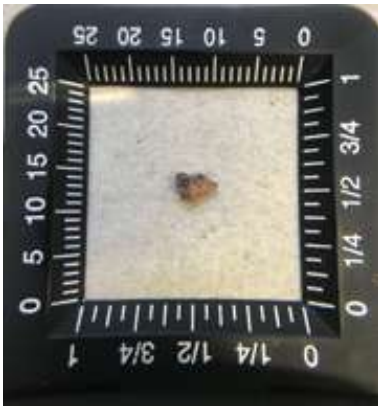


Figura 4-11: AR-38 C4 Rojo claro.



Figura 4-12, 4-13 & 4-14: AR-44 C1 Negro (izq), AR-44 C2 Rojo (cen), AR-44 CA1 Blanco (der).



Figura 4-15, 4-16 & 4-17: AR-50 C1 Negro (izq) AR-50 C2 Rojo (cen) y AR-50 C3 Blanco-Amarillo (der).

Los cortes estratigráficos fueron preparados a manera de secciones transversales en el laboratorio de Biomateriales de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín. Se colocó la muestra en el molde con la capa pictórica hacia abajo, posteriormente fueron embebidas en resina epóxica rígida multipropósito de alta transparencia marca Sumiglas, en proporción 1:1, endurecida durante 24 horas.

Posteriormente las muestras fueron cortadas con disco de diamante, y pulidas con lija de diferentes tamaños de grano (1500 y 2000), finalmente se pasaron por paños de pulido con pasta de diamante de 3μ , hasta lograr una superficie homogénea.

Estas muestras fueron empleadas para análisis mediante microscopía óptica (OM), espectroscopia Raman confocal (RS), y microscopía electrónica de barrido - espectrometría de energía dispersiva de Rayos X (SEM-EDS).

Para la observación en el microscopio óptico, y las pruebas de Raman no se requirió preparación específica de las muestras.

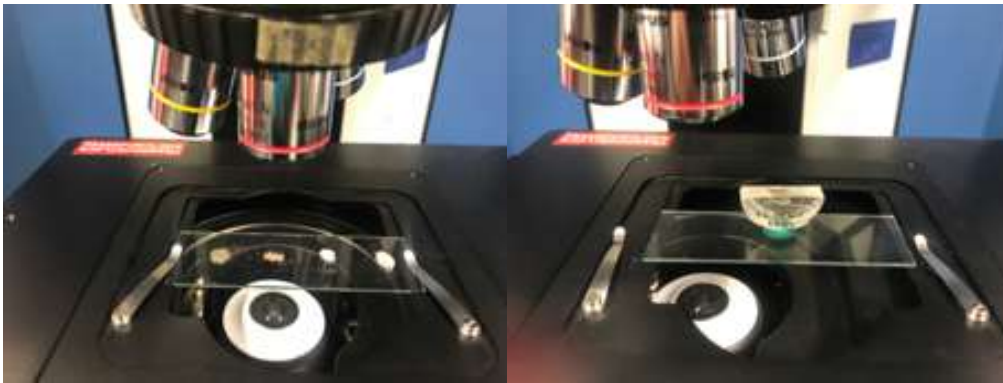


Figura 4-18 & 4-19: Muestras en polvo (izq) y sección transversal (der) en RS.

Para las pruebas de SEM-EDS, las muestras fueron colocadas sobre una lámina portaobjetos posteriormente fueron recubiertas con una capa de oro de 5nm por medio de la técnica magnetrón sputtering plasma en una atmósfera de argón. El equipo empleado fue un metalizador Sputter Quorum modelo Q150R. finalmente fueron adheridas a un soporte metálico y aterrizadas usando tiras de cinta de carbón en contacto con la muestra y con el soporte metálico.

4.2 Instrumentación

A continuación, se describen brevemente las pruebas de caracterización de materiales empleadas en el presente estudio y el propósito de cada una; estas han sido seleccionadas de acuerdo con las necesidades de investigación y tipo de muestra a analizar. Además, se presentan los equipos, parámetros y software empleados en realización de las pruebas y procesamiento de datos.

4.2.1 Petrografía microscópica

Esta técnica es empleada para la identificación del tipo de roca, composición mineralógica y estratos presentes en el soporte pétreo, permitiendo observar sus características. La muestra requerida es una sección delgada de 30 μ de espesor, cuando la luz del microscopio petrográfico o microscopio polarizador atraviesa la muestra permite la observación de minerales traslúcidos o espacios entre los granos.

Los equipos empleados fueron: una lupa estereoscópica Olympus SZ61 y microscopio óptico Olympus BX41, con fuente de luz transmitida.

Este análisis fue realizado por la geóloga Dra. Natalia Acevedo, Gómez, en el Laboratorio Petrográfico del Departamento de Geociencias de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

4.2.2 Microscopia óptica

Permite la magnificación de la imagen con lentes de aumento empleando luz visible reflejada o transmitida. Se requiere que la muestra se encuentre en un mismo plano, ya sea preparada a manera de sección pulida, delgada o disgregados, de manera que se pueda enfocar la imagen. En el caso de microestratigrafías permite estudiar la sucesión de capas, espesor, tamaño, forma, color de granos, entre otros.

Se empleó un microscopio óptico (MO) invertido Zeiss Axio Observer 5, con lentes objetivo de 5X, 10X, 50X, perteneciente al Laboratorio de Biomateriales, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.



Figura 4-20. OM Zeiss Axio Observer 5.⁴

4.2.3 Fluorescencia de rayos X

Se emplearon dos equipos de Fluorescencia de Rayos X (XRF) Para determinar la composición elemental de las muestras. Elementos mayoritarios de la muestra se determinaron usando un espectrómetro de fluorescencia de Rayos X portátil Bruker™ Tracer III SD®, con un detector de silicio de deriva SDD XFlash® y un tubo de rayos X con ánodo de Rodio liberando un haz policromático de Rayos X de 3 x 3 mm.

Los espectros fueron recolectados en condiciones de vacío durante 120 s de cuentas en tiempo real, a un voltaje 40kV e intensidad de corriente de 10 μ A, sin usar ningún filtro. El software S1PXRf (Bruker™) fue usado para registrar los espectros y el software ARTAX (Bruker™) fue usado para evaluar los espectros y obtener datos semicuantitativos. La normalización de los datos químicos fue realizada convirtiendo la tasa de cuentas, dividiendo por el valor del pico Ka de Rh. Pruebas realizadas por la estudiante de doctorado Mafalda Costa.

Para la cuantificación general de la muestra se empleó un equipo de fluorescencia de Rayos X de energía dispersiva EDXRF Bruker S2 Puma, equipado con un tubo de Rayos X de ánodo de plata. La muestra fue analizada como un disco de vidrio. Los análisis

⁴ https://www.micro-shop.zeiss.com/data/image/shop-catalog-system/group_10302.jpg

cuantitativos fueron obtenidos usando estándares comerciales de calibración de silicio. Pruebas realizadas por la estudiante de doctorado Ana Tsoupra.



Figura 4-21: hXRF Bruker™⁵ Tracer III SD®. **Figura 4-22:** EDXRF Bruker S2 Puma™⁶.

4.2.4 Microscopio electrónico de Barrido - Espectrómetro de Energía Dispersiva de Rayos X

Permite dos tipos de análisis, mediante el detector de electrones secundarios brinda información acerca de la topografía de la muestra, permitiendo identificar micro-trazos, textura, forma y tamaño de granos o capas en la muestra; mediante el detector de electrones retrodispersados se obtiene información de la composición elemental cualitativa y cuantitativa. Los resultados son imágenes a blanco y negro, ya sea de la topografía con gran profundidad de campo, o de los mapas elementales. Se requiere que la muestra, preferiblemente pulida, sea recubierta con un material conductor, este recubrimiento es muy delgado y puede ser removido mediante pulido de la muestra.

Se empleó un equipo de microscopía electrónica de barrido (SEM) Carl Zeiss EVO MA 10. Las observaciones fueron realizadas a alto vacío (3 bar), con voltajes, aumentos y distancia especificados en las imágenes, empleando un detector de electrones secundarios, SE, de electrones retrodispersados BSD. El análisis composicional se realizó por espectroscopia dispersiva de rayos X (EDS) mediante un detector de deriva de silicio con área nominal de

⁵ https://www.bruker.com/fileadmin/user_upload/1-Products/X-rayDiffraction_ElementalAnalysis/HH-XRF/TRACER/TRACER_5i.jpg

⁶ <https://www.bruker.com/news/pittcon/s2puma.html>

10 mm² SDD de estado sólido Oxford X-act PentaFet Precision con una resolución de 125 eV Be_Pu, acoplado al SEM.

Para realizar análisis químico elemental puntual y mapas elementales de las muestras, se empleó un tiempo de procesamiento de 6 para puntual y 4 para mapas, con un mínimo de cuentas de 2,5 millones, y tiempo muerto entre 20-30%.

Las pruebas fueron realizadas por James Rosero, en el Laboratorio de Biomateriales, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. La adquisición, el análisis y reporte de los espectros fueron obtenidos con el software INCA suite versión 5.05.



Figura 4-23: SEM Carl Zeiss EVO MA 10 - EDS Oxford X-act PentaFet® Precision.

4.2.5 Espectroscopia Raman Confocal

Permite la identificación de moléculas de un material orgánico o inorgánico, determinando la composición química de una muestra; esta técnica ha sido ampliamente empleada para la identificación de pigmentos. Al equipo de Raman (ER) se puede acoplar un microscopio confocal para focalizar un punto microscópico de una muestra, permitiendo analizar las diferentes capas de una estratigrafía; para ello se recomienda que la muestra se encuentre en un mismo plano para su análisis.

Se empleó un microscopio Raman Horiba LabRam HR Evolution, usando láser de 532 nm y 785 nm. con un microscopio Olympus BX 41 acoplado, tiempo de adquisición de 4s, acumulación de cuentas de 2, potencia de 30 mW, rejilla de 1800 y 600, y filtro potencia.

Antes de iniciar con las pruebas se procedió al encendido del equipo y activación del láser durante al menos 30 minutos para su estabilización. Las imágenes generales de las muestras fueron tomadas en 5x y 10x, las medidas fueron tomadas en 50X, con spot size de 1.18 μm .

Pruebas realizadas por James Rosero Laboratorio de Biomateriales de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. El procesamiento de datos se realizó empleando el software Origin, mediante el cual se hizo la corrección de línea base y suavizado.



Figura 4-24: Microscopio Raman Confocal Horiba LabRam HR Evolution.

4.2.6 Difracción de rayos de X

Permite identificar las fases minerales presentes en una muestra cristalina; brinda información cualitativa, cuantitativa y cristalográfica de los compuestos presentes en la muestra. Los difractómetros más comunes son los del método de muestra de polvo policristalino, en el cual la muestra es macerada hasta lograr un fino polvo, permitiendo que los cristales presenten todas las orientaciones posibles facilitando que se dé la difracción de los rayos.

Para la caracterización de la composición mineralógica, las muestras en polvo fueron colocadas una por una sobre un spinner a 8s de revolución. Se empleó el equipo PANalytical Xpert Pro MPD con una fuente de cobre Ka a potencia de 45kV y 40 mA. Los parámetros de barrido fueron recolectados a 2θ angular de rango 10° a 75° con paso de 0,013 y a una velocidad de 0,057 s de escaneo.

Las pruebas fueron realizadas por Juan José Toro y Edgar Mauricio Álvarez, en el Laboratorio de Tribología, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Los datos fueron procesados con el software X'pert High Score para generar los reportes.



Figura 4-25: Difractómetro PANalytical Xpert Pro MPD.

4.2.7 Espectroscopia Infrarrojo – Transformada de Fourier FT-IR ATR

Permite identificar grupos funcionales, especialmente de moléculas orgánicas de muestras sólidas, líquidas o gaseosas, cada molécula tiene su espectro IR, considerado como una “huella digital”. Existen cuatro tipos principales de muestreo en FTIR: transmisión, reflectancia total atenuada (ATR), reflexión especular y reflectancia difusa (DRIFT), la más común es la de transmisión para la cual se requiere la pulverización y preparación en pastilla de KBr u otros haluros alcalinos; sin embargo, ATR se ha convertido en una opción popular debido a que es una técnica no invasiva, es decir, no requiere preparación de la muestra.

Se empleó un equipo Perkin Elmer Spectrum Two, con sensor de helio. La muestra requerida debía ser en estado sólida, con una cantidad mínima de 100 g. El procedimiento consistió en: el escaneo de ruido, luego se procedió a tomar el espectro del background (fondo), la muestra fue colocada sobre la superficie y presionada para evitar presencia de

aire durante la medición, luego se procedió a la medición estandarizada a cuatro haces de luz, la cual mide en promedio cuatro veces.

Pruebas realizadas por el estudiante Santiago Gallego, del Laboratorio de Química Experimental de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín.

El espectro fue procesado usando el software gratuito de espectroscopia óptica Spectragryph. Los análisis de resultados realizados con la ayuda de Ana Margarida Andrade.

4.2.8 Pirolisis con Cromatografía de gases - espectrometría de masas Py-GC/MS

Se empleó un sistema con un pirolizador de doble trampa Frontier Lab PY-3030D. La interfaz se mantuvo a una temperatura de 280 °C. El pirolizador se encontraba acoplado a un equipo de cromatografía de gases Shimadzu GC2010, también acoplado a un espectrómetro de masas Shimadzu GCMS-QP2010 Plus.

Una columna capilar Phenomenex Zebron-ZB-5HT (30-m de largo, 0.25-mm de diámetro interno, 0.50- μ m de grosor de película) fue usada para la separación, con helio como gas portador, ajustado a una tasa de flujo de 1.5 ml min⁻¹. El inyector (Split-injector) operó a una temperatura de 250 °C.

El programa de temperatura de GC fue: 35 °C durante 1 min, seguido por una de rampas de temperatura: hasta 110 °C a 60 °C min⁻¹, hasta 240 °C a 14 °C min⁻¹, un máximo de 280 °C a 6 °C min⁻¹, hasta 320 °C at 30 °C min⁻¹, y entonces un periodo isotérmico de 6 minutos. La fuente de temperatura fue colocada a 240 °C, y la interfaz de temperatura fue mantenida a 280 °C. El espectrómetro de masas fue programado para adquirir datos entre 40 y 1090 m/z.

La identificación de compuestos fue realizada usando el software AMDIS integrado con la base de datos NIST-Wiley. Las pruebas fueron realizadas por la estudiante de doctorado Ana Fundulich, los datos fueron procesados por la investigadora Dra. Ana Manhita, análisis de datos por la profesora Dra. Cristina Dias, en el Laboratorio Hércules, Universidad de Évora.

4.3 Resultados y análisis de resultados

4.3.1 Sustrato rocoso

De acuerdo con la información obtenida de fuentes bibliográficas, se conoce que el suelo rocoso en el que fueron labrados los hipogeos, y soportan las pinturas murales, se trata de toba volcánica. Su caracterización elemental y mineralógica se realizó con dos objetivos, el de clasificar este material a mayor profundidad, y hacer posible diferenciar su composición de las demás capas en la estratigrafía (preparación y pictóricas).

En el espectro Raman de la *Muestra C0 roca* se compara con espectro patrón de calcita-ortoclasa, minerales comúnmente encontrados en la composición de tobas volcánicas. Las bandas principales coinciden en 282 cm^{-1} , 480 cm^{-1} , 513 cm^{-1} , 711 cm^{-1} , y 1085 cm^{-1} .

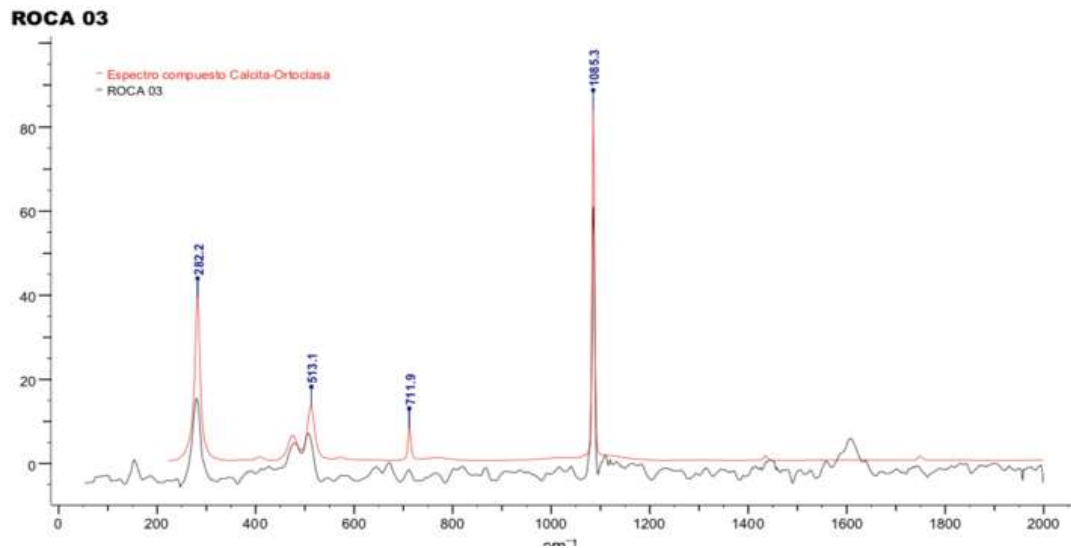


Figura 4-26: Comparación con calcita Ortoclasa.

A continuación, se encuentra el espectro y las tablas de composición elemental de la muestra de roca obtenidas empleando hXRF y EDXRF. Los elementos identificados y sus respectivas líneas fueron los siguientes: Si (57%), Al (17%), Fe (6%), Ca (5%), Na (4%) Mg (3%), K (1%), los cuales corresponden a aquellos normalmente presentes de acuerdo con la composición general en rocas volcánicas como las tobas.

Tabla 4-2: Resultados hXRF.

Al K12	Ba K12	Ba L1	Ca K12	Cr K12	Cu K12	Fe K12	Ga K12
5443	338	5506	183865	1113	19550	1207229	2139
K K12	Mn K12	Ni K12	Pd K12	Pd L1	Si K12	Ti K12	Zn K12
89124	22071	49329	30481	65222	75175	40633	2955

Tabla 4-3: Resultados de EDXRF.

Z	Fórmula	Nombre de línea	Concentración	Stat Error
11	Na2O	Na KA1	4,67%	± 0,0600
12	MgO	Mg KA1	3,22%	± 0,0300
13	Al2O3	Al KA1	17,50%	± 0,0361
14	SiO2	Si KA1	57,30%	± 0,0371
15	P2O5	P KA1	0,29%	± 0,00382
19	K2O	K KA1	1,58%	± 0,0408
20	CaO	Ca KA1	5,55%	± 0,0333
22	TiO2	Ti KA1	0,79%	± 0,0115
26	Fe2O3	Fe KA1	5,98%	± 0,00870
25	Mn	Mn KA1	0,14%	± 30,0

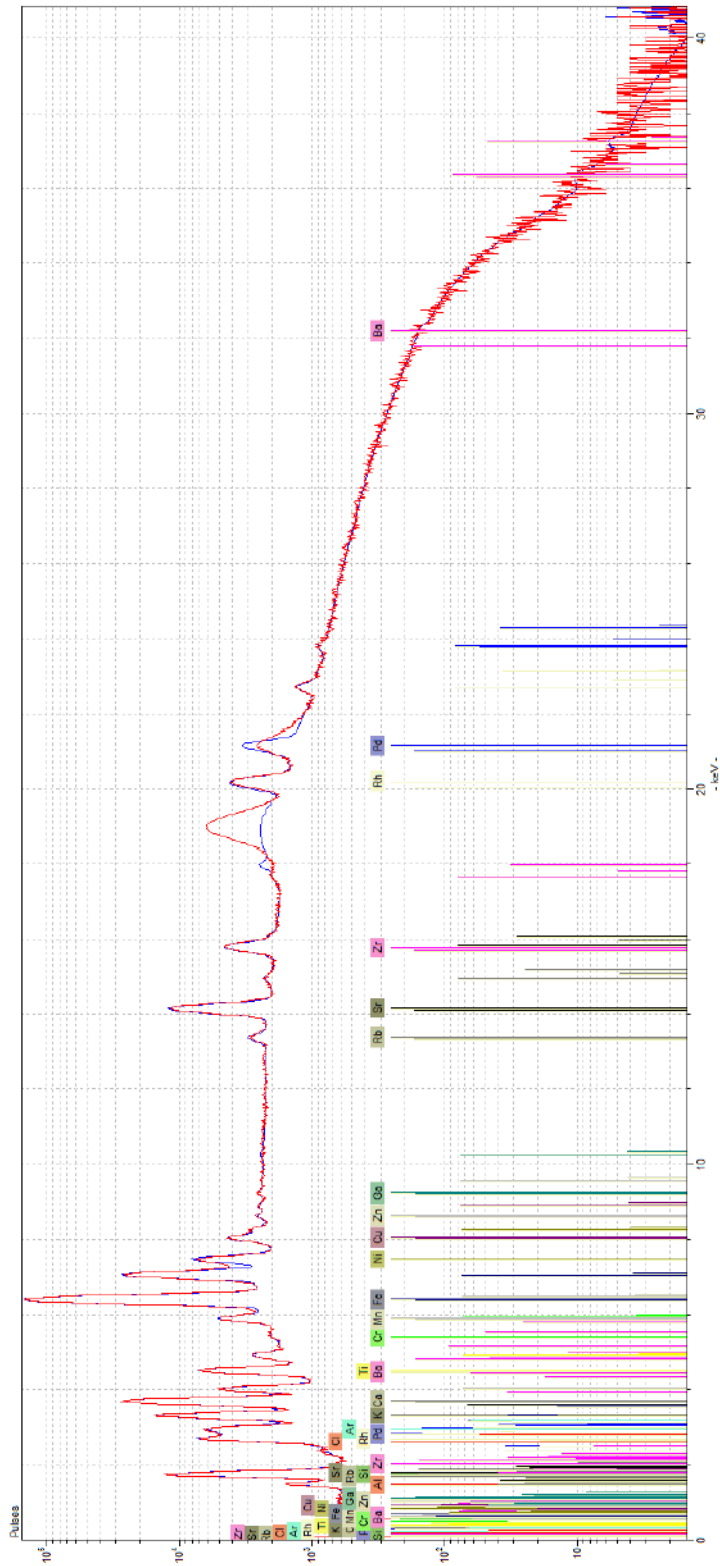


Figura 4-27: Espectro hXRF. Muestra AR-44 C0.

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA – HIPOGEO AR-44 MUESTRA C0

Elaborada por Dra. Natalia Acevedo Gómez.

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Roca ígnea volcanoclástica de color gris claro a verde, con textura piroclástica, constituida por fenocristales de feldespato, anfíbol, biotita y fragmentos de rocas máficas, con tamaños menores a 1 mm, inmersos en una matriz afanítica.

La roca presenta reacción negativa a la acción del HCl.

La roca presenta una porosidad promedio del 15%. La muestra estudiada puede fragmentarse fácilmente, debido al alto grado de porosidad que presenta, permitiendo mayor grado de alteración en la composición de sus materiales.



Fotografía 1. AR-44. Roca ígnea volcanoclástica.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Textura: porfídica inequigranular, definida por fenocristales de plagioclasa, hornblenda, piroxeno, biotita, cuarzo y fragmentos líticos de composición ígnea y metamórfica.

Otras texturas secundarias: glomerofídica

Cristalinidad: hipocristalina. La relación es fenocristales de 40% y matriz de 60%.

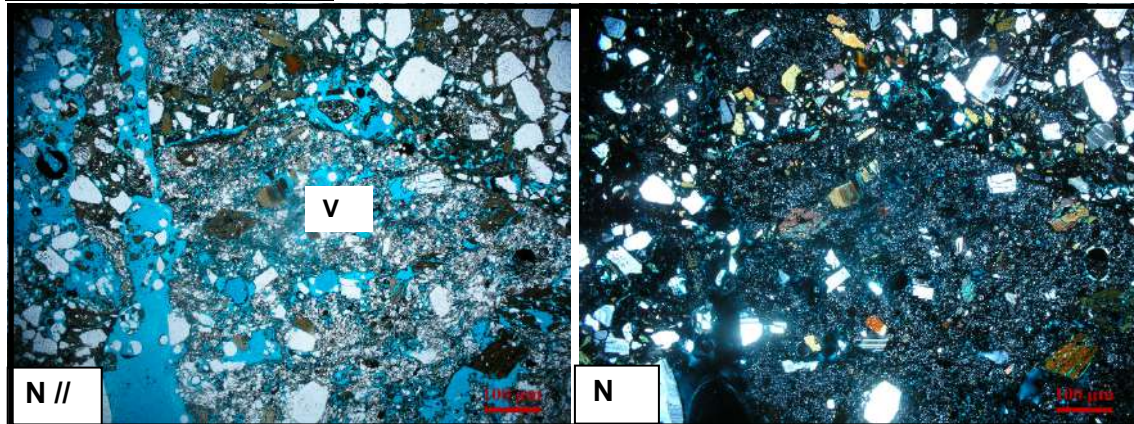
Porosidad: 15 a 20 % aproximadamente.

Composición mineralógica:

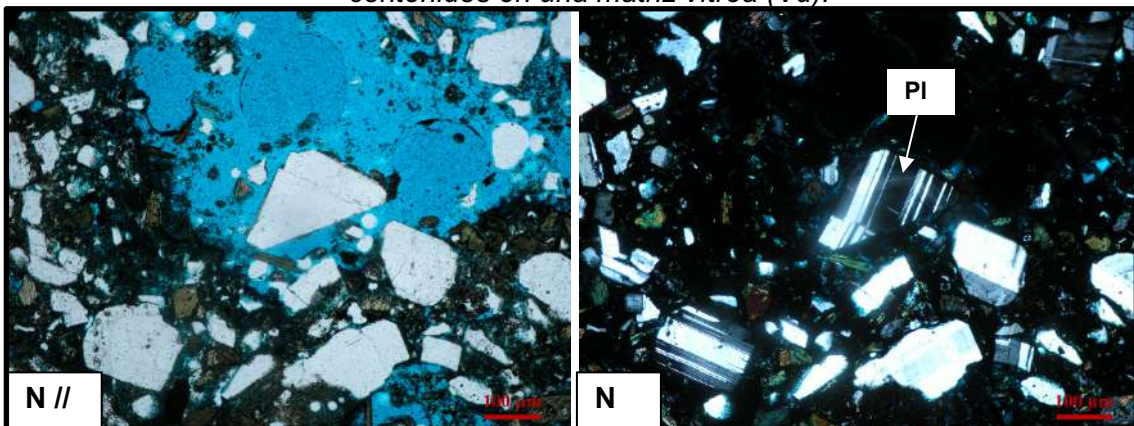
MINERALES PRINCIPALES	%	DESCRIPCIÓN
		Cristales con formas euhedrales a subhedrales, con tamaños aproximados de 0.5 mm, y como microfenocristales desde 50 μm a 200 μm) como constituyente de la matriz.
Plagioclasa	17	La plagioclasa presenta lamelas de exolución y maclas polisintéticas. Presenta una alteración parcial a sericita. Composición de albita según el método de Michel-Levy
Hornblenda	10	Cristales de color verde con formas euhedrales a subhedrales, con tamaños aproximados de 0.5 mm, y como microfenocristales de 100 μm a 200 μm . Los cristales exhiben formas tabulares y romboédricas.
Piroxeno	4	Cristales de color amarillo con formas euhedrales a subhedrales, con tamaños aproximados entre 100 y 200 μm .
MINERALES ACCESORIOS		DESCRIPCIÓN
Biotita	2	Cristales de color marrón con formas euhedrales a subhedrales, con tamaños de 0.2 mm a 0.5 mm.
Cuarzo	2	Cristales subredondeados a subangulares, con tamaños entre 0.1 a 1 mm. Se encuentra como cristal y como componente de los fragmentos líticos.
LÍTICOS		DESCRIPCIÓN
Ígneos	5	Presenta formas angulosas a subangulosas, con tamaños de hasta 2 mm, que corresponden a fragmentos ígneos volcánicos de composición intermedia (posiblemente andesita) y fragmentos metamórficos.
VIDRIO VOLCÁNICO		DESCRIPCIÓN
Como matriz	60	Matriz vítrea

Clasificación composicional según Schmid (1981): Toba Vítrea.

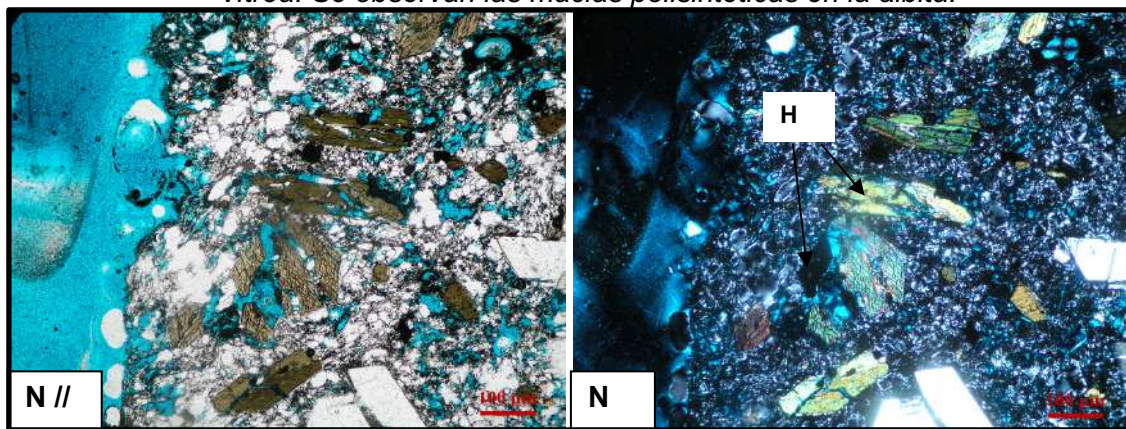
Clasificación granulométrica según Schmid (1981): Toba de lapilli.

ANEXO FOTOGRÁFICO

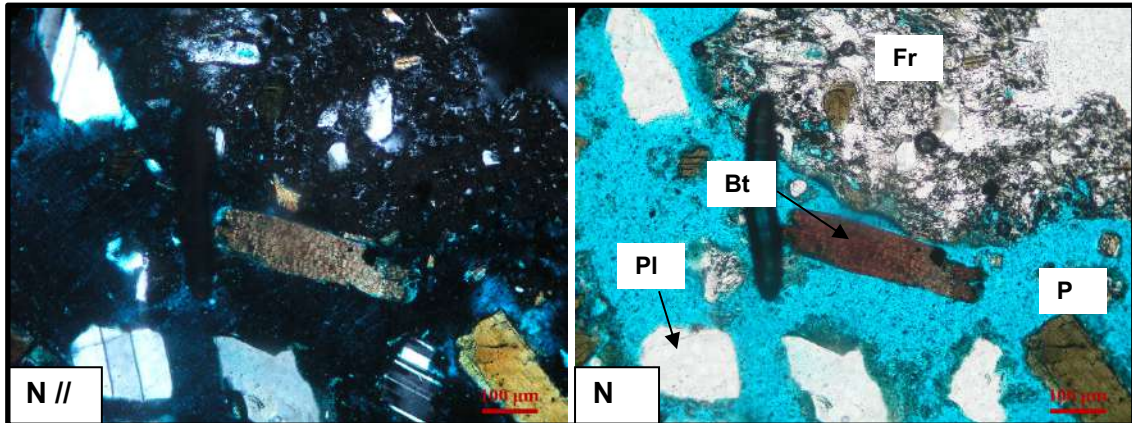
Fotografía 2. AR-44. Toba Vítreo con textura porfídica inequigranular. Aumento 1.25X. Nícoles paralelos (N//) y nícoles cruzados (N/). Cristales euhedrales a subhedrales contenidos en una matriz vítrea (Vd).



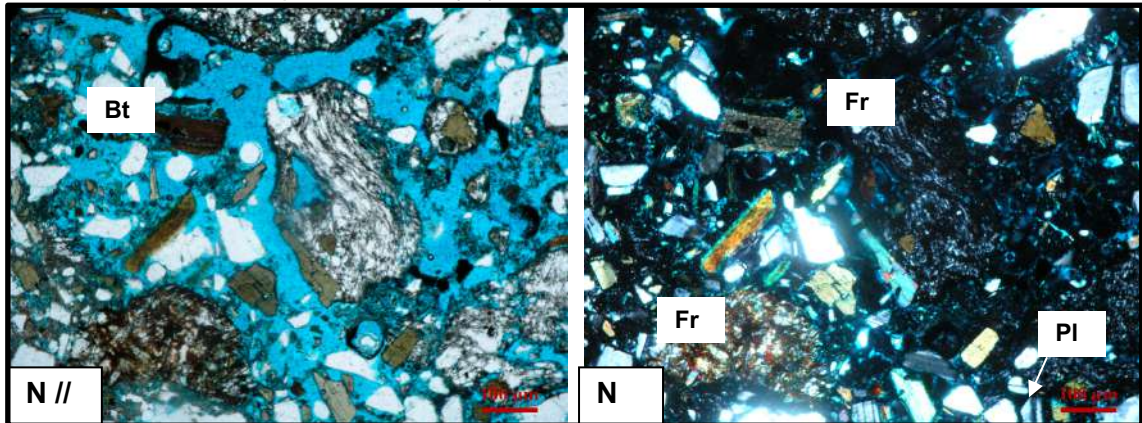
Fotografía 3. AR-44. Toba vítrea. Aumento 4X. Nícoles paralelos (N//) y nícoles cruzados (N/). Cristales euhedrales a subhedrales de plagioclasa (PI), contenidos en una matriz vítrea. Se observan las maclas polisintéticas en la albita.



Fotografía 4. AR-44. Toba vítrea. Aumento 4X. Nícoles paralelos (N//) y nícoles cruzados (N/). Cristales euhedrales a subhedrales de hornblenda (Hb), contenidos en una matriz vítrea.



Fotografía 5. AR-44. Toba vítrea. Aumento 4X. Nicoles paralelos (N//) y nicoles cruzados (N/). Cristales euhedrales a subhedrales de biotita (Bt), plagioclasa (Pl), piroxeno (Px) y fragmento lítico (Fr), contenidos en una matriz vítrea.



Fotografía 6. AR-44. Toba vítrea. Aumento 4X. Nicoles paralelos (N//) y nicoles cruzados (N/). Cristales euhedrales a subhedrales de biotita (Bt), plagioclasa (Pl), hornblenda (Hb) y fragmentos líticos (Fr), contenidos en una matriz vítrea.

4.3.2 Estratigrafía

A continuación, se presentan las imágenes de los cortes estratigráficos con OM a 5X y SEM-BSD a los aumentos indicados, empleados para la identificación de los estratos presentes y la composición elemental de las capas pictóricas, obtenida mediante SEM-EDS.

Capas pictóricas negras (C1)

IMÁGENES

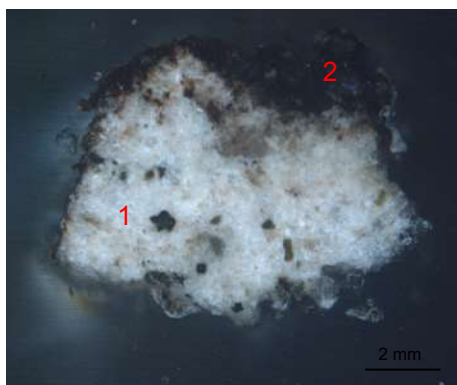


Figura 4-28: OM

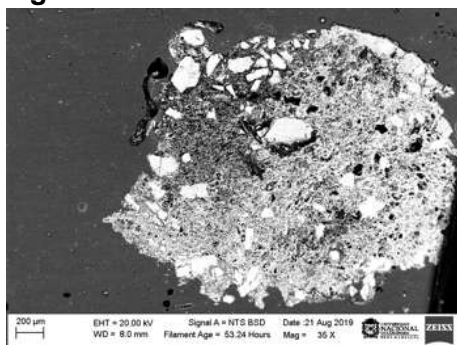


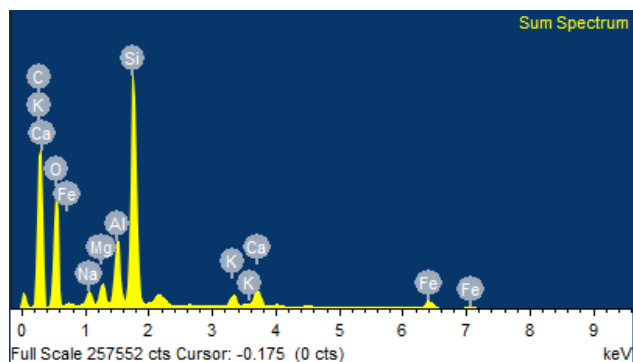
Figura 4-29: BSD

RESULTADOS

A-0 1 C1 negro

2. Capa pictórica negra.
Composición elemental: C (52%), O (32%), Si (8%), Al (2%), Fe (1%), Ca (1%).

1. Soporte de toba volcánica.



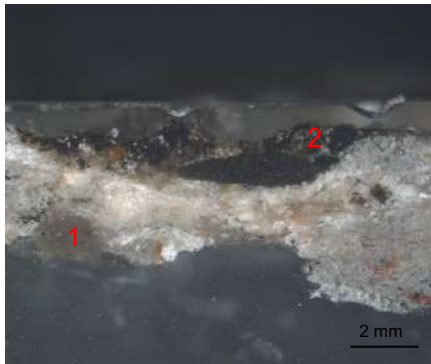


Figura 4-30: OM

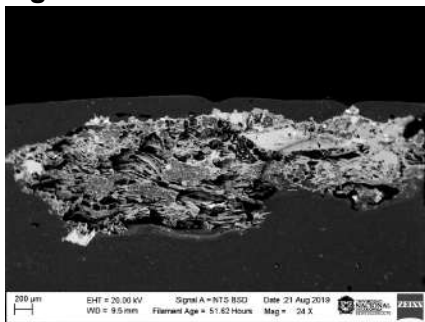


Figura 4-31: BSD

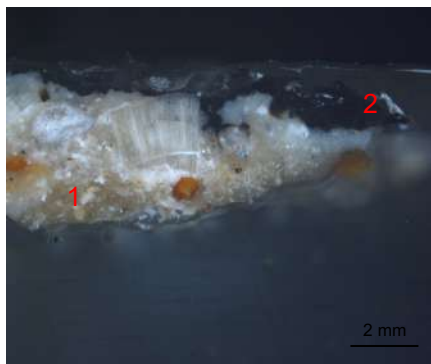


Figura 4-32: OM

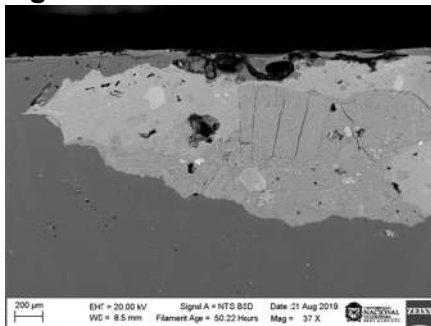


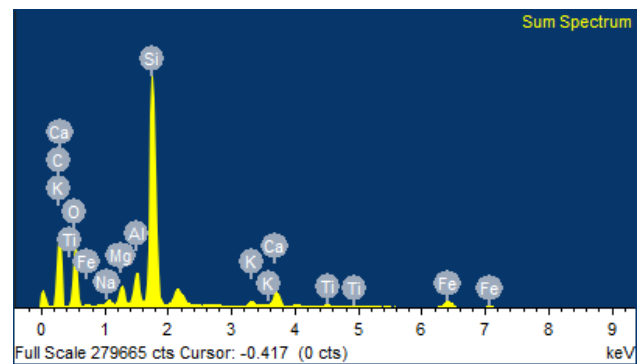
Figura 4-33: BSD

AR-38 C1 negro

2. Capa pictórica negra.

Composición elemental EDS: C (47%), O (31%), Si (13%), Fe (2%), Al (2%), Ca (1%), Mg (1%).

1. Soporte de toba volcánica.

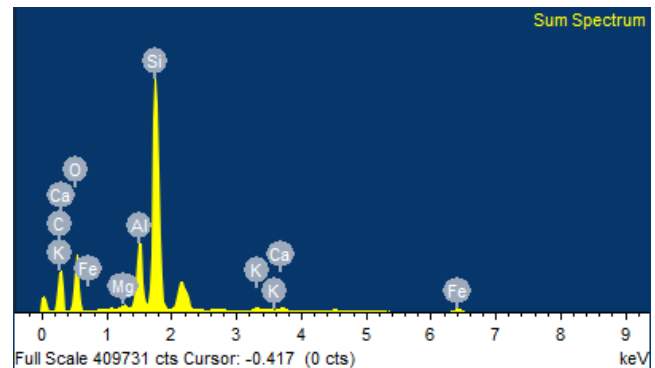
**AR-44 C1 negro**

3. Capa pictórica negra.

Composición elemental EDS: C (44%) O (32%), Si (17%), Al (4%), Fe (1%).

2. Capa de preparación.

1. Soporte de toba volcánica.



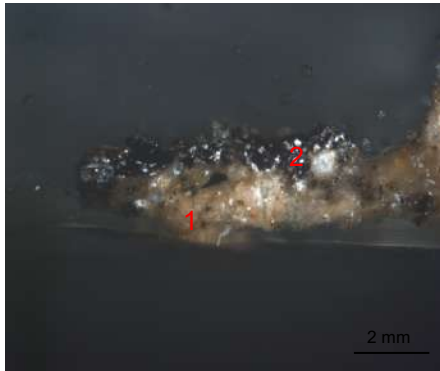


Figura 4-34: OM

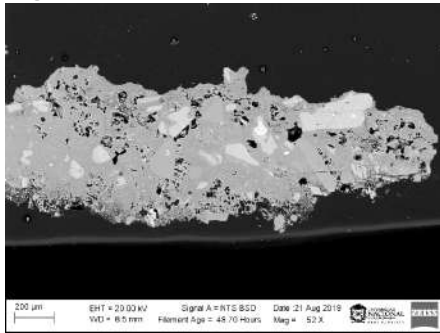


Figura 4-35: BSD

- Capas pictóricas rojas (C2)

IMAGENES

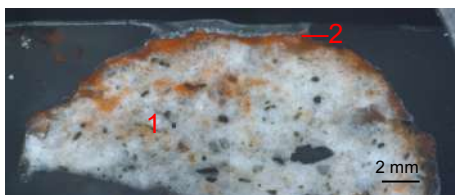


Figura 4-36: OM.

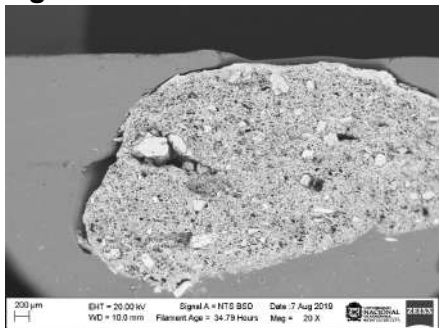


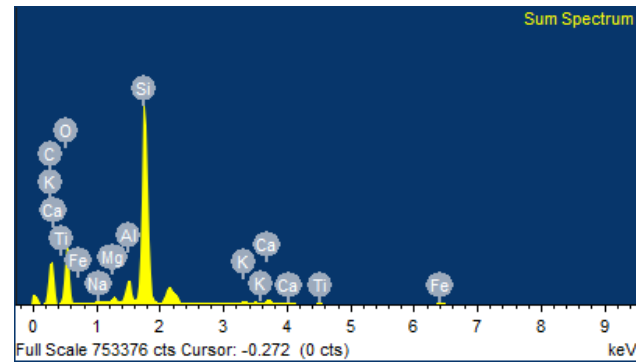
Figura 4-37: SEM BSD

AR-50 C1 negro

2. Capa pictórica negra.

Composición elemental EDS: C (43%), O (36%), Si (16%), Al (1%).

1. Soporte de toba volcánica.



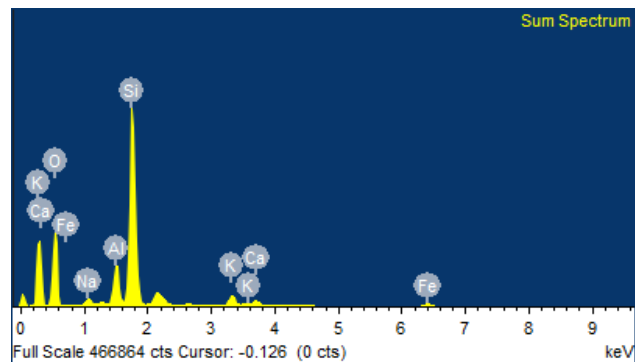
RESULTADOS

A-0 P2 rojo

2. Capa pictórica negra.

Composición elemental: O (51%), Si (34%), Al (6%), Fe (2%), Na (1%), Ca (1%).

1. Soporte de toba volcánica.



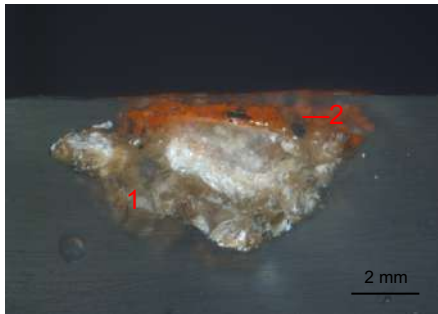


Figura 4-38: OM.

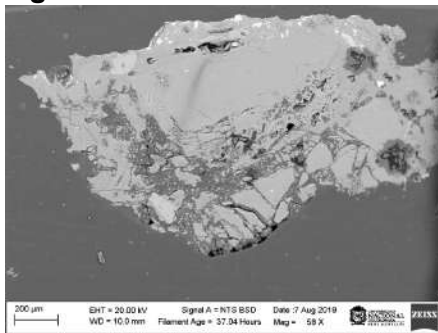


Figura 4-39: SEM BSD

AR-38 C2 rojo

2. Capa pictórica roja.

Composición elemental O (42%), Si (27%), C (14%), Fe (6%), Al (4%), Ca (1%), Na (1%).

1. Soporte de toba volcánica.

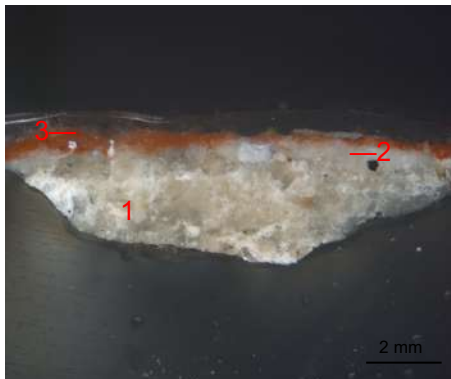
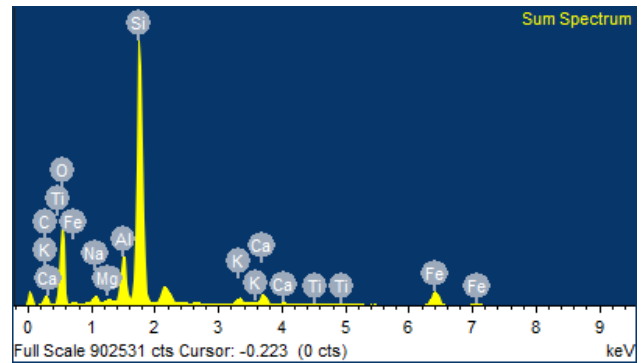


Figura 4-40: OM.

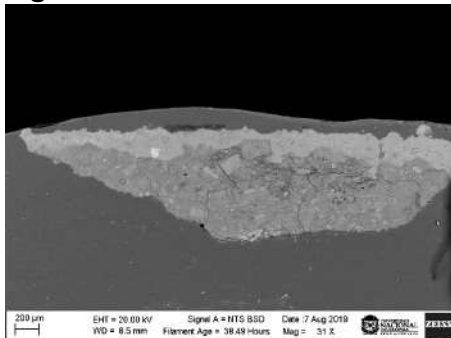


Figura 4-41: BSD.

AR-44 C2 rojo

3. Capa pictórica roja.

Composición elemental EDS: O (47%), Si (41%), Al (8%), Fe (2%).

2. Capa de preparación.

1. Soporte de toba volcánica.

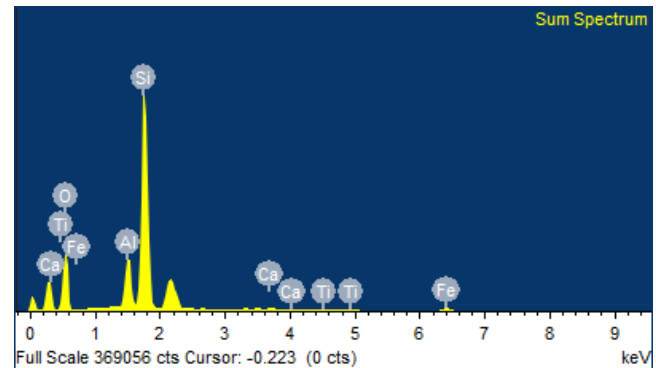




Figura 4-42: OM.

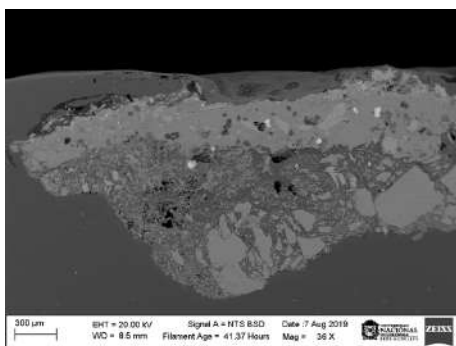


Figura 4-43: BSD.

AR-50 C2 rojo

2. Capa pictórica roja.

Composición elemental EDS: Si (42%), O (37%), Fe (7%), Al (5%), Ca (3%), Mg (2%), K (2%), Mg (1%), Na, (1%).

1. Soporte de toba volcánica.

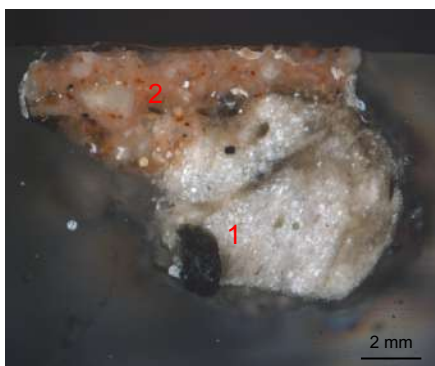
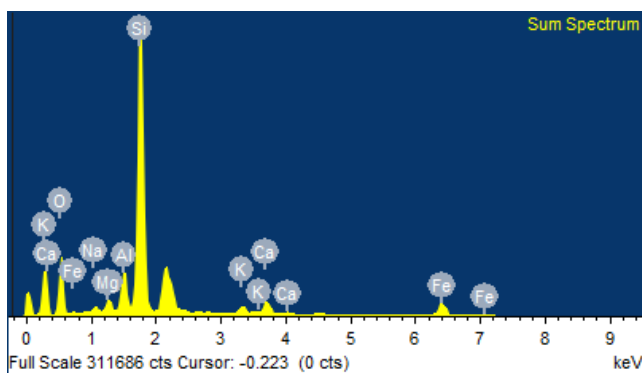


Figura 4-44: OM.

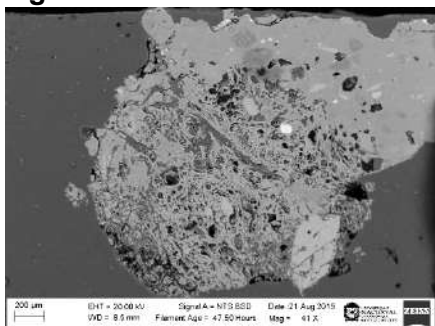


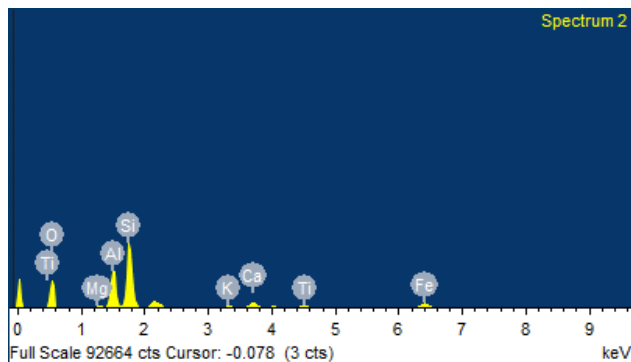
Figura 4-45: BSD.

AR-38 P4 rojo claro

2. Capa pictórica rojo claro.

Composición elemental EDS: O (45%), Si (27%), Al (13%), Fe (7%), C (3%), Ca (2%).

1. Soporte de toba volcánica.



- Capas pictóricas blancas (C3)

IMÁGENES

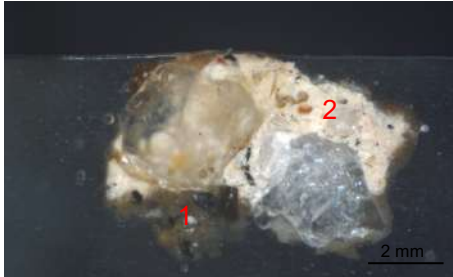


Figura 4-46: OM.

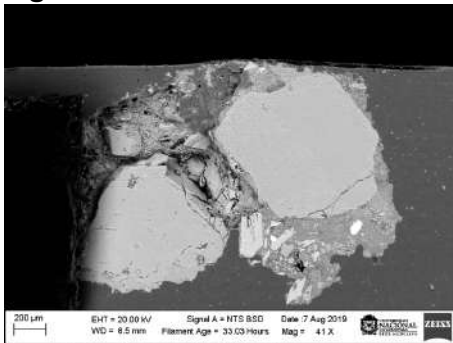


Figura 4-47: BSD.



Figura 4-48: OM.

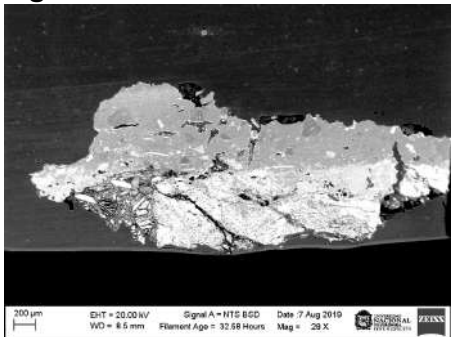


Figura 4-49: BSD.

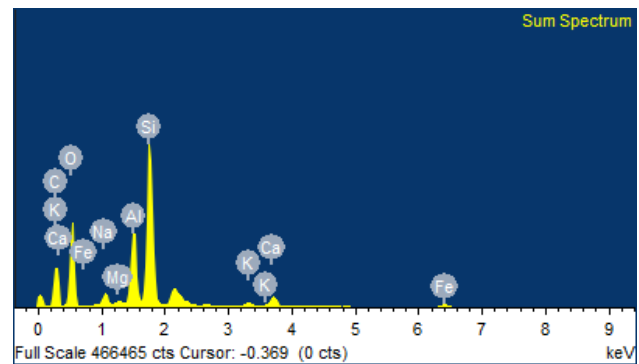
RESULTADOS

A-0 P3 blanco

2. Capa pictórica blanca.

Composición elemental EDS: O (40%), C (38%), Si (12%), Al (5%), Ca (1%), Na (1%) Fe (1%).

1. Soporte de toba volcánica.

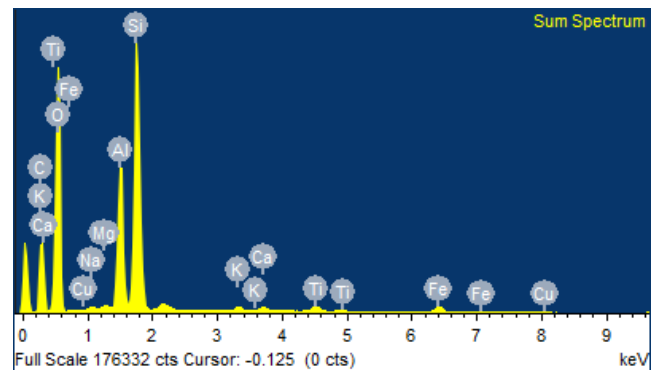


AR-38 P3 blanco

2. Capa pictórica blanca.

Composición elemental EDS: O (51%), C (29%), Si (11%), Al (5%), Fe (1%).

1. Soporte de toba volcánica.



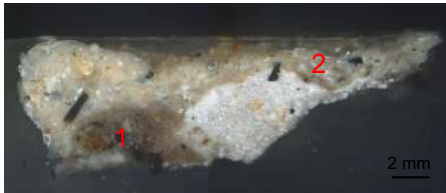


Figura 4-50: OM.

AR-50 P3 blanco/amarillo

2. Capa pictórica blanca.

Composición elemental EDS: O (48%), Si (29%), Al (8%), C (9%), Fe (2%), Mg (1%).

1. Soporte de toba volcánica.

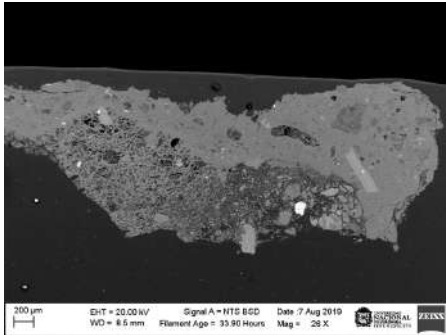


Figura 4-51: BSD.

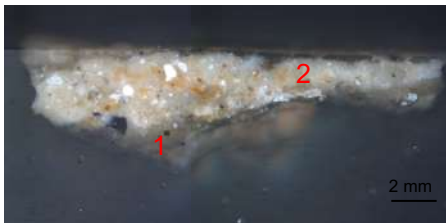
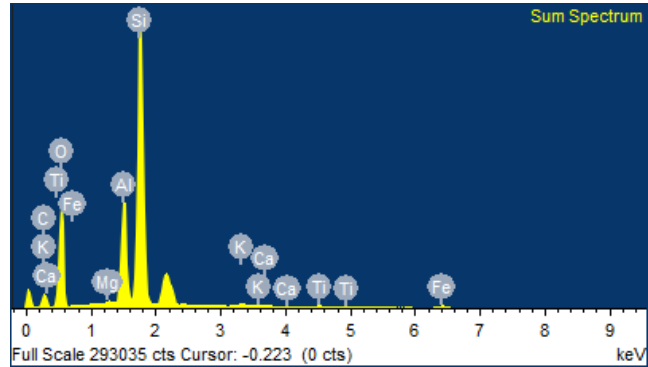


Figura 4-52: OM

AR-44 PA1 blanco

2. Capa de preparación blanca.

Composición elemental EDS: O (40%), Si (25%), Al (19%), C (12%), Fe (1%).

1. Soporte de toba volcánica.

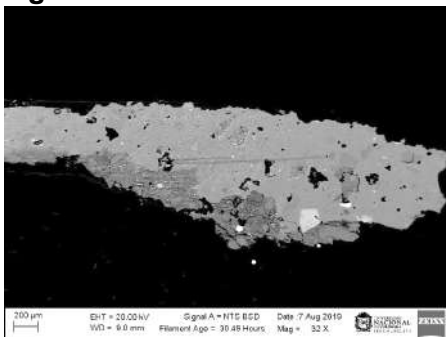
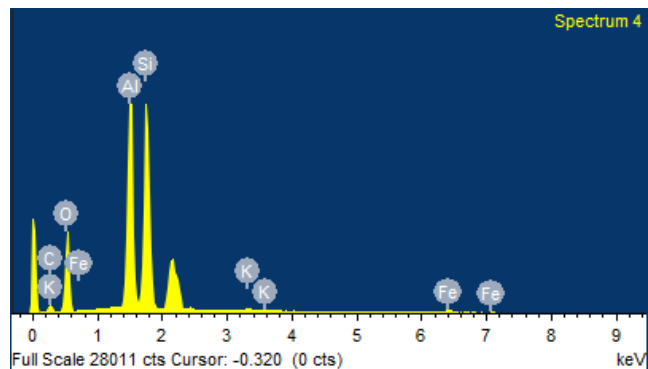


Figura 4-53: SEM BSD



Algunas muestras presentan una estratigrafía mas compleja con superposición de capas, tal es el caso de las muestras AR-50 C2 rojo sobre negro, donde se observa la presencia de una delgada capa negra debajo de una la capa pictórica roja, lo cual también se evidencia a nivel macroscópico. Por otra parte, en todas las muestras tomadas del hipogeo AR-44 se evidencia la presencia de una capa de acabado translucida, una capa pictórica roja y una capa negra superpuesta en la muestra AR-44 C1 negro sobre rojo.

IMAGENES



Figura 4-54: OM.

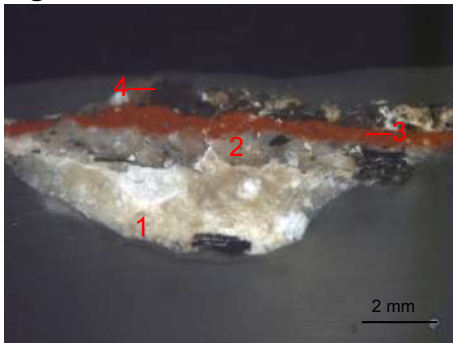


Figura 4-55: OM.

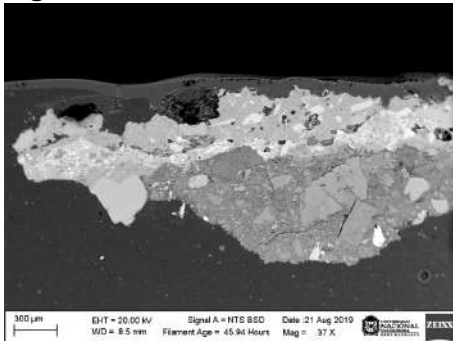


Figura 4-56: SEM BSD.

RESULTADOS

AR-50 C2 rojo sobre negro

3. Capa pictórica roja.
2. Capa pictórica negra.
1. Soporte de toba volcánica.

AR-44 C1 negro sobre rojo

4. Capa pictórica negra.
3. Capa pictórica roja.
2. Capa de preparación.
1. Soporte de toba volcánica.

4.3.3 Capa de preparación (Hipogeo AR-44)

El Hipogeo AR-44 es la única estructura en el Alto del Aguacate que presenta capa de preparación o acabado, por lo que se tomaron muestras para la identificación de los materiales presentes.

Los espectros de Raman presentados en la *Figura 4-57*, muestran las bandas presentes en capas pictóricas blancas, se puede observar la similitud en los resultados. El espectro de la muestra de capa pictórica, en verde, presenta las bandas 122 cm^{-1} , 239 cm^{-1} , 330 cm^{-1} , 423 cm^{-1} , 467 cm^{-1} , 702 cm^{-1} , 747 cm^{-1} , 787 cm^{-1} , 909 cm^{-1} , 1346 cm^{-1} , 2196 cm^{-1} .

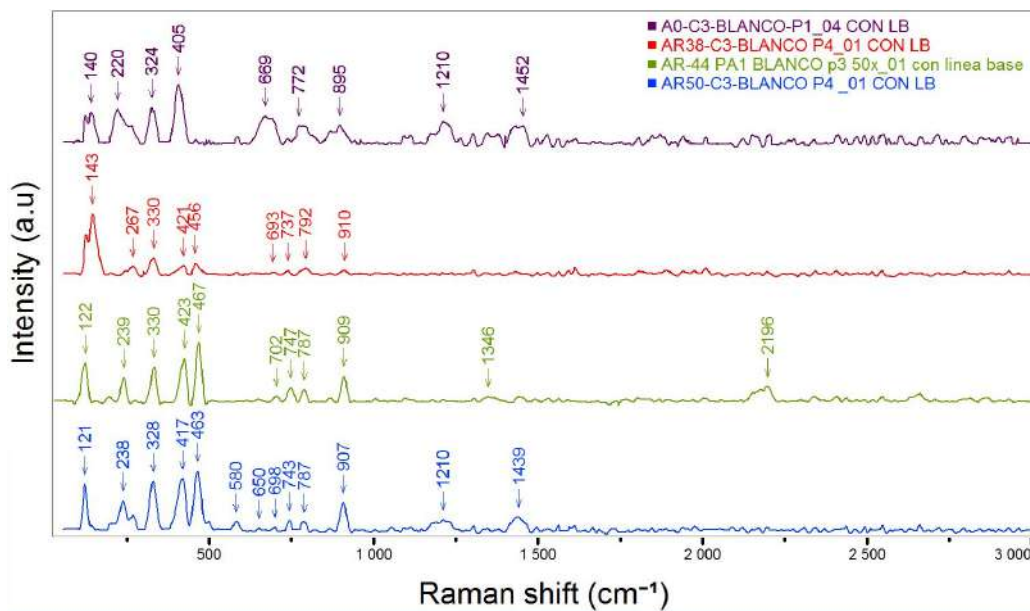


Figura 4-57: Espectros raman, muestras blancas. AR-44 PA1 en verde.

Al contrastar los resultados obtenidos, se identificó que la capa de preparación corresponde a una arcilla tipo caolín. Esta capa tiene un grosor variable debido a la irregularidad del soporte, presenta áreas de mas de 1 mm de grosor. Esto puede compararse y corroborarse con los resultados de XRD, como se puede observar en la *Figura 4-58*, la muestra presenta 54% de caolinita.

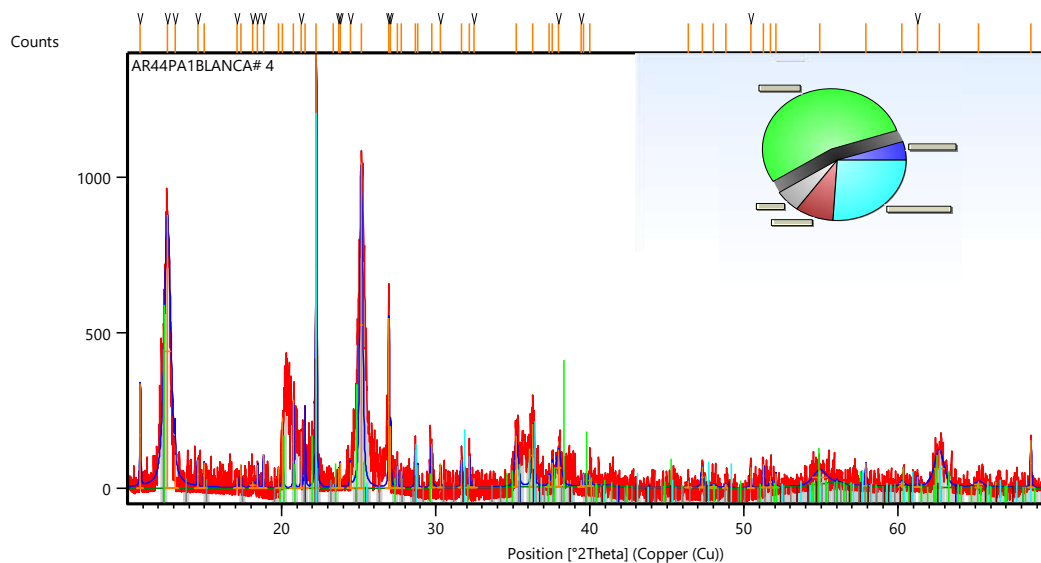


Figura 4-58: Difractograma, muestra AR-44 PA1 blanco.

4.3.4 Capas pictóricas

Negro

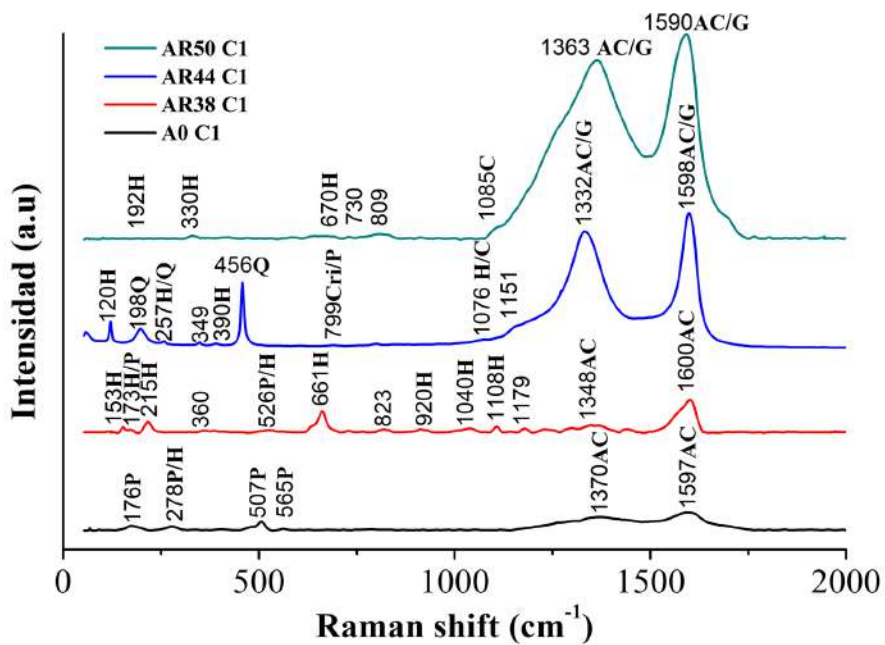


Figura 4-59: Espectros Raman, muestras con capa pictórica negra.

Los espectros Raman de las muestras negras presentan bandas características en 1370 cm^{-1} y 1600 cm^{-1} para carbón amorfo y cristalino. A continuación, se puede observar la comparación del espectro de la muestra AR-44 C1 con el espectro patrón de carbón.

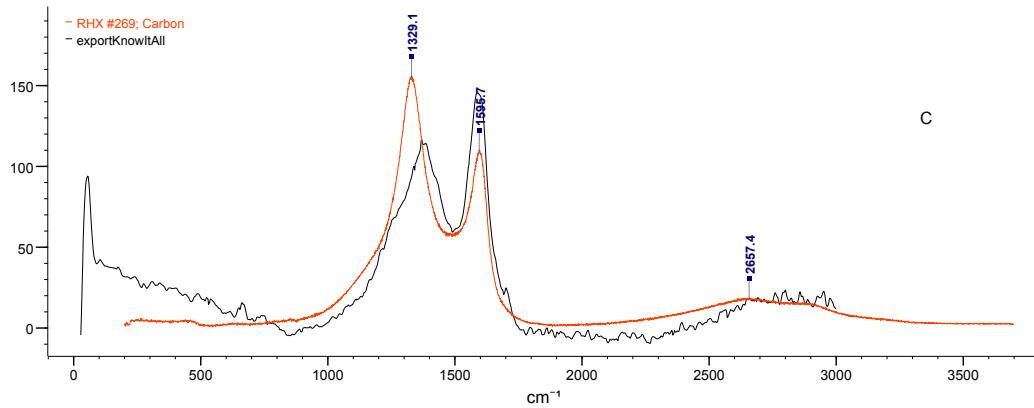


Figura 4-60: Espectro Raman, muestra AR-44 C1 con espectro patrón de Carbón.

Además, se encuentran otras bandas, posiblemente correspondientes a cuarzo en 456 cm^{-1} y hornblendas. De acuerdo con los resultados de XRD, se observa la posible presencia de anorhita, albita, hornblenda y calcita (Figura 4-61), moscovita, anortita, hornblenda, grafito, carbón y cuarzo (Figura 3-62).

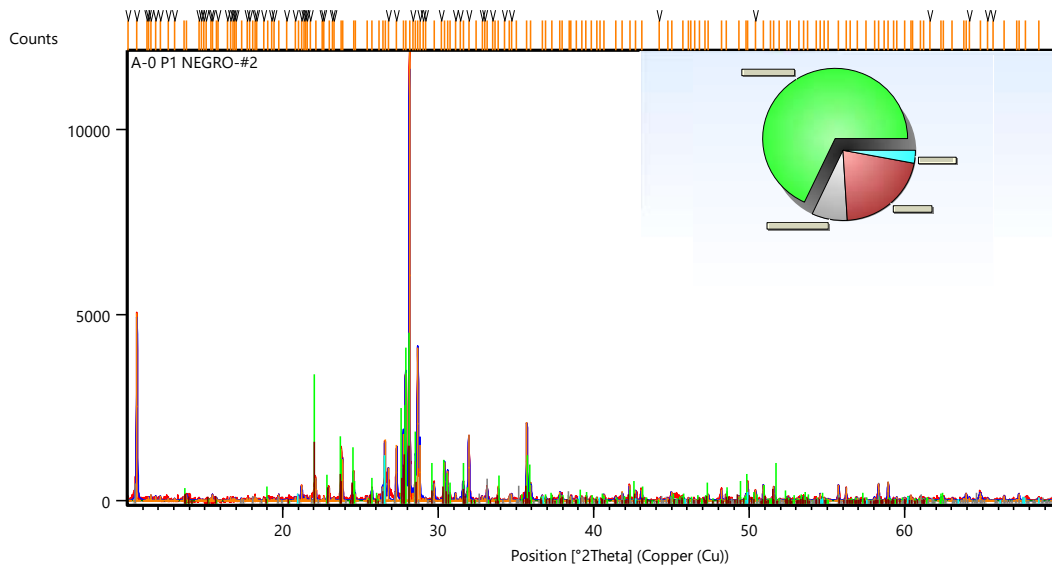


Figura 4-61: Difractograma, muestra A-0 P1 negro.

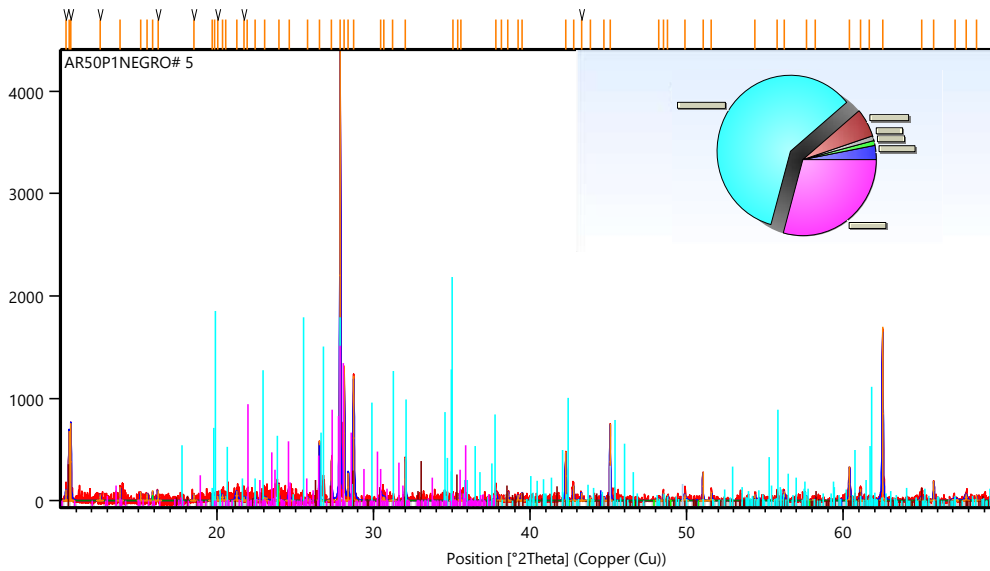


Figura 4-62: Difractograma, muestra AR-50 P1 negro.

Rojo

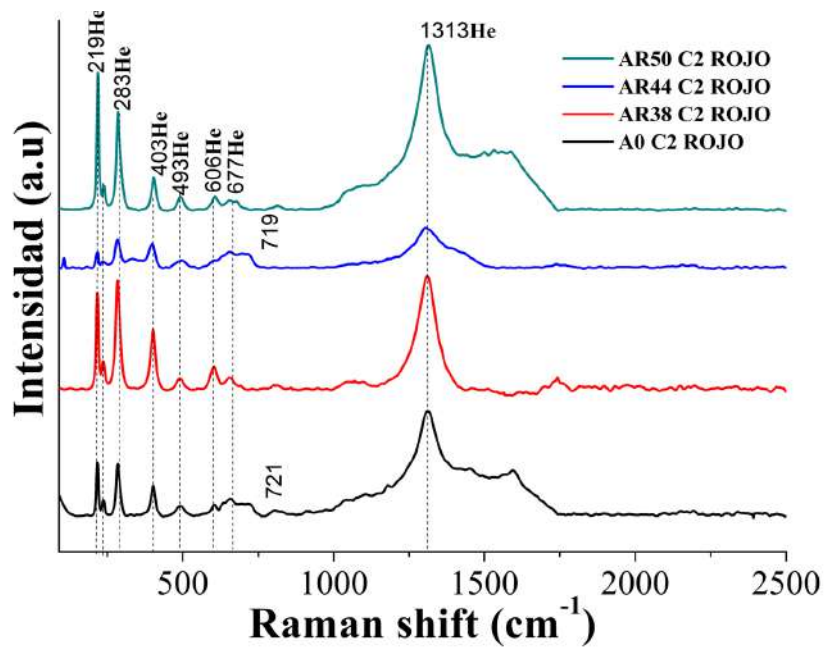


Figura 4-63: Espectros Raman de muestras con capa pictórica roja.

Los espectros Raman de las muestras rojas presentan bandas características en 219 cm^{-1} , 246 cm^{-1} , 294 cm^{-1} , 403 cm^{-1} , 494 cm^{-1} , 606 cm^{-1} y 1313 cm^{-1} , correspondientes a óxido de hierro, hematita. A continuación, se puede observar el espectro de la muestra AR-50 C2 rojo comparada con el espectro patrón de hematita.

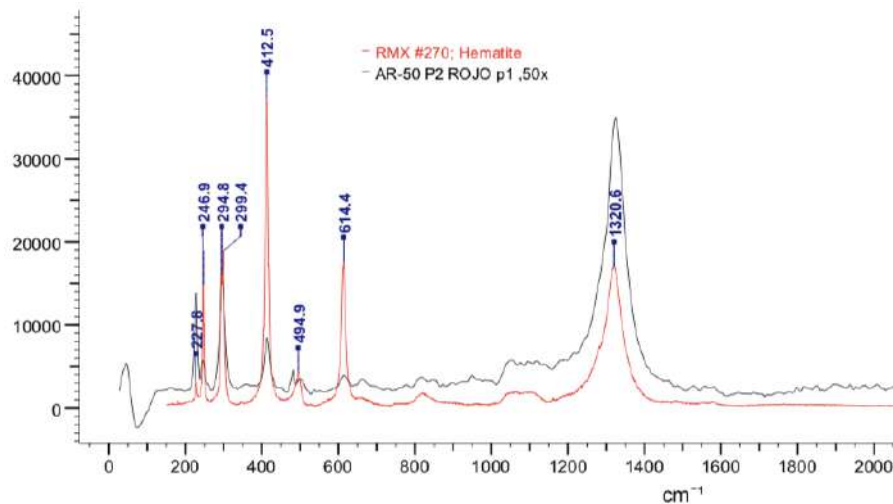


Figura 4-64: Espectro Raman, muestra AR-50 P2 rojo con espectro patrón de hematita.

De acuerdo con los resultados de XRD, se observa la posible presencia de anortita, albita, óxido de silicio y hematita (*Figura 3-65*), hematita, cuarzo y $\text{Al}_4\text{Si}_2\text{Ca}$ (*Figura 4-66*)

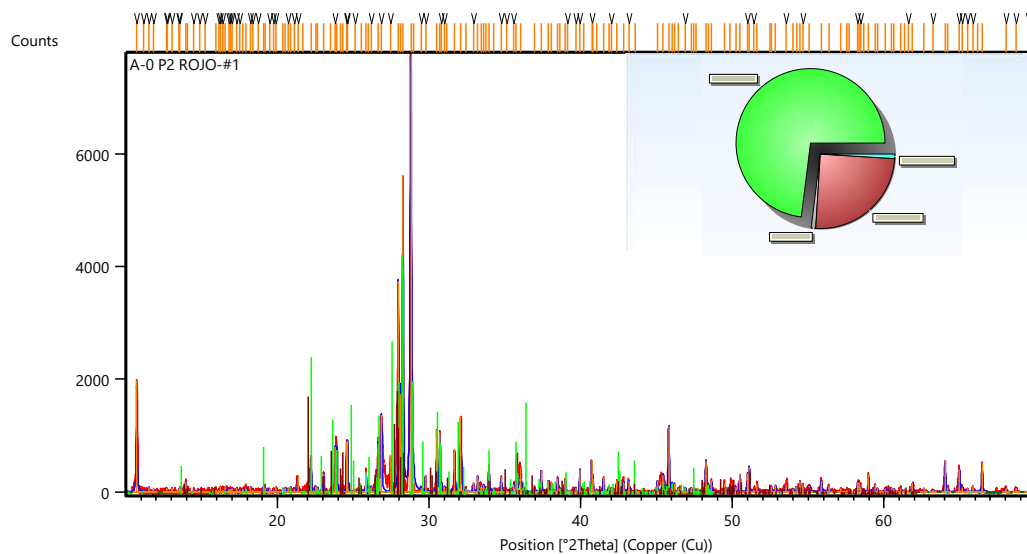


Figura 4-65: Difractograma, muestra A-0 P2 rojo.

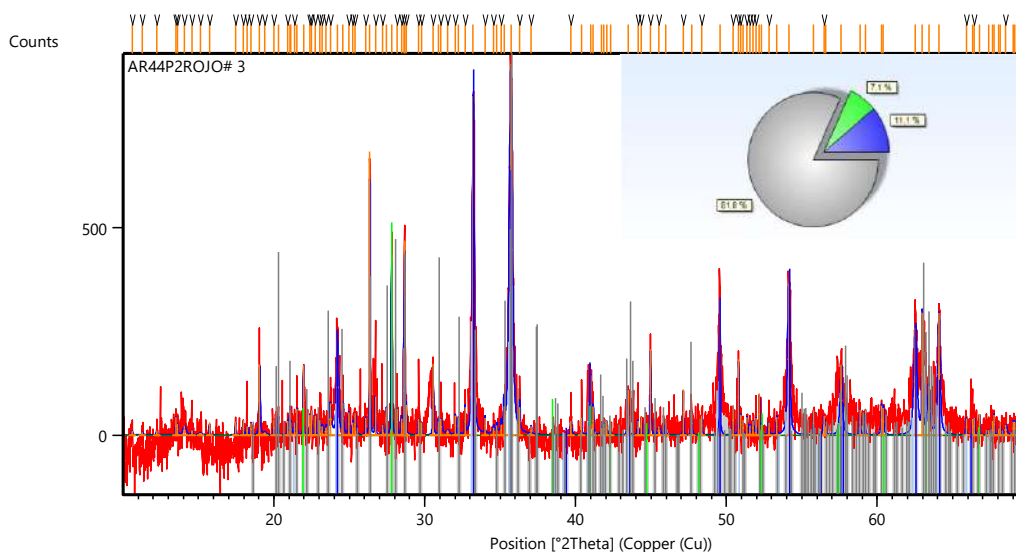


Figura 4-66: Difractograma, muestra AR-44 P2 rojo.

Por otra parte, la muestra AR-38 P2 rojo claro, muestra variaciones, pues al tratarse de un tono claro presenta además de bandas correspondientes a hematita, 217 cm^{-1} , 284 cm^{-1} , 494 cm^{-1} , 1300 cm^{-1} , presenta bandas de caolinita en 330 cm^{-1} y 787 cm^{-1} .

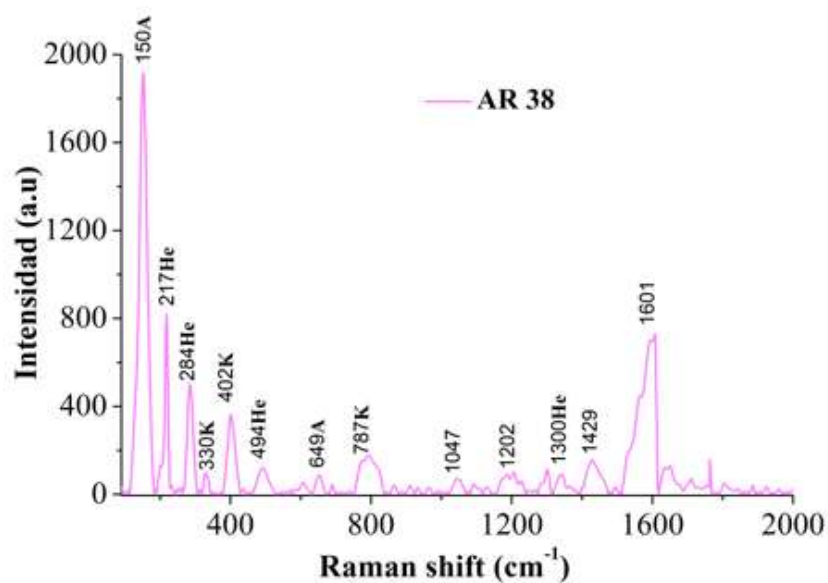


Figura 4-67: Espectro Raman, muestra AR-38 P2 rojo claro

En la *Figura 3-68*, a continuación, se encuentran en rojo el espectro de una muestra estándar de caolinita obtenida usando un laser de 532 nm, en el cual se pueden observar las bandas mencionadas marcadas con líneas punteadas.

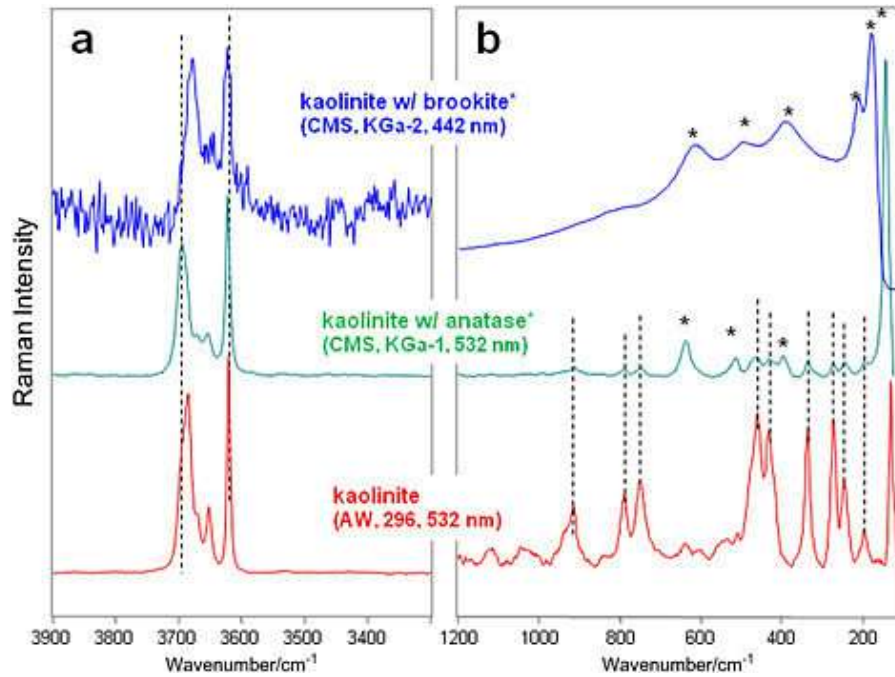


Figura 4-68: Espectros Raman, tres muestras de caolinita con formula estándar $[Al_2(Si_2O_5)(OH)_4]$.⁷

⁷www.researchgate.net/publication/275057005_Understanding_the_Raman_spectral_features_of_phyllosilicates/figures?lo=1

Blanco

Los espectros Raman de las muestras blancas presentan bandas características de caolinita aproximadas en 221 cm^{-1} , 269 cm^{-1} , 324 cm^{-1} , 405 cm^{-1} , 691 cm^{-1} , 792 cm^{-1} y 893 cm^{-1} .

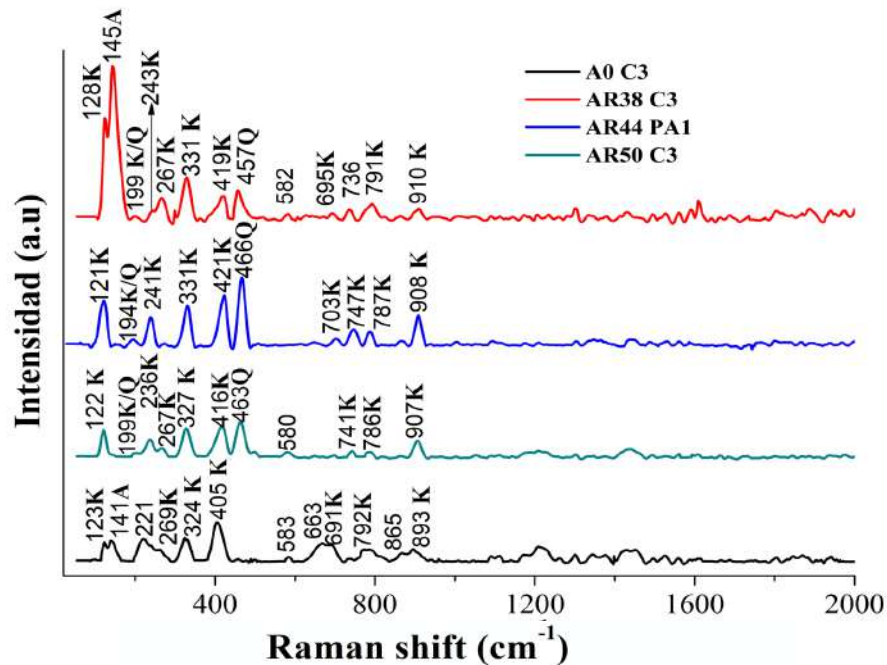


Figura 4-69: Espectro Raman, muestras con capa pictórica blanca.

Los resultados de XRD no incluyen la presencia de arcillas debido a que estas se evidencian con parámetros en posiciones inferiores a 10° , sin embargo, se observa la posible presencia de anortoclasa, albita, cuarzo, silicato de calcio y halita (*Figura 3-70*), coesita, anortita, horblenda, albita, cuarzo y cristobalita (*Figura 3-71*).

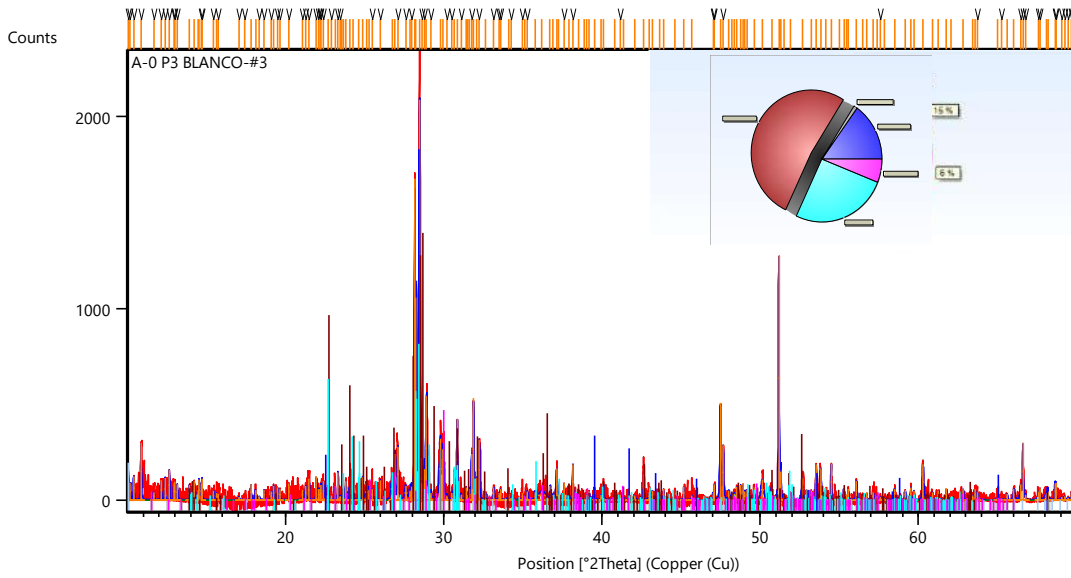


Figura 4-70: Difractograma, muestra A-0 P3 blanco.

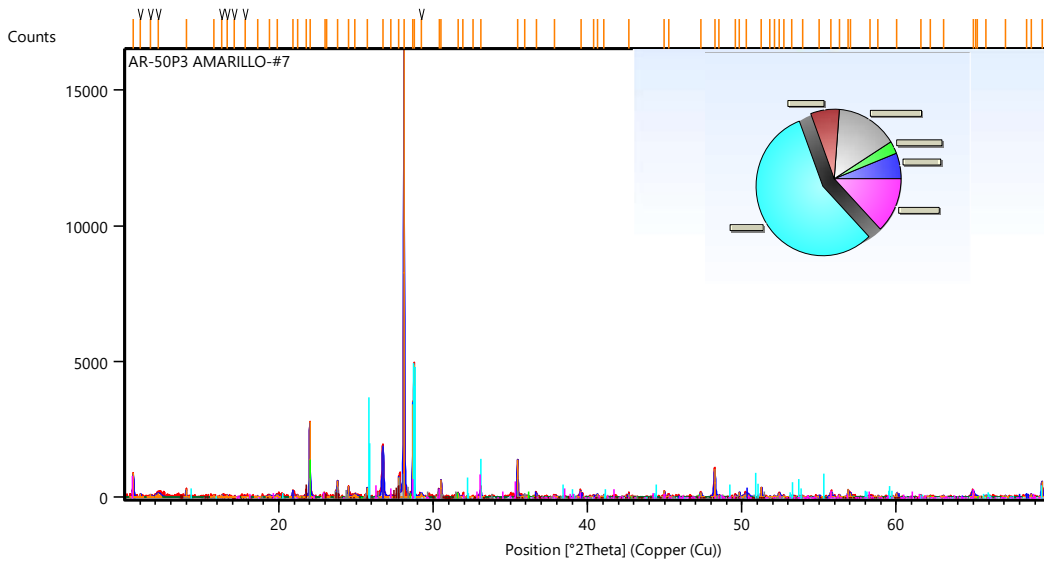


Figura 4-71: Difractograma, muestra AR-50 P3 blanco/amarillo.

Tabla 4-4: Resumen de resultados de análisis en capas pictóricas.

MUESTRA	SEM/EDS	RS CM-1 BANDS	RESULTADO
Negro			
A-0 C1	C, O, Si, Al, Ca	176, 278, 507, 565, <u>1370</u> , <u>1597</u> .	Negro carbon
AR-38 C1	C, O, Si, Al, Fe, Ca, Mg	173, 215, 360, 526, 661, 823, 920, 1040, 1108, 1179, <u>1348</u> , <u>1600</u> .	Hornblenda
AR-44 C1	O, Si, C, Al, Fe	198, 257, 349, 390, <u>456</u> , 799, 1076, 1151, <u>1332</u> , <u>1590</u> .	
AR-50 C1	O, Si, Al, C, Fe, Mg	192, 330, 670, 730, 809, <u>1085</u> , <u>1363</u> , <u>1590</u> .	
Rojo			
A-0 C2	O, Si, Al, Ca, Fe, Na	216, 238, 283, 401, 494, 610, 660, 804, 1314, 1601.	Rojo ocre Hematita + caolín
AR-38 C2	O, Si, C, Fe, Al, Ca, Na	216, 236, 283, 401, 487, 601, 662, 797, 1314, 1744.	
AR-44 C2	O, Si, Al, Fe	216, 238, 285, 338, 397, 500, 599, 660, 708, 1307, 1742.	
AR-50 C2	Si, O, Fe, Al, Ca, Mg, K, Na	219, 247, 283, 403, 493, 606, 677, 1313.	
Rojo claro			
AR-38 C4	O, Si, Al, C, Fe	150, 217, 284, 330, 402, 494, 649, 787, 1047, 1202, 1300, 1429, 1601	Arcilla tipo caolín + hematita
Blanco			
A-0 C3	O, Si, C, Al, Fe, Ca, Na,	128, 145, 199, 243, 267, 331, 419, 457, 582, 695, 736, 791, 910.	Arcilla tipo caolín
AR-38 C3	O, Si, Al, Fe, C	121, 194, 241, 331, 421, 466, 703, 747, 787, 908.	
AR-44 CA1	O, Si, Al, C, Fe	122, 199, 236, 267, 327, 416, 463, 580, 741, 786, 907.	Caolín+Goethita
AR-50 C3	O, Si, Al, C, Fe, Mg	123, 141, 221, 269, 324, 405, 583, 663, 691, 792, 865, 893.	

Subrayadas se encuentran las bandas características principales

Aglutinante

Mediante el análisis de FT-IR/ATR, se obtuvieron espectros que fueron analizados por la experta en la técnica espectrometría infrarrojo, Ana Margarida Andrade Cardoso del Laboratorio Hercules de la Universidad de Évora, de lo cual se concluyó lo siguiente

- A-0 P1 NEGRO: compuesto inorgánico.
- A-0 P2 ROJO: compuesto inorgánico.
- A-0 P3 BLANCO: revisar para compuestos orgánicos
- AR-38 P1 NEGRO: Caolinita, revisar compuestos orgánicos
- AR-38 P2 ROJO: compuesto inorgánico, revisar compuestos orgánicos
- AR-38 P3 BLANCO: Caolinita, revisar compuestos orgánicos
- AR-38 P4 ROJO CLARO: Caolinita
- AR-44 P1 NEGRO: Caolinita + cuarzo, revisar compuestos orgánicos
- AR-44 P2 ROJO: Caolinita
- AR-44 PA1 BLANCO: Caolinita, revisar compuestos orgánicos
- AR-50 P1 NEGRO: compuesto inorgánico, revisar compuestos orgánicos
- AR-50 P2 ROJO: compuesto inorgánico, revisar compuestos orgánicos
- AR-50 P3 BLANCO: Caolinita, revisar compuestos orgánicos.

Mediante FTIR-ATR no se logró identificar el aglutinante debido a que la mayoría de las muestras no presentan bandas de compuestos orgánicos y aquellas que las presentan son muy débiles (stretching del grupo funcional C-H en 2900 cm^{-1}).

Todos los espectros presentan una banda alrededor de 1012 cm^{-1} , la cual corresponde a caolinita, esto es mas evidente en las muestras con una capa de color blanco con presencia de bandas orgánicas débiles y banda en 1012 cm^{-1} .

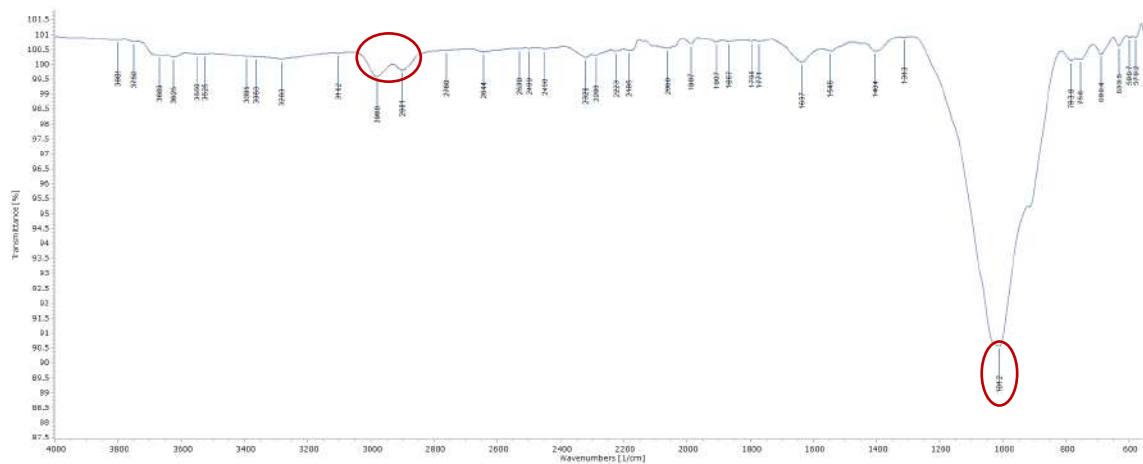


Figura 4-72: Espectro FT-IR/ATR. Muestra A-0 P3 blanco.

Se seleccionaron las muestras que mostraron indicios de material orgánico mediante FT-IR/ATR, para posteriormente realizar pruebas de py-GC/MS, dicha técnicas son suplementarias ya que brindan información composicional y permiten tener una mejor aproximación a la naturaleza del (los) aglutinante(s) en caso de que se conserven. En este caso no se pudo identificar ningún biomarcador claro del aglutinante posiblemente empleado en la elaboración de las pinturas.

4.4 Discusión de resultados

Los análisis con técnicas complementarias permitieron la identificación de los componentes principales de los diferentes estratos de las muestras de pintura mural estudiadas. Se logró llegar a varias hipótesis acerca de los materiales posiblemente empleados en su elaboración, al comparar los datos obtenidos mediante SEM y RS, con las fórmulas químicas, y respectivos espectros patrón.

En las características de las capas, tales como aspecto, grosor, tamaño de grano, se evidencian las variaciones tecnológicas, por ejemplo, en las proporciones de los materiales empleados en las mezclas, permitiendo contemplar aspectos como la no uniformidad en las recetas y el uso de diferentes herramientas.

Así mismo, no se da una uniformidad de tonos en las capas pictóricas del sitio Alto del Aguacate, es decir, aunque en esencia los materiales empleados fueran los mismos, se nota un esfuerzo por dar variaciones a las mezclas, no solo para modificar su color, si no también otras características, como podría ser el incremento de la dureza o la adhesión al soporte.

4.4.1 Estratigrafía

Por medio de las comparaciones de las imágenes obtenidas empleando OM y SEM/EDS logró identificarse claramente la estratigrafía de las muestras.

Se encontró que el Hipogeo AR-44 presentan una secuencia estratigráfica más compleja que incluye una de capa de preparación o acabado y superposición de capas pictóricas negro sobre rojo. Así mismo, en el Hipogeo AR-50, a pesar de no que no presenta acabado de la superficie por medio de la aplicación de una capa de preparación, si se observa la superposición de una capa roja sobre negro.

A cerca del espesor de las capas, es evidente que las capas blancas son mas gruesas, especialmente las de los Hipogeos AR-44 y AR-50, que fueron aplicadas extensivamente y no de manera localizada como en el Hipogeo A-0.

Cabe resaltar que las líneas aplicadas en el Hipogeo AR-38 presentan en general un grosor considerable, incluso para las capas rojas que en general tienen menor grosor. La capa de color rojo claro o rosa, del Hipogeo AR-38 (muestra AR-38 C4), al tener una composición predominantemente similar a las capas pictóricas blancas, también presenta un grosor considerable.

4.4.2 Soporte pétreo

El uso complementario de las técnicas instrumentales brindó información que pudo ser contrastada para brindar un espectro más amplio sobre la composición de la muestra. La petrografía microscópica permitió identificar visualmente los minerales y características físicas como la porosidad. La composición elemental fue determinada por medio de XRF.

y la identificación de espectros Raman permitieron comparar con espectros patrón de minerales, e identificar posibles bandas que puedan presentarse al analizar las muestras estratigráficas o en polvo de otras capas.

Estas mismas consideraciones aplican para su composición elemental mediante FRX y mineralógica mediante la petrografía microscópica; aunque los minerales y elementos presentes en las tobas volcánicas son muy variables y abundantes en su gran mayoría.

La muestra de color gris claro se trata de una toba volcánica, de textura porfídica intergranular, conformada por fenocristales a un 40%, matriz vítrea en proporción 60%.

- Composición elemental Si (57%), Al (17%), Fe (6%), Ca (5%), Na (4%) Mg (3%), K (1%).
- Composición mineral: plagioclasa (17%), hornblenda (10%) piroxeno (4%),
- Porosidad: aproximadamente 15-20%.

Esta roca es considerablemente porosa, y debido a ello fácilmente degradada, permitiendo la migración de líquidos en su interior, así como la cristalización de sales solubles y transporte de componentes de la roca hacia el exterior.

4.4.3 Capa de preparación

La capa de preparación en el Hipogeo AR-44 presenta principalmente arcilla tipo caolín, minerales como cuarzos, y posiblemente ocre amarillo, goethita, para dar un tono mas amarillo a la mezcla. Aunque esto debe ser confirmado a través de análisis mineralógicos, aunque mediante los análisis de XRD no logró obtenerse información al respecto. El espesor de esta capa es altamente variable, lo que es de esperarse de un acabado aplicado sobre una superficie altamente rugosa.

4.4.4 Capas pictóricas

Los datos arrojados muestran que en las pinturas negras los pigmentos corresponden principalmente a negro de humo compuesto de carbón vegetal, posiblemente mezclado con arcilla tipo caolín y otros materiales como hornblendas. Las pinturas rojas corresponden a rojo ocre, es decir hematita mezclada con arcilla. Esta capa presenta menor grosor, mayor dureza y mejor adhesión al soporte; esto se debe a la afinidad de los materiales y tamaño de partícula más pequeña de la hematita. Variaciones de tonos de rojo evidencian el uso de hornblenda para los tonos oscuros y el uso de arcillas de color rojo claro.

En el caso de la muestra AR-38 P4 rojo claro, encontramos una mezcla de arcilla rojo claro con hematita, en la imagen de OM se observan los granos de este mineral, aunque la arcilla empleada tiene un tono rosa natural y es el principal componente de la mezcla.

Las pinturas blancas se encuentran compuestas principalmente de arcilla blanca tipo caolín, esto se corrobora ante la poca o nula presencia de calcio, usualmente usado el carbonato de calcio o sulfato de calcio para pinturas en este tono. explicar

Aunque algunas muestras presentan titanio, siendo este un material abundante en la naturaleza, y considerando que este tono no fue usado sino hasta el siglo XVII. Explicar mejor, redacción

En algunos casos, la arcilla blanca fue mezclada con otros pigmentos para modificar el color. En el caso del Hipogeo AR-50, es posible que se haya agregado goethita para hacer la mezcla tornarse amarillo claro. En el Hipogeo AR-50 también se evidencian en este

hipogeo retoques en amarillo, sin embargo, no fue posible identificar con raman la presencia de goethita

Las capas pictóricas presentan granos grandes de diferentes materiales como hornblendas y cuarzos, fácilmente identificables en las imágenes de OM y en algunas imágenes de SEM-BSD; estos pudieron haber sido agregados o encontrarse naturalmente en los materiales crudos. La posibilidad de que una cantidad importante de hornblendas (anfíboles) hayan sido agregados a las mezclas de pintura negra, será analizada a mayor profundidad en el capítulo sobre tecnología.

Por medio del análisis de FT-IR/ATR, fue posible identificar la presencia de arcillas en gran parte de las muestras. Junto con los resultados obtenidos a través de RS y SEM-EDS. Otro componente presente en la mayoría de las muestras son las hornblendas.

También se encontraron nanotubos de sílice, posiblemente de halloysita, un material de dimensiones manométricas que se origina naturalmente y ha sido comúnmente utilizado para mejorar las características de las capas pictóricas.

Aglutinantes

Acerca de la no identificación de los aglutinantes empleados en la elaboración de la capa pictórica, debido a la alta sensibilidad del instrumento de py-GC/MS, y teniendo en cuenta el tamaño mínimo de la muestra requerido (>100 mg), es posible sustentar que en las muestras tomadas no se preservaba este material.

4.5 Comparación con los otros sitios

Se encontró que los resultados concuerdan en gran parte con la información obtenida por parte de Darío Rodríguez (2014), quien menciona “la ausencia de compuestos de calcio en el pigmento blanco, reforzada por los resultados negativos de carbonatos en el análisis por vía húmeda, excluye la presencia de carbonatos de calcio en la pintura blanca”. Consistente con lo que planteada la arqueóloga Veronique Wright, quien afirma que “en la mayoría de las muestras blancas no se evidenció la presencia persistente de cantidades importantes de calcio”.

Los datos arrojados por el presente estudio, en concordancia con lo planteado por Darío Rodríguez, indican el uso mayoritariamente arcilla tipo caolín, principalmente en las capas de preparación. Además, reporta la presencia de hornblendas en la mayoría de las muestras, sin embargo, no realiza una interpretación acerca de la posible procedencia de estas, si pudo haber sido un material agregado o se encontraba naturalmente en la arcilla. Para determinar esto debe realizarse un estudio de procedencia de las materias primas.

Darío Rodríguez plantea la “hipótesis acerca del origen o fuentes únicas de obtención de las materias primas para la elaboración de las pinturas blancos y roja. (Rodríguez, 2014. Pp: 45). Teniendo en cuenta que los materiales empleados son bastante comunes, el planteamiento de esta hipótesis es altamente posible; por la misma razón, determinar su procedencia es casi imposible, ya que pueden provenir de diversas fuentes.

Los resultados obtenidos por Veronique Wright en el Alto de Segovia por medio de XRF coinciden en su mayoría con los elementos encontrados en el presente estudio; sin embargo, los análisis de resultados no coinciden. Es posible que esto se deba a que la técnica de Fluorescencia de Rayos X brinda solamente información elemental lo cual, aunque puede brindar indicios de posibles compuestos, debe ser necesariamente complementado con otras técnicas de análisis para el planteamiento de hipótesis fundamentadas sobre los materiales. Acerca de esto, Wright menciona que “un análisis complementario con un método estructural (tipo espectrometría Raman, por ejemplo) permitiría verificar esta hipótesis (Wright, 2015. P: 2)”.

Una diferencia notable con la discusión de resultados realizada por Wright, radica en la asociación de la presencia de titanio usado como pigmento; este elemento, como ya se ha mencionado anteriormente a parte de ser muy abundante en la naturaleza, no se ha reportado su uso en al antigüedad.

4.6 Limitaciones

No fue posible identificar el aglutinante empleado al no obtenerse picos característicos de materiales orgánicos concluyentes para posibles materiales aglutinantes mediante las pruebas de FT-IR/ATR, esto se debe en parte a las limitaciones del modo Reflectancia Total Atenuada; aunque el modo tramitancia en FT-IR es el mas apropiado para las

pruebas de identificación de aglutinantes, brindando mejores resultados en la región “huella digital”, su gran desventaja es la necesidad de preparación de la pastilla en KBr, que además de requerir mayor cantidad de muestra, es una técnica altamente invasiva que no permite la recuperación y posterior uso de la muestra en otros análisis.

En los análisis de XRD, los difractogramas presentaron grandes problemas al encontrarse en varios casos corridos y/o divididos los picos, no obstante, se anexan los informes de análisis y se mencionan algunos de los resultados en el análisis de resultados. Estos fueron revisados con la colaboración del Profesor José Mirão, geólogo experto en XRD del laboratorio Hércules de la Universidad de Évora. Se repitieron algunas pruebas en el equipo de este laboratorio, encontrando que las muestras presentan grandes dificultades al tener una composición muy variada; también, debido a la pequeña cantidad de muestra, y teniendo en cuenta que ésta fue molida pero no tamizada para evitar la pérdida de material, esto pudo afectar la lectura, no solo por falta de muestra, si no también por la posible presencia de aglomeraciones que no permitieron una superficie homogénea.

Las muestras AR-44 C1 CA1 y AR-44 PA1 Capa de preparación o acabado, fueron abordadas con la misma metodología de caracterización del material usada para las capas pictóricas, a pesar de que se evidenció el uso de materiales similares, se considera que estudios dirigidos a la caracterización de morteros serían más adecuados para entender la tecnología de este material. Cabe resaltar que este estudio se encuentra enfocado al estudio de las capas pictóricas, considerando que la mayoría de los hipogeos en el Alto del Aguacate no presentan capa de preparación y las pinturas se encuentran aplicadas directamente sobre el soporte.

Ha de considerarse la posibilidad de contaminación de las muestras, principalmente debido a la presencia de materiales de deterioro en la superficie y sobre las pinturas. Para hacer una relación de posibles materiales de contaminación sería necesario realizar análisis e identificación de los materiales de deterioro incluyendo sales, biopelículas, entre otras concreciones.

5. Tecnología

El desarrollo del análisis tecnológico consistió en la observación y descripción de características que evidencian aquellos procesos involucrados en la elaboración de los hipogeos, su diseño y concepción del espacio, selección, modificación o preparación de materias primas y finalmente la aplicación de las capas de acabado y pictóricas. Contrastando los datos, imágenes y discusión de resultados acerca de la composición de los materiales, obtenidos en la fase previa de caracterización de materiales.

La información acerca de los materiales puede ser usada para generar hipótesis sobre las técnicas aplicadas a procesos de elaboración, señalar las variaciones en las proporciones de las mezclas de materiales empleados en la capa de preparación y aplicación de las capas pictóricas.

En el trabajo en campo, las actividades concernientes al estudio de tecnología fueron las últimas realizadas, de manera que después de varios días de trabajo, y las actividades de las diferentes fases del estudio, se pudo dar una mejor aproximación al aspecto de las pinturas murales, su conformación, las huellas que podían indicar el uso de herramientas, aplicación de capas, entre otros aspectos.

Las observaciones en campo se realizaron empleando lupas de aumento y linternas led para iluminación directa y rasante. Complementario a la información consignada en la fase de registro, se tomaron fotografías de detalles de las huellas de manufactura encontradas. Posteriormente se procesó la información de las fotografías, pues debido a las condiciones de iluminación y las limitaciones de tiempo, la revisión de las observaciones y el análisis de la información recolectada fueron primordiales para llegar a los planteamientos y descripciones detalladas que se dan en esta fase del proyecto.

El estudio tecnológico de las pinturas sigue una secuencia lógica de procesos denominada cadena operativa, esta incluye la selección del sitio y los materiales, preparación, y aplicación de la secuencia de capas.

El primer paso para la elaboración de los hipogeos es la concepción de la idea, la selección del sitio de emplazamiento, ubicado en lo alto de las montañas, la estructura arquitectónica subterránea de forma oval, y las técnicas decorativas, pinturas murales aplicadas sobre el suelo rocoso de toba volcánica. Al realizar estas selecciones, se deben tener en cuenta tiempos, recursos y herramientas necesarios para llevar cabo las labores.

En Tierradentro, es un factor característico que el paisaje fue modificado con la finalidad de transformarlo en las necrópolis que hoy en día se encuentran en los diferentes sitios. Las cimas o laderas de montaña fueron aplanadas artificialmente para tal propósito. Por otra parte, la producción en secuencia de estos hipogeos se evidencia en el traslapado de las estructuras para dar aprovechamiento intensivo al espacio, el cual se encuentra limitado hacia los lados, pero es extenso a lo largo. La orientación de las estructuras es hacia el noroccidente en todos los hipogeos, pues la entrada se encuentra desde el suroccidente, en el mismo sentido que sigue la forma de la montaña.



Figura 5-1: Traslapado de hipogeos. Alto del Aguacate.

En esto, al igual que las características de las pinturas, se evidencia la planeación previa y cuidadosa para la realización de los hipogeos, y un nivel de especialización de las personas dedicadas a esta labor, lo cual ha permitido su permanencia hasta la actualidad. Considerando la escasez de recursos (por ejemplo, hídricos) y dificultad en el acceso, es de entender que este tipo de sitios no sea apropiado para viviendas, aunque en la actualidad se encuentran algunos terrenos de cultivo pequeños en las laderas de la montaña.

El diseño arquitectónico de las estructuras de los hipogeos se encuentra conformado por los siguientes elementos: una escalera para descender la cámara, en la mayoría de los casos la escalera es lineal, pero en otros casos es curva; la cámara es el componente principal del hipogeo, en el Alto del Aguacate, en la mayoría de los casos es sencilla.

En el sitio Alto del Aguacate solamente se encuentran un par de hipogeos que presentan el sistema de nichos y arcos, aunque son de tamaño pequeño y poca profundidad comparado con los hipogeos de esta arquitectura en el Alto de Segovia y San Andrés. Uno de ellos presenta diseños de figuras geométricas pintadas sobre el soporte y otro presenta diseños decorativos muy simples que consisten en una línea negra alrededor de los arcos.

Diversos estudios arqueológicos han sugerido que las diferencias en el tamaño, profundidad y los diseños de las pinturas corresponden a diferencias sociales, siendo las tumbas “más elaboradas” presentes en los otros sitios, destinadas a personas de élite. Esto se fundamenta en los planteamientos acerca de las estructuras sociales altamente jerárquicas, sin embargo, como ya se ha mencionado antes, es posible que el tamaño pequeño se deba a limitaciones espaciales, evidenciado también la presencia de grietas que corresponden al desplome lateral de las estructuras. Sin embargo, dicha teoría no explica las diferencias en las técnicas decorativas.

Los diseños presentes en el sitio Alto del Aguacate son altamente variables, pues se encuentran desde líneas paralelas que cruzan horizontalmente la parte central del hipogeo, a diseños geométricos complejos e intrincados que cubrían la totalidad del hipogeo, pues en algunas zonas del techo se evidencian restos mínimos de capa pictórica. Los motivos más recurrentes son de tipo naturalistas, con representaciones tales como soles, lunas, y figuras zoomorfas. Al ser fácilmente identificables han sido motivo de interpretaciones

mágico-religiosas por parte de investigadores, no solamente en los diseños de los hipogeos, sino también en aquellos encontrados en vasijas cerámicas y esculturas de piedra. (Sevilla, 2009)

Aunque los diseños no son completamente simétricos, pues su forma y tamaño son irregulares, se nota cierta intención de simetría en la distribución de los elementos a lo largo de hipogeo. A diferencia de los otros sitios, en el Alto del Aguacate no predomina la necesidad de llenar todos los espacios, encontrándose diseños minimalistas que consisten en simples líneas horizontales que cruzan el hipogeo. Como ya se ha mencionado, la única excepción es el caso de el Hipogeo AR-44.

Las técnicas analíticas soportan la teoría de que los pigmentos, especialmente los ocre, basados en óxidos de hierro, fueron mezclados con arcillas para permitir su mejor aplicación y adhesión. Probablemente aglutinantes de tipo orgánico fueron empleados también para tal fin; también es posible que se hayan empleado aditivos orgánicos, aunque esto no se encuentra soportado en los análisis científicos.

Así mismo, la presencia de materiales inorgánicos como hornblendas y cuarzos, podría relacionarse con la modificación de la mezcla, ya fuera para aumentar la dureza de las capas o modificar el aspecto. La presencia anfíboles como la hornblenda en algunas de las muestras con capa pictórica negra podría tratarse de un mineral presente en los materiales a manera de impureza o mineralización, siendo estos de gran abundancia en la naturaleza. Esto debe corroborarse por medio de análisis mineralógicos, pues su composición química no es muy diferente a la de los otros minerales encontrados en las muestras.

Las capas pictóricas negras presentan alta una dureza, mientras que las capas pictóricas blancas, debido a su composición arcillosa, son relativamente suaves; sin embargo, en el caso de la capa pictórica rojo claro (muestra AR-38 P4), a pesar de tener composición similar a las muestras de capa pictórica blanca, debido a los materiales agregados, posiblemente arena o cuarzos, presenta una dureza considerable.

En el caso de las capas pictóricas rojas, como es comúnmente observado en pinturas rupestres y pinturas murales, los ocre son los que mejor se adhieren a la superficie rocosa formando una capa dura. Se ha reportado para el Alto de Segovia que la dureza en la escala de Mohs es de 2-3 (ENCRYM, 2019).

5.1 Estratigrafía

La estratigrafía general de los hipogeos consiste en una o dos capas pictóricas aplicadas directamente sobre el soporte pétreo, en tonalidades variables de blanco, amarillo, negro, rojo oscuro y rojo claro (rosa). Aunque tanto el Hipogeo AR-44 como el Hipogeo AR-50 presentan superposición de tonos rojo-negro/negro-rojo, es de resaltar la no presencia de capa de preparación en el Hipogeo AR-50, a pesar de la presencia extensiva de pintura con un fondo blanco/amarillo. La superposición de rojo-negro/negro/rojo también ha sido evidenciada en hipogeos del Alto de Segovia y Alto de San Andrés (Jiménez, 2004). es posible que esto se deba a efectos cromáticos.

De acuerdo con la estratigrafía y las observaciones en el sitio, teniendo en cuenta que en la mayoría de los casos la pintura fue aplicada directamente sobre el soporte, se clasifica de técnica al seco, es decir que los pigmentos fueron aplicados sobre la capa de preparación seca, en contraste con la técnica al fresco.

El grosor de las capas y acabado de la superficie es altamente variable, de manera general podría relacionarse con su composición, siendo las capas pictóricas blancas las mas gruesas, incluso en el caso de las figuras en tono blanco del Hipogeo AR-38 debido a que las arcillas presentan un tamaño de molécula mayor, en contraste con las pinturas rojas que tienen un espesor mucho menor.

En el caso de las pinturas del Hipogeo AR-38, se trata de capas pictóricas pastosas de grosor considerable, a diferencia de las capas aplicadas observadas en el Hipogeo A-0 que en general son de menor grosor, incluyendo las de color blanco. A partir de esto se puede plantear la posibilidad de que hayan sido elaboradas en momentos diferentes, aunque pertenezcan al mismo periodo, o por/para grupos de personas diferentes dentro de la misma cultura como un factor de diferenciación social. Estas teorías deben ser desarrolladas en un estudio arqueológico.

Lo anterior también se evidencia en las diferencias estilísticas, pues todos los hipogeos analizados presentan diseños distintos, aunque existen figuras y patrones que se repiten a lo largo del sitio, por lo cual también deben considerarse factores simbólicos asociados, por ejemplo, a la posición social u ocupación de quien iba a ser enterrado.



Figuras 5-2, 5-3 5-4, 5-5, 5-6 & 5-7: Detalle de trazos de pintura en el Hipogeo AR-44.

Aunque al parecer las capas pictóricas son bastante similares en su composición química, lo cual se puede observar no solo en la presencia del componente principal usado como pigmento y porcentaje de elementos, sino también en los espectros Raman que presentan bandas similares sin identificar.

Mientras que en los hipogeos del Alto de Segovia y Alto de San Andrés, el uso del blanco es mas común en el pañete o capa de preparación, en los hipogeos del Alto del Aguacate es muy común encontrar diversas figuras en blanco y tonos claros de amarillo y rojo, esto se debe a la posibilidad de contraste que se logra al aplicar la pintura directamente sobre

el soporte, pues en el caso del Hipogeo AR-44 donde se ha evidenciado la presencia de capa de preparación, las capas pictóricas se limitan a diseños geométricos en negro y rojo, al estilo de los hipogeos de los otros sitios.

En el Hipogeo AR-50 aunque se encuentra la presencia extensiva de diseños y rellenos de formas en tonos claros, no se encontró en ninguna de las muestras presencia de una capa de preparación, aunque si se da superposición de tono negro sobre rojo, al igual que en el Hipogeo AR-44, aunque los diseños son menos detallados. En la *Figura 5-8* se pueden apreciar los bordes de cada color en una figura principal del Hipogeo AR-50.



Figura 5-8: Pinturas en negro, rojo y amarillo. Hipogeo AR-50.

Se considera que los materiales empleados en la elaboración de las pinturas son adecuados para las técnicas murales, esto se evidencia en la permanencia de la capa pictórica del Hipogeo AR-44 adherida a la capa de preparación, así mismo como las demás muestras adheridas al soporte pétreo. En todo caso, los desprendimientos de capa pictórica se deben al deterioro de la roca, altamente porosa y de superficie degradada.

En el Hipogeo A-0 se encuentra una figura antropomorfa tallada en bajo relieve a la entrada del hipogeo, es una de las pocas tallas presentes en el sitio, la única figura antropomorfa representada allí.

5.2 Recomendaciones

Para analizar mas a fondo los aspectos de la técnica de elaboración deben realizarse estudios experimentales, la fabricación de probetas que comprendan el uso de diferentes materiales, mezclas, aplicaciones y secuencia estratigráfica, para posterior análisis y comparación con el objeto de estudio en búsqueda de rasgos similares.

Las experimentaciones permitirían generar hipótesis acerca de aspectos inherentes a las actividades de elaboración de las pinturas, por ejemplo, la determinación de tiempos y esfuerzos estimados, y diferencias empleando herramientas variadas.

6. Estado de conservación

Los hipogeos y las técnicas decorativas en su interior, presentan problemáticas complejas que ponen en peligro no solo la materialidad, sino también los valores patrimoniales asociados a los sitios (arqueológico, documental, científico, simbólico); el deterioro tanto de las estructuras como de las pinturas y esculturas supone la pérdida de información arqueológica valiosa; debido a ello, también es necesario llevar a cabo proyectos que contribuyan a la documentación y conservación de los hipogeos.

Siendo notables los deterioros progresivos de las pinturas murales en los hipogeos de Tierradentro, es necesario llevar a cabo la actualización del diagnóstico del estado de conservación, contribuyendo al monitoreo anual de variables en los indicadores de alteración; esto con la finalidad de determinar de manera sistemática el impacto de ciertos factores en las estructuras y sus elementos decorativos.

La metodología empleada partió de la información recolectada en la fase de registro, y el análisis de los resultados de la fase de caracterización de materiales y estudio de la técnica de elaboración, los cuales permitieron abordar el objeto de estudio de una manera general y hacer la correlación de la información.

La revisión de los antecedentes de conservación es de gran importancia y aporta la base del estudio para la realización del diagnóstico del estado de conservación. Estos incluyen los informes de actividades de conservación e intervenciones, y las investigaciones vinculadas con los objetivos del plan de Manejo y Protección del Parque en relación con la preservación de los sitios, las estructuras y las pinturas. Por otra parte, los trabajos de documentación brindan un seguimiento del estado de estos permitiendo el contraste de fuentes primarias con el estado actual de los hipogeos; entre otras, encontramos fotografías, documentaciones, informes de análisis, y estudios específicos. Por otra parte, permite el reconocimiento de intervenciones anteriores e identificación de problemáticas

previamente señaladas por conservadores u otros profesionales en el pasado, para su consideración.

En este caso, aunque no muchos estudios involucran el Alto del Aguacate, los antecedentes de estudios relacionados con la conservación toma gran relevancia, de manera que se logra dar una puesta en valor del sitio, los hipogeos y las técnicas decorativas, proporcionando una visión más clara de las necesidades específicas.

El registro, además de poner en contexto el estudio, fomenta la observación de las características generales del sitio, y de detalles en las pinturas. A partir de las fotografías generales en la fase de *registro* se realizó el levantamiento de deterioros haciendo la relación en la ubicación, apariencia, descripción de los indicadores de alteración encontrados en los hipogeos seleccionados. También se tomaron fotografías de detalles de deterioros de superficie y productos como concreciones, eflorescencias salinas y material biológico.

Siendo la conservación del patrimonio cultural una disciplina enfocada en la materialidad, ya que los vestigios materiales son receptáculos de valores e información sobre sociedades y grupos humanos en la antigüedad, el estudio de los materiales constitutivos y las tecnologías empleadas en la elaboración de los objetos y/o estructuras, son intrínsecos a cualquier tipo de actividad encaminada a la preservación e intervención de tipo arqueológico o en conservación/restauración.

Aunque estos componentes han sido histórica y sistemáticamente incluidos en los estudios disciplinarios, en la mayoría de los casos no se profundiza sobre los aspectos científicos, en parte por desconocimiento técnico, costos monetarios y de tiempo que estos disponen, pero también porque en muchos casos, debido a la necesidad de toma de muestras, va en detrimento físico del patrimonio.

Por lo anterior, el estudio invasivo de los materiales no es una finalidad en si misma, si no que debe encontrarse justificado en el aporte que este puede brindar directamente, ya sea arrojando información importante para determinar aspectos asociados a aspectos culturales, o en pro de la preservación del sitio y su museografía.

Gracias a la identificación de los materiales, tecnología, y el conocimiento de las características de los hipogeos, es posible determinar posibles procesos de transformación química, acercarse a las interacciones de las pinturas con el suelo rocoso y sus componentes, así como con materiales de deterioro como productos de colonizaciones biológicas, eflorescencias salinas y otras cristalizaciones minerales, contribuyendo a la evaluación del estado de conservación y en la formulación de futuras restauraciones con materiales y técnicas compatibles.

En principio se analizaron las patologías estructurales que pueden afectar los hipogeos, prosiguiendo a los deterioros de superficie. Al hacer la identificación de los signos visibles de deterioro, denominados indicadores, se hace la relación con las posibles causas, denominadas factores, con lo cual posteriormente se pueden determinar o plantear hipótesis acerca de los procesos que llevaron a desencadenar la presencia de estos, denominada mecanismos. Con esta relación “indicador-factor-mecanismo”, se logra dar explicación y generar entendimiento acerca de las complejas dinámicas que envuelven el deterioro de las técnicas murales, pues al encontrarse inmersas en un paisaje y arquitectura específica, no son objetos aislados de su contexto.

En concordancia con la información obtenida, y teniendo una visión global de las dimensión material y valores del objeto de estudio, se buscó relacionar los factores y mecanismos de deterioro de las pinturas murales, priorizando las problemáticas de conservación de los hipogeos, generando así el diagnóstico del estado de conservación. Estas deben enfocarse en aquellas patologías que causan la mayor afectación, en algunos casos desencadenando la sucesión de procesos de deterioro, y ocasionando la pérdida de valores y el detrimento material.

El estudio del estado de conservación de un sitio es un paso esencial para la formulación de proyectos que pueden incluir proyectos de restauración y recuperación, así como programas de difusión para generar un clima mas favorable en la percepción de los sitios, entendidos como un motor de desarrollo cultural y económico de la zona.

6.1 Intervenciones anteriores

En el marco del plan anual de conservación de los hipogeos del parque Arqueológico de Tierradentro, se contemplan labores periódicas de mantenimiento que incluyen, “la identificación y manejo de las principales amenazas a las estructuras y minimización de daños causados por terremotos, los cuales sumados a los altos niveles de humedad relativa interior y características intrínsecas de las tobas volcánicas en las cuales estos están excavados, pueden alterar ambos, los elementos estructurales y las técnicas decorativas, pintura y grabados” (UNESCO 1995).

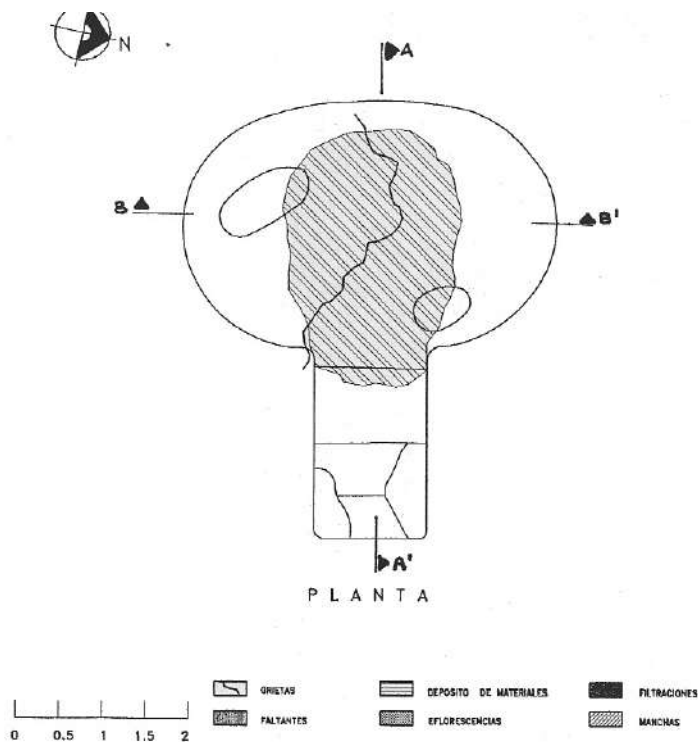


Figura 6-1: Levantamiento de deterioros. (Preciado, 1996)

La intervención mas visible realizada en la zona arqueológica fue la instalación de estructuras de madera con techos de aluminio par evitar la inundación dentro de los hipogeos debido a las aguas lluvia. En el año 2019 se realizó el refuerzo de las escaleras, colocando una capa de mortero en algunos de los hipogeos, facilitando el acceso de las personas.



Figuras 6-2 & 6-3: Techos instalados en el Alto del Aguacate.

Por otra parte, es evidente que se ha dado la remoción de vegetación alrededor de los hipogeos, esto con la finalidad de evitar el crecimiento de raíces hacia las estructuras. Sin embargo, estos cambios producen la alteración del microclima de los hipogeos, pues al no encontrarse la vegetación, aumenta la cantidad de agua que se filtra a través del suelo, lo cual a su vez incrementa la humedad relativa al interior de los hipogeos.

Los elementos arquitectónicos se han conservado a lo largo de los siglos, y las intervenciones de tipo arquitectónico se han mantenido al mínimo, limitándose a aquellas enfocadas a la conservación de las pinturas murales, para protegerlos de los posibles deterioros naturales a causa de la alta humedad. (UNESCO, 1995) En algunos casos se ha dado la reconstrucción y refuerzo de elementos como escaleras, debido a su carácter funcional.

Por lo demás, las actividades en el Alto del Aguacate consisten en la limpieza mecánica en seco, proceso en el cual se recoge la suciedad en el suelo de las cámaras funerarias y escaleras usando una escoba suave (Zuluaga, 2015). Además, se realizan estudios de biodeterioro y desinfestaciones de carácter anual o bianual en todos los sitios de la zona arqueológica (Villalba, 2015).

Las autoridades a cargo del mantenimiento del parque señalan que las tumbas no se han visto afectadas por factores antropogénicos como lo es el flujo de visitantes, aunque si han afectado intervenciones inadecuadas y desinformadas, afectando la autenticidad de las tumbas, pero aún así preservando los elementos originales.

6.2 Levantamiento de deterioros

A continuación, se listan las principales alteraciones encontradas y se resumen de los indicadores, descripciones de las características, seguido por observaciones explicando las posibles causas y mecanismos.

Filtraciones de agua

Provenientes de los suelos y transportadas principalmente por capilaridad hacia el interior de los hipogeos. En el pasado, cuando no se habían instalado los techos, se reportaban inundaciones al interior de los hipogeos. Entre los efectos producidos por las filtraciones de agua, se encuentran manchas de humedad localizadas en la parte inferior de algunos hipogeos, y la disgregación y desprendimiento del soporte en conjunto con la pérdida de las técnicas decorativas.



Figuras 6-4 & 6-5: Desprendimientos de soporte, capa de preparación y pinturas.

Concreciones

La superficie rocosa presenta concreciones de diferentes tipos en la superficie, entre ellas se encuentran eflorescencias salinas que sufren ciclos de solubilización y recristalización, alterando y debilitando la superficie, y a su vez irrupción estética afectando la lectura de las pinturas.

Estas concreciones se deben a la filtración de agua y transporte de materiales de los suelos hacia el interior del hipogeo. En las visitas realizadas, en marzo de 2018, julio de 2019, se

evidenció visualmente el crecimiento de velos salinos y recubrimientos minerales o biopelículas, debido al aumento en la humedad durante esta época.



Figura 6-6 & 6-7: Presencia de velos salinos. Hipogeo AR-38.

No se observaron capas de mineralizaciones en las estratigrafías, por ejemplo, capa superficial de sílice que, aunque puede causar irrupción estética por su color blanquecino, también permite proteger la superficie de la roca.

En varios de los hipogeos se presentan capas de tierra adherida a la parte inferior, de acuerdo con lo mencionado por el señor Oscar Parra, trabajador de la zona arqueológica desde hace varias décadas, este barro nunca fue removido totalmente de la superficie cuando se excavaron los hipogeos. En el sitio arqueológico aún se encuentran algunos hipogeos que no han sido totalmente excavados se observan estas capas de tierra y las marcas a una altura aproximada de 50 centímetros



Figura 6-8: Capa de tierra en el Hipogeo AR-50

Biodeterioro

Por otra parte, se encuentra la presencia de costras oscuras y biopelículas, ocasionados debido a la presencia de organismos. La porosidad y superficie rugosa permite una mejor retención del agua e incrustación de microorganismos y micro-flora, así mismo, fomenta la proliferación de bacterias. Estas incrustaciones también son la causa del detrimento de la roca, pues las biopelículas exageran aún la retención del agua, evitando su correcta evaporación, y atraen a otros organismos vivos como insectos.

En los hipogeos se han evidenciado huevos, nidos, telarañas, excrementos, producidos por insectos y otros animales.



Figuras 6-9, 6-10, 6-11 & 6-12: Biodeterioro ocasionado por algas.

Alteraciones químicas y físicas

Las alteraciones del soporte pétreo roca y las pinturas es el resultado de transformaciones materiales a través del tiempo, de manera que se atribuye a daños acumulativos y no a sucesos de impacto puntual. Aunque los materiales tienden a estabilizarse en condiciones climáticas, ha de tenerse en cuenta como en este sitio la humedad relativa sufre grandes variaciones anuales, además de los cambios inducidos por factores materiales y a causa de intervenciones inapropiadas.

Los desprendimientos del sustrato y la capa pictórica se deben a la baja resistencia física de la superficie de la roca, que se manifiesta en la pulverulencia de la superficie y desintegración al tacto, evidenciada en los análisis de petrografía microscópica. Las reacciones químicas y erosión por el arrastre del agua causan disgregación y desprendimientos de la superficie de la roca, como se ha dado en los techos de la mayoría de los hipogeos.



Figura 6-13: Capa pictórica alterada. Hipogeo AR-38.

De acuerdo con la conservadora Norma Jiménez, el mecanismo de alteración de la roca consiste en la modificación de la matriz vítrea, que brinda la consistencia y dureza. “Al degradarse los materiales constituyentes de la matriz de la toba volcánica, se provoca la liberación de sílice que crea condiciones de acidez en el medio. (Jiménez, 2004, P:68)

Materiales constitutivos de las pinturas murales

Cuando se piensa acerca de los deterioros relacionados con los materiales constitutivos de la roca, se piensa en posibles defectos en la técnica de elaboración o calidad de los materiales. En el caso de los hipogeos el Alto del Aguacate, aunque posiblemente haya cierto decaimiento natural o posibles interacciones químicas de las pinturas, la mayor parte de cambios físicos y químicos toman lugar debido a la meteorización del soporte.

Tal como se pudo determinar en los análisis científicos, y de las observaciones realizadas en campo, la humedad ha ocasionado el ablandamiento de las capas, principalmente aquellas que contienen grandes cantidades de arcilla: las pinturas blancas y la capa de preparación, estos materiales fueron fácilmente extraídos durante la toma de muestras, pues la caolinita es un material altamente higroscópico.

Generalmente la policromía sobre piedra sufre problemas de desprendimientos por la incompatibilidad de los materiales, en este caso se ha evidenciado la pérdida del material usado como aglutinante, el cual es el encargado de mantener la cohesión de las partículas en la superficie. Tal como se comprobó por medio de los análisis de materiales orgánicos (FT-IR/ATR y pyGC-MS), el material orgánico posiblemente usado como aglutinante no se preserva, es posible que, si este se trata de un material glúcido o una proteína, tal como lo afirma Darío Rodríguez (Rodríguez, 2014), este se haya disuelto debido a las filtraciones de agua a través de la roca. De lo anterior se derivan problemas de adhesión al sustrato rocoso.

Se considera que las capas pictóricas se encuentran en un estado frágil y en avanzado de deterioro. Aunque la técnica y materiales son de buena calidad, se puede afirmar que procesos de lixiviación de los componentes de la roca han alterado la composición de la capa pictórica, generando cambios en la composición química, así como alteración cromática.



Figura 6-14: Capas pictóricas alteradas. Hipogeo AR-44.

Deterioros estructurales

Entre los deterioros estructurales presentes en los hipogeos, se evidencian grietas y fracturas que en ocasiones se extienden a lo largo y ancho de las estructuras. Según fuentes bibliográficas, estas se deben a causas naturales como terremotos. Estas derivan de problemas estructurales, posiblemente a causa del desplome lateral de las estructuras, al tratarse de una zona con una verticalidad considerable, los suelos tienden a hundirse de los lados, causando grietas que atraviesan las estructuras.

Las estructuras de tipo oval como lo son los hipogeos tienen poca resistencia a los esfuerzos puntuales, aunque existe la posibilidad de que la adición de los techos, los cuales tienen cargas puntuales a los laterales de los hipogeos, y son grandes, cubriendo hasta tres hipogeos cada uno,

En los hipogeos que presentan grietas, se observa un mayor grado de deterioro, tal es el caso del Hipogeo A-0, el cual ha sufrido grandes pérdidas de las pinturas en las últimas décadas.



Figuras 6-15 & 6-16: Grietas en los Hipogeos A-0 y AR-50.

Antropogénicos

En el caso del Alto del Aguacate, además de entender los antecedentes científicos, también se involucran las problemáticas sociales, políticas y culturales, factores antropogénicos que contemplan el vandalismo y la disociación del Alto del Aguacate con respecto a los otros sitios del Parque Arqueológico de Tierradentro. De manera que al estudiar la conservación de un sitio no solamente se evidencian las problemáticas a nivel científico y disciplinario, si no que también se da visibilidad a dinámicas políticas o sociales que impactan la preservación y divulgación del sitio.

Los turistas del Parque Arqueológico de Tierradentro manifiestan que no visitan el Alto del Aguacate debido a que cuentan con poco tiempo para hacer los recorridos; además la lejanía y alto nivel de dificultad de la ruta hacen que disminuya la cantidad de personas interesadas en acceder a este sitio. Por otro lado, la poca señalización y mantenimiento de los senderos que conducen al sitio comparado son factores que influyen en su disociación.

Aunque el flujo de visitantes en el sitio no tiene grandes repercusiones en cuanto a la conservación, uno de los efectos más visibles es desgaste de las escaleras, principalmente en los hipogeos donde el suelo es mas terroso.



Figuras 6-17 & 6-18: Escaleras deterioradas en los Hipogeos AR-38 (izq) y AR-44 (der).

6.3 Diagnóstico del estado de conservación

Los hipogeos presentan un estado de conservación regular, pues se evidencian problemáticas activas de deterioro, que han llevado a pérdida extensiva del mortero, la capa pictórica, y la superficie del soporte pétreo, especialmente en el techo de los hipogeos. Ha de tenerse en cuenta que la pérdida de este patrimonio pone en peligro no solo la materialidad, sino también los valores asociados al sitio, lo que significa la pérdida de información valiosa contenida en los materiales, las imágenes representadas.

Los factores de mayor impacto se encuentran relacionados con la alta humedad relativa y las filtraciones de agua. Aunque no existen mediciones en el Alto del Aguacate, se ha reportado para otros sitios de la zona arqueológica, que el porcentaje de humedad relativa en el interior de los hipogeos es de hasta el 99%, alcanzando el punto de saturación (Jiménez, 2004. P: 69; ENCRYM, 2018).

Debido a las características de la roca, altamente porosa, los hipogeos sufren filtración del agua a través del sustrato rocoso y su retención de la superficie, lo cual genera las condiciones climáticas ideales para la proliferación de microorganismos, así como de algas y plantas menores. Aunado a estas biopelículas, la formación de concreciones y velos salinos causan irrupción estética al no permitir observar claramente las pinturas.

El desarrollo de ciclos repetitivos de formación de estos recubrimientos ha causado la erosión del sustrato rocoso y desvanecimiento de las figuras, así como la pérdida del soporte dada la pulverulencia de la superficie. Además de la erosión de la superficie

rocosa, se presenta un mecanismo de meteorización debido al transporte de componentes de la roca hacia el exterior, agudizando la porosidad en la parte superficial.

Aunque se instalaron estructuras de madera con techos de aluminio para proteger del agua de lluvia, el transporte de agua en los suelos permite la penetración agua capilar y proveniente de la parte superior del suelo que cubre el hipogeo, especialmente en temporada de lluvias.

Esta es una dinámica intrínseca a este tipo de estructura de carácter subterráneo, considerando su ubicación geográfica, condiciones climáticas y precipitaciones en la zona, aunada a las características del tipo de roca altamente porosa. Es importante tener esto en cuenta para cualquier proceso de intervención en las pinturas y las estructuras, aunque es preferible minimizar las causas de alteración en las áreas alrededor de los hipogeos, la aplicación de barreras físicas como los geotextiles ubicados en el Alto de Segovia han causado resequedad de las pinturas debido a la alteración del microclima (Vernaza, 2019), lo cual no se observa en el Alto del Aguacate.

Los deterioros estructurales de los hipogeos se deben en su mayoría debido a causas naturales como terremotos; de manera que estos no representan un peligro inminente a la conservación, aunque es importante monitorear la evolución de grietas y fisuras para realizar la evaluación permanente del riesgo que estas puedan acarrear. La estructura de los hipogeos, es decir el soporte pétreo, se encuentra relativamente estable a pesar de las filtraciones de agua, y grietas extensivas, sin embargo, la capa de preparación y pintura en la superficie se han visto reducidas considerablemente, principalmente debido a los efectos de las filtraciones de agua y la actividad biológica, que podrían causar la pérdida total de las pinturas murales en el sitio.

Teniendo en cuenta la antigüedad de más de mil años de las tumbas arqueológicas, cabe pensar sobre la calidad de los trabajos realizados tanto a nivel estructural como de técnicas decorativas, la durabilidad de los materiales, los posibles cambios de condiciones que han soportado a lo largo de los siglos; entre otros eventos naturales y catástrofes, la expoliación y vandalismo del contexto arqueológico funerario.

6.4 Recomendaciones de conservación

- Monitorear las condiciones climáticas, humedad relativa y temperatura a lo largo del año de manera que se puedan determinar ciclos.
- Establecer la relación de los ciclos climáticos con los deterioros que puedan ocasionarse a raíz del aumento o disminución en la humedad relativa, por ejemplo, eflorescencias salinas, aparición de biopelículas, entre otros.
- Productos de colonizaciones biológicas, eflorescencias salinas y otras cristalizaciones minerales pueden ser analizadas a través de diferentes técnicas para determinar su naturaleza e impacto en la conservación de las pinturas murales y estructura de los hipogeos. Aunque se han realizado evaluaciones de este tipo, se debe asociar el sitio Alto del Aguacate en la realización de análisis.
- Se debe dar seguimiento de grietas y fracturas usando testigos de yeso, y realizando el análisis estructural arquitectónico para determinar con certeza su causa y los posibles efectos en las estructuras.
- Debido a la complejidad de los mecanismos de deterioro de la roca, es pertinente la realización de estudios más profundos de caracterización de la roca para identificar sus propiedades físicas; de manera que se obtenga información pertinente para el diagnóstico del estado de conservación de las estructuras y la formulación de acciones relacionados con la conservación del sitio.
- Se deben realizar procesos de estabilización de las capas pictóricas y de preparación con procesos de fijación. Para ellos deben realizarse pruebas en búsqueda de los materiales mas apropiados considerando las condiciones climáticas y los cambios al interior de los hipogeos.
- Estudio e Implementación de capas de sacrificio en todas las escaleras que permiten el acceso de los visitantes a los hipogeos, para evitar el desgaste de las escaleras originales y el riesgo al descender por las escaleras deterioradas. Parte de esta actividad fue implementada el año pasado.

Antropogénico

- Desarrollar una estrategia para mitigar el impacto del ingreso de personas dentro de las estructuras, protegiéndolos del contacto directo. Por ejemplo, las escaleras y el piso original de los hipogeos pueden sufrir desgaste con el flujo de visitantes que ingresan.
- Altamente recomendado realizar mejor señalización del sitio, implementando un mapa de llegada para los visitantes, un mapa del sitio donde se evidencien los hipogeos presentes, y fotografías de los elementos que se encuentran por lo menos en los hipogeos mas sobresalientes. Al hacer esta información accesible a los visitantes, estos podrán decidir según sus preferencias el tiempo destinado a la visita del sitio, la cantidad de hipogeos que desean ver y la ruta que pueden tomar.
- Aunque debido a la falta de acceso a electricidad en el sitio no es posible implementar un sistema de luces, se debe pensar en alternativas para facilitar la visualización de los hipogeos, pues no en todos los casos los visitantes cuentan con linternas portátiles.
- Para proyectos que involucren actividades, especialmente pero no limitados al Alto del Aguacate, es importante realizar actividades de consulta, divulgación y socialización que involucren al Resguardo Indígena de San Andrés de Pisimbalá.



Figura 6-19: Estructura ubicada al final del recorrido del Alto del Aguacate.

7. Conclusiones

7.1 Metodología

La secuencia de fases planteada permitió abordar el objeto de estudio desde una perspectiva multidisciplinaria, conservando los elementos esenciales tanto de ciencia de materiales como de la conservación, posibilitando la asociación e interpretación de información para el análisis de resultados y formulación de conclusiones e hipótesis a cerca de los materiales, la tecnología, y las dinámicas de conservación de los hipogeos del Alto El Aguacate.

Se logró la relación de los datos obtenidos en las diferentes fases de estudio, de manera que cada capítulo aportó información importante para el desarrollo del siguiente. Aunque este trabajo se encontraba enfocado en la fase de caracterización de materiales, se busca que el aporte disciplinario trascienda los límites disciplinares para aportar y brindar información a otras áreas del conocimiento.

El desarrollo de las diferentes fases permitió comparar rasgos y corroborar o descartar hipótesis acerca de los materiales, la tecnología y la conservación de los hipogeos del Alto del Aguacate en contraste con los otros sitios de la zona arqueológica. Realizando la puesta en valor de un sitio que ha sido históricamente excluido de proyectos investigativos en la zona arqueológica de Tierradentro. Se espera que el presente estudio llame la atención sobre el sitio arqueológico Alto del Aguacate para ser abordado en sus necesidades de conservación e investigación.

El registro básico de los hipogeos consistió en la primera aproximación al sitio y sus problemáticas, este se limita a información general, elaboración de mapas, descripciones y fotografías, sumado a registros previos realizados para propósitos de conservación.

7.2 Caracterización de materiales

El uso de técnicas múltiples para la caracterización de los materiales permitió la contrastación y complementariedad de la información para determinar con mayor certeza la naturaleza de estos. De manera que fue posible corroborar la composición de roca como una toba volcánica de superficie altamente degradada, e identificar los materiales inorgánicos empleados en la elaboración de las pinturas, especialmente los pigmentos, entre los cuales encuentran ocre (hematita) para los rojos, negro de humo (carbón) para los negros y arcilla tipo caolín para los blancos. Así mismo, fue posible realizar la comparación directa de los resultados obtenidos en otros sitios de la zona arqueológica.

Encontrando similitudes en la composición de los materiales, pero una gran variabilidad en las mezclas y aspecto de las capas aplicadas en el sustrato rocoso. Esta variabilidad también se ve reflejada en los múltiples diseños presentes en un mismo sitio, siendo una de las principales características diferenciales del Alto del Aguacate, el también presenta un gran volumen de hipogeos.

Las técnicas de caracterización seleccionadas para el estudio respondieron a diferentes criterios en términos costo-beneficio, de acuerdo con el tipo de información necesaria, cantidad de muestra, preparación requerida y si se trata de técnicas no destructivas. Se entiende por no invasivo aquellos análisis que no requieren la preparación de muestra; en el caso de pinturas murales, la única manera que puede realizarse un estudio realmente no invasivo es con el uso de instrumentos portátiles, que en el caso del Alto del Aguacate deben ser muy ligeros debido al difícil acceso al sitio, y deben estar diseñados para soportar el intemperismo.

De los análisis realizados, la única técnica considerada destructiva es py-GC/MS, sin embargo, debido a la cantidad mínima requerida en contraste con la resolución y precisión de los resultados, se consideró pertinente su uso.

Con respecto a la toma de muestras, se consideraron los diferentes aspectos, entre posibles variaciones tonales, de superposición y de diseños, así como los tipos de muestra y preparaciones requeridos, de manera que se obtuviera la información complementaria, dando un mayor aprovechamiento a los materiales extraídos.

Debido a la complejidad de las muestras, aunque se obtuvieron resultados importantes, debe considerarse la alta probabilidad de contaminación, por ejemplo, la posible presencia de materiales de deterioro orgánicos e inorgánicos que no corresponden a las capas de soporte, preparación o pintura. Esto se evidenció en los resultados de análisis de GC-MS, en el cual se reporta la presencia de materiales orgánicos correspondientes a marcadores de biodeterioro y no se reportan resultados asociados al aglutinante posiblemente empleado.

La información acerca de los elementos presentes en las muestras obtenida mediante SEM/EDS, permitió comparar con la información de los compuestos químicos obtenida mediante Espectroscopia Raman, tomando como base la fórmula química y composición mineralógica los materiales posiblemente empleados en la elaboración de las pinturas murales.

Este trabajo pretende ser un referente del sitio Alto del Aguacate para correlacionar datos sobre las prácticas culturales, manejo de recursos, y tecnología empleada por los grupos humanos que habitaron Tierradentro, aproximándose así a aspectos arqueológicos de la zona, y actividades rituales, considerando el uso funerario de las estructuras.

Los datos y análisis de los resultados obtenidos mediante esta fase fueron usados en la interpretación de resultados para los estudios de tecnología y conservación. Al respecto, es importante resaltar que los datos sólo son útiles siempre que exista información previa y conocimiento del objeto de estudio, permitiendo el planteamiento de hipótesis previas considerando todas las variables posibles que puedan influir en errores de interpretación.

7.3 Tecnología

El estudio tecnológico realizado es por defecto un planteamiento de una serie de hipótesis basadas en la cuidadosa observación de los objetos en búsqueda de rasgos determinantes y el conocimiento adquirido sobre los materiales constituyentes: su composición, aspecto y propiedades; asimismo los análisis e interpretación de resultados deben apoyarse en estudios previos y bibliografía científica.

Aunque la identificación de los rasgos característicos observados a simple vista, complementado con la información recolectada mediante a los análisis instrumentales, brindan información de gran valor para la elaboración de hipótesis sobre la tecnología, en el caso del Alto del Aguacate han de tenerse en cuenta diversos aspectos.

Por una parte, la muestra seleccionada es solo una pequeña porción de la totalidad de hipogeos con pinturas murales en el sitio arqueológico y al encontrarse una gran variedad no solo en los diseños representados, como ya se conocía antes de iniciar el proyecto, si no también en cada uno de los procesos empleados en la producción de las pinturas murales, da lugar a elementos de características diversas tanto a nivel macroscópico como microscópico.

Es decir, aunque los materiales son a grandes rasgos muy similares, incluso a aquellos empleados en los otros sitios de la zona arqueológica, las mayores diferencias radican en su preparación, empleando mezclas en diferentes proporciones cuya variedad se evidencia en los porcentajes encontrados en las muestras analizadas, por otra parte existe variabilidad en las consistencia y aplicación de las capas, evidente en el uso de diferentes instrumentos, esto observable a simple vista en el grosor y forma de los trazos y a nivel microscópico por medio de la observación de las capas en las muestras estratigráficas.

Por lo anterior, el estudio refleja las técnicas empleadas en los hipogeos estudiados y no de la totalidad del sitio arqueológico, de manera que contribuye en mostrar la riqueza de las técnicas pictóricas empleadas en la zona arqueológica de Tierradentro.

7.4 Conservación

A través de los análisis realizados, se logró determinar que los deterioros presentes en las pinturas murales de Tierradentro se deben principalmente a las características intrínsecas de la superficie rocosa altamente porosa y degradada, lo cual inciden la filtración de agua y otros mecanismos desencadenantes a partir de la alta humedad relativa dentro de los hipogeos, contribuyendo a la generación de un microclima propicio para la proliferación de microorganismos e insectos. Por ende, los procesos de degradación de las capas pictóricas derivan de mecanismos que se originan en la roca, y no propiamente debido a la transformación natural o intrínseca a los materiales pictóricos.

Siendo notables las complejas problemáticas que sufren los hipogeos y las técnicas decorativas en su interior, la identificación de los indicadores de deterioro y desarrollo del diagnóstico del estado de conservación, son herramientas de análisis que permiten determinar de manera sistemática el impacto de ciertos factores en las estructuras y sus elementos decorativos.

Aunque existen indicadores de deterioro similares con respecto a los otros sitios, las ubicación y características tecnológicas constituyen diferencias que cambian las dinámicas de deterioro. Una de las mas evidentes es el espacio limitado de la cima de la montaña haciendo de los hipogeos un frente cercano de recepción de aguas lluvias que se filtran a través del suelo. Por otra parte, la ausencia de capa de preparación constituye una de las mayores diferencias tecnológicas de las pinturas murales del Alto del Aguacate, lo cual ha incidido en la perdida gradual de capa pictórica, pero a su vez, debido a su capacidad de absorber agua al tratarse de una arcilla, esta capa presenta en si misma problemáticas graves de conservación , como puede observarse en el Hipogeo AR-44.

Recomendaciones

Documentación

Se considera pertinente la formulación de un proyecto de documentación exhaustiva, donde se conforme un equipo multidisciplinario y se empleen las herramientas tecnológicas necesarias para el registro, el levantamiento arquitectónico, gráfico y fotográfico avanzado de los hipogeos que se encuentran abiertos en el sitio arqueológico, así como la elaboración de la columna estratigráfica del sitio para su estudio geológico.

Es esencial realizar la señalización del sitio para facilitar la inclusión en el recorrido museográfico en el Parque Arqueológico por parte de los visitantes.

Tecnología

Sería relevante realizar un estudio de las posibles fuentes de materiales que se encuentran alrededor de la zona arqueológica, haciendo posible establecer un precedente de este tipo de estudios en la región, permitiendo a futuro la comparación de resultados en diferentes sitios arqueológicos.

Personas del Resguardo Indígena de San Andrés, así como trabajadores del Parque Arqueológico, han sugerido posibles fuentes de materiales pictóricos en las zonas mas altas de la región, sería interesante considerar esta hipótesis como parte del estudio de un estudio de procedencia, aunque algunos de los pigmentos identificados son comúnmente encontrados en la naturaleza y podrían proceder de diversas fuentes locales o no.

La realización de probetas empleando diferentes mezclas y métodos de aplicación, y su posterior análisis permitiría la comparación de las técnicas de elaboración de las pinturas murales en los hipogeos.

Caracterización de materiales

El aporte de análisis *In Situ* empleando técnicas instrumentales portátiles podría dar gran valor agregado, al ser no-invasivo y no-destructivos permiten realizar análisis estadísticos abordando una muestra más amplia sin causar ningún tipo de intrusión o daño.

Debido a la evidencia de las dinámicas de las pinturas con el soporte pétreo, y envolviendo pruebas mas amplias en los hipogeos. Se considera que mayores análisis y pruebas concernientes a las propiedades físicas del material pétreo (porosidad, dureza, resistencia mecánica a compresión, entre otras) son de gran pertinencia.

En el caso del hipogeo AR-44, el único en el sitio Alto del Aguacate con presencia de capa de preparación, podrían realizarse mayores análisis específicos para la caracterización del mortero. Teniendo en cuenta las problemáticas de deterioro que este presenta y el nivel de pérdida del mismo, este tipo de estudio constituiría una gran aporte a futuras medidas de conservación aplicables.

Asimismo, es necesario realizar el análisis e identificación de los materiales de deterioro incluyendo sales, biopelículas, entre otras afectaciones.

Conservación

Se sugiere el monitoreo de condiciones climáticas, al menos en uno de los hipogeos del sitio arqueológico, de manera que permita la relación de datos con los otros sitios arqueológicos del parque. Asimismo, debe considerarse el monitoreo de variables en los indicadores de deterioro en relación con ciclos anuales: seguimiento de velos salinos, biodeterioro, grietas y fisuras.

Como se ha mencionado anteriormente, la identificación de materiales de deterioro por medio de análisis científicos, así como la aproximación mas profunda y específica al soporte pétreo y el mortero en el hipogeo AR-44, suponen un aporte relevante a identificar problemáticas específicas de conservación y formular posibles soluciones de tratamiento o medidas preventivas.

Socialización

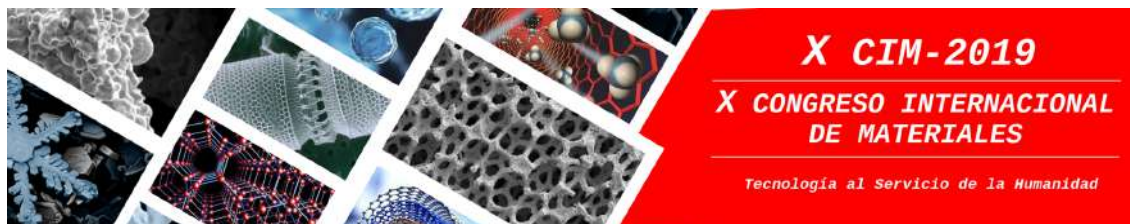
Como parte de los objetivos de socialización de los resultados, se dio la participación en eventos académicos para presentar los productos de la investigación. Ver *Anexo D: Resultados de socialización*.

Las participaciones en eventos fueron las siguientes:

- 10th International Congress on the Application of Raman Spectroscopy in Art and Archaeology. RAA Universidad de Potsdam, 03 al 07 de septiembre de 2019. Potsdam, Alemania. Presentación oral: Confocal Micro-Raman Spectroscopy and Complementary Analytical Techniques for Material Characterization: Archaeological Mural Paintings, Alto del Aguacate, Archaeological Zone of Tierradentro



- X Congreso Internacional de Materiales CIM. Universidad Industrial de Santander UIS, 23 al 25 de octubre de 2019. Bucaramanga, Colombia. Poster: Caracterización de soporte pétreo de la tumba arqueológica Hipogeo AR-44 del sitio Alto del Aguacate, Tierradentro, Cauca.



- Conferencia “Caracterización de materiales y diagnóstico de las pinturas murales en los hipogeos del Alto del Aguacate, Tierradentro”, organizada por el Grupo de Patrimonio del Instituto Colombiano de Antropología de Historia ICANH como parte de la difusión de resultados de los proyectos del Programa de Fomento a la Investigación 2019. Esta conferencia se realizó de manera virtual y fue transmitida a través de las redes sociales del ICANH.



- Como parte de la condonación de la beca Sapiencia Posgrados Nacionales se organizó una actividad de transferencia de conocimientos titulada "Seminario de Ciencia e Ingeniería en patrimonio cultural", mediante la cual se realizarán conferencias en temas relevantes al estudio del patrimonio cultural empleando técnicas y métodos de las ciencias naturales. Este evento se encuentra dirigido a personas de diversas disciplinas relacionadas, así como a la comunidad general de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín, especialmente la Facultad de Minas.
- Se encuentra pendiente realizar las actividades de socialización de resultados en la zona arqueológica, dirigida al Resguardo indígena de San Andrés de Pisimbalá, la comunidad de Tierradentro y personal del ICANH.
- Actualmente se están escribiendo artículos de investigación relacionados con los diferentes capítulos de la tesis, caracterización de materiales, tecnología y conservación, se espera que estos sean sometidos próximamente.

Bibliografía

- (2008) Ley 1183 del 12 de marzo de 2008. Por la cual se modifica y adiciona la ley 397 de 1997 –Ley General de cultura- y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial 46929. Bogotá: El Congreso de Colombia.
- (2009) Decreto 763 del 10 de marzo de 2009. Por el cual se reglamentan parcialmente las Leyes 814 de 2003 y 397 de 1997 modificada por medio de la Ley 1185 de 2008, en lo correspondiente al Patrimonio Cultural de la Nación de naturaleza material. Diario oficial 47287. Bogotá: El presidente de la República de Colombia.
- (2012) Contrato No. 057. Bogotá, Instituto Colombiano de Antropología e Historia ICANH.
- Álvarez, M. P. (1996) Proyecto general de conservación de los hipogeos de Tierradentro, Cauca, Colombia. Bogotá, Instituto Colombiano de Cultura.
- Álvarez, M. P. & Jiménez, N. J. (2000) Proyecto estudio de materiales y diagnóstico del estado de conservación de las tumbas policromadas del Alto de las Piedras y Alto de los Ídolos: San José de Isnos, Huila. Bogotá: Fundación de Investigaciones Arqueológicas Nacionales, Banco de la República.
- Álvarez, M.P. García, L. Jiménez N. J. (2002) Registro y documentación de los hipogeos del Parque Arqueológico de Tierradentro. Bogotá: ICANH.
- Álvarez, M. C (1996) Proyecto general de conservación de los hipogeos de Tierradentro, Cauca, Colombia. Bogotá: Instituto Colombiano de Antropología e Historia.
- Bocanegra, E. (1989) Informe sobre la visita de inspección a los hipogeos de Tierradentro (Cauca). Bogotá: Centro Nacional de Restauración.
- Chaves, A. & Puerta, M. (1986) Monumentos Arqueológicos de Tierradentro. Bogotá D.C: Banco Popular.

- Chaves, Á. & Puerta, M. (1973) Conservación arqueológica en Tierradentro. Bogotá, Instituto Colombiano de Antropología ICAN.
- Colcultura – Instituto Colombiano de Antropología e Historia (1995) Primer taller de conservación de los hipogeos del parque arqueológico de Tierradentro. Bogotá.
- Duarte, R. (1999) La geología y la conservación de los hipogeos de Tierradentro. En: Restauración Hoy. *Revista de divulgación*. 10 noviembre de 1999. Bogotá: Centro Nacional de Restauración.
- Duran, A. & Siegesmund, S. (2009) Toba volcánica como material arqueológico en Colombia, caracterización, causas de la descomposición y conceptos de conservación. *Segundo Congreso Latinoamericano de Arqueometría*. Buenos Aires, Argentina: Comisión Nacional de Energía Atómica.
- Franco, G. (2017) Tensiones coloniales en las narrativas sobre el pasado de Tierradentro (Cauca, Colombia). En: *Revista Maguaré* V. 131 no. 2. Pp. 129.163. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Giraldo, A. I. (2016) Caracterización de materiales y estudio de la técnica de elaboración de las pinturas rupestres blancas del sitio La Piedra Pintada La Fragua en Machtetá, Cundinamarca (Tesis de pregrado). Universidad Externado de Colombia, Bogotá.
- Gómez, M. L. (2004) Examen científico aplicado a la conservación de obras de arte. Cuarta edición, Madrid, España: Instituto del patrimonio histórico español.
- Groot, A. M. & Mora, S. (1989) VIII. Macizo colombiano: Alto Magdalena. En: *Colombia Prehispánica: Regiones arqueológicas*. Pp: 159-179. Colombia: Colcultura, Instituto Colombiano de Antropología.
- Herrera, D. (2011) Parque Arqueológico Nacional de Tierradentro: Guía para visitantes. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Antropología e Historia
- Instituto Colombiano de Antropología e Historia ICANH. (s.f) Parque Arqueológico de Tierradentro. <http://www.icanh.gov.co/index.php?idcategoria=2560&print&inf=0>

- Instituto Colombiano de Antropología e Historia ICANH. (s.f) Parques Arqueológicos Nacionales. <http://www.icanh.gov.co/index.php?idcategoria=1203>
- Jiménez, N. J. (2004) Diagnóstico del Hipogeo S12 del Parque Arqueológico del Tierradentro. Como una propuesta para la documentación y el diagnóstico de los Hipogeos de Tierradentro (Tesis de pregrado). Universidad Externado de Colombia, Bogotá.
- Langebaek, C & Dever, A (2009) Arqueología regional en Tierradentro, Cauca, Colombia. En: Revista Colombiana de Antropología (pp. 323-367) V. 45. Bogotá: Instituto Colombiano de Antropología e Historia.
- López, A. (2017) Informe Final de Conservación, Contrato 120 de 217: Parques Arqueológicos San Agustín, Alto de las Piedras, Alto de los Ídolos, y Tierradentro. Bogotá: Instituto Colombiano de Antropología e Historia.
- Mayer, R. (1993) Materiales y técnicas del arte. Madrid: Tursen S. A. Hermann Blume ediciones.
- Medina, I. (2019) Informe de Actividades de la Misión de Intercambio Académico, Investigación e Inspección en los Sitios Arqueológicos de Tierradentro y Lindosa. Proyecto de Colaboración entre la ENCRYM-INAH, el ICANH, y la Universidad Externado de Colombia.
- Medina, I, Montejo, F. Bateman, C, et al. (2019) Informe Final: Hipogeo 10 y 12 del Alto Segovia, Parque Arqueológico de Tierradentro, Colombia. Diagnóstico Piloto de Estado Físico. Ciudad de México: ENCRYM-INAH.
- Mendoza, L. (2010) Proyecto piloto para evaluar el efecto de la actividad de los ciempiés (myriapoda – diplopoda), sobre la conservación de los hipogeos del Parque Arqueológico de Tierradentro Cauca – Colombia. Contrato ICANH 040 de 2010. Bogotá: Instituto Colombiano de Antropología e Historia ICANH.
- Mora, P. Mora, L & Philippot, P. (2003) La conservación de las pinturas murales. [Traducido al español de Clemencia Vernaza] Bogotá: Universidad Externado de Colombia.

- Pachón, X. (1996) *Los Nasa o la Gente Paéz* (Pp: 61-109) En: Pachón, X. Oliveros, D. & Wiesner, L. Geografía Humana de Colombia, Región Andina Central. Tomo IV, V. II. Santafé de Bogotá: Instituto Colombiano de Cultura Hispánica.
- Preciado, G. (1996) Restauración arquitectónica para los hipogeos de Tierradentro (Tesis de grado). México.
- Puerta, M. (1973) Excavaciones arqueológicas en la región de Tierradentro. Trabajo de grado, Departamento de Antropología, Universidad de los Andes.
- Rodríguez, D. (2014) Estudios técnicos de las pinturas de los hipogeos del parque arqueológico de Tierradentro. Bogotá: Haerentia e ICANH.
- Rodríguez, D. (2015) Informe final de investigación. Acta de acuerdo específico No. 2 suscrito entre el Instituto Colombiano de Antropología e Historia y Haerentia S.A.S. Objeto: Evaluar el impacto de la colonización o crecimiento de los agentes microbiológicos sobre la superficie de la toba volcánica y pinturas rupestres, considerando la incidencia del factor lumínico sobre el soporte y los pigmentos previamente caracterizados. Bogota: Haerentia e ICANH.
- Sevilla, E. (2009) Arte en la necrópolis prehispánica. En: Revista Colombiana de Antropología (pp. 369-397) V. 45. Bogotá: Instituto Colombiano de Antropología e Historia.
- Sevilla, E. & Piñacue J. C. (2007) Los Nasa de Tierradentro y las huellas arqueológicas, primera aproximación. [Ponencia] Pereira: IV Congreso de Arqueología en Colombia.
- Tello, H. (1977) Investigación geológica en el Parque Arqueológico de Tierradentro, Cauca. Bogotá: Banco de la Republica.
- Tenjo, R. Santos, M. & Cramer, T. (2019) Análisis geológico y geotécnico de los hipogeos del Alto de Segovia en el Parque Arqueológico de Tierradentro, Departamento del Cauca. Bogotá: Instituto Colombiano de Antropología e Historia.

- Trujillo, J. (2008) Arqueometría de pinturas rupestres: La piedra La Cuadrícula (Soacha, Cundinamarca, Colombia). (Tesis de maestría) Portugal: Universidade Tras-os-Montes e Alto Douro.
- Trujillo, J. et al. (2015) Análisis arqueométricos en las pinturas rupestres del parque arqueológico de las piedras del Tunjo en Facatativá: Estudio de las técnicas de producción y tratamientos aplicados a los pigmentos. Bogotá, Colombia: Fundación de Investigaciones Arqueológicas Nacionales FIAN y Grupo de Investigación de Pintura Rupestre Indígena GIPRI.
- Trujillo, J. et al. (2017) Estudios arqueométricos, documentación y registro del arte rupestre de la serranía de La Lindosa y Raudal del Guayabero, Departamentos del Guaviare. Bogotá, Colombia: Fundación de Investigaciones Arqueológicas Nacionales, Grupo de estudios en Geología Económica y Mineralogía Aplicada GEGEMA-UNAL y Grupo de Investigación de Pintura Rupestre Indígena GIPRI.
- UNESCO (1995) Convention concerning the protection of the world cultural heritage. World Heritage Committee, nineteenth session. Berlin.
- UNESCO (1995) National archaeological park of Tierradentro. whc.unesco.org/en/list/743
- Useche, L. A. (1990) Informe técnico – Tierradentro. Instituto Colombiano de Cultura.
- Vernaza, C. (2019) Informe Final de la Formulación de un mortero de inyección para la estabilización de las superficies decoradas del Hipogeo S12 de Tierradentro. Contrato 141 de 2019. Instituto Colombiano de Antropología e Historia.
- Villalba, L. (2010) Saneamiento ambiental curativo e identificación de algas deteriorantes los hipogeos de los altos de Segovia, Duende, Aguacate y San Andrés del Parque Arqueológico de Tierradentro - Cauca. Contrato de prestación de servicios No. 050 de 2010. Bogotá: Haerentia e Instituto Colombiano de Antropología e Historia.
- Villalba, L. (2012) Saneamiento ambiental curativo de los hipogeos de los altos de Segovia, Duende, Aguacate y San Andrés del Parque Arqueológico de Tierradentro - Cauca. Contrato de prestación de servicios No. 66 de 2012. Bogotá: Haerentia e Instituto Colombiano de Antropología e Historia.

- Villalba, L. (2015) Informe final de investigación. Acta de acuerdo específico no. 2 suscrito entre el Instituto Colombiano de Antropología e Historia y Haerentia S.A.S. Objeto: evaluar el impacto de la colonización o crecimiento de los agentes microbiológicos sobre la superficie de la toba volcánica y pintura rupestre, considerando el factor lumínico y la materialidad del soporte y evaluar el impacto del factor lumínico sobre los pigmentos previamente caracterizados. Bogotá: Haerentia e Instituto Colombiano de Antropología e Historia.
- Wright, V (2015) Tierradentro – Alto de Segovia, Colombia. Estudios arqueométricos de materiales colorantes. Lima, Perú. Instituto Francés de Estudios Andinos IFEA.
- Zuluaga, C. (2013) Contrato 85 de 2013. Informe de los trabajos de conservación realizados en el Parque Arqueológico de Tierradentro en el 2013. Instituto Colombiano de Antropología e Historia ICANH.
- Zuluaga, C. (2015) Contrato No. 055 de 2015. Informe de las actividades realizadas en el parque arqueológico Tierradentro. Grupo de Patrimonio Antropológico y Arqueológico – Instituto Colombiano de Antropología e Historia ICANH.

Anexos

- A. ANEXO: AUTORIZACIONES DE INTERVENCIÓN
- B. ANEXO: TABLAS Y GRÁFICOS DE TOMA DE MUESTRAS
- C. ANEXO: REPORTES DE ANÁLISIS INSTRUMENTALES
- D. ANEXO: RESULTADOS DE SOCIALIZACIÓN