



# UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Química

Caracterización físico-química de pigmentos minerales aplicados a soportes elaborados con componentes ancestrales, mediante análisis instrumental.

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Químico.

Autores:

Esteban Gustavo Cabrera Pulla

CI: 0106964604

Correo electrónico: esteban.gustavo193@gmail.com

Carlos Vinicio Maldonado Minchala

CI: 0106623952

Correo electrónico: carlosmldnd921@gmail.com

Director:

Christian Américo Cruzat Contreras

CI: 0107985681

**Cuenca, Ecuador**

21-diciembre-2021



## RESUMEN

El uso de los actuales productos estéticos de recubrimiento en las edificaciones de tierra ha generado inconvenientes estructurales por su baja permeabilidad, pues generalmente se requiere de un intercambio gaseoso que evite la acumulación de humedad interna. Por ende, el empleo de pinturas a base de pigmentos minerales se considera como más apropiado, ya que, brinda la permeabilidad adecuada y evita daños en la estructura, por este motivo en este proyecto se pretende analizar el acoplamiento de la pintura mineral y el recubrimiento o acabados en las estructuras de tierra. Para ello, se imitó la estructura de una pared a base de tierra, colocando en un recipiente el revoque, pañete y carbonato de calcio o cal como base acondicionadora. Posteriormente, se realizó un análisis visual durante y después de la aplicación de la pintura mineral, además, se emplearon técnicas instrumentales como la difracción de rayos X (DRX), Microscopía electrónica de barrido (MEB), Espectroscopía Infrarroja por transformadas de Fourier (FTIR), Espectroscopía ultravioleta visible (UV-vis) con la finalidad de determinar sus características físico-químicas del pigmento ,además, se incorporó un análisis de pH. Los resultados obtenidos demostraron que, en superficies de carbonato de calcio, la pintura mineral tiene un buen acabado en comparación con las superficies de cal. Dentro de los componentes de la pintura aplicada se pudieron identificar por DRX, cuarzo, alúmina ( $Al_2O_3$ ), caolinita, hematita, carbonato de calcio, y goethita, por FTIR grupos OH, silicatos, Si-O, Fe-O y cuarzo, por MEB hematita en forma de varillas alargadas y por UV-vis se estableció que el grupo cromóforo causante del color rojo en este pigmento mineral es producido por minerales de hierro, como la hematita. El análisis de pH identificó un valor de 7,12 cercano al neutro en soportes de carbonato, mientras que en cal fue de 11,04 alcalino con la formación de  $Ca(OH)_2$ .

**Palabras claves:** Pigmento mineral. Pintura. Revoque. Pañete. DRX. FTIR. UV-vis. MEB. Carbonato de calcio. Cal.



## ABSTRACT

The use of current aesthetic coating products in earthen buildings has generated structural problems due to their low permeability, since a gas exchange is generally required to avoid the accumulation of internal humidity. Therefore, the use of paints based on mineral pigments is considered more appropriate, since it provides adequate permeability and avoids damage to the structure. For this reason, this project aims to analyze the coupling of mineral paint and coating or finishes in earthen structures. For this purpose, the structure of an earthen wall was imitated by placing the revoque, pañete and calcium carbonate or lime as a conditioning base in a container. Subsequently, a visual analysis was performed during and after the application of the mineral paint, in addition, instrumental techniques such as X-ray diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), Ultraviolet Visible Spectroscopy (UV-vis) were used in order to determine the physical-chemical characteristics of the pigment, in addition, a pH analysis was incorporated. The results obtained showed that, on calcium carbonate surfaces, the mineral paint has a good finish compared to lime surfaces. Among the components of the applied paint, quartz, alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), kaolinite, hematite, calcium carbonate and goethite were identified by XRD, OH groups, silicates, Si-O, Fe-O and quartz by FTIR, hematite in the form of elongated rods by SEM and by UV-vis it was established that the chromophore group causing the red color in this mineral pigment is produced by iron minerals, such as hematite. The pH analysis identified a value of 7.12 close to neutral in carbonate supports, while in lime it was 11.04 alkaline with the formation of  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

**Keywords:** Mineral pigment. Paint. Revoque. Pañete. XRD. FTIR. UV-vis. SEM. Calcium carbonate. Lime.



## ÍNDICE

RESUMEN.....	2
ABSTRACT.....	3
ÍNDICE.....	4
ÍNDICE DE TABLAS.....	9
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	9
AGRADECIMIENTOS.....	14
DEDICATORIA.....	15
1. INTRODUCCIÓN.....	16
2. OBJETIVOS.....	18
Objetivo General.....	18
Objetivos Específicos.....	18
3. FUNDAMENTO TEÓRICO.....	18
Recubrimientos arquitectónicos ancestrales.....	19
Revocado de tierra.....	19
Materiales comúnmente usados para el revocado.....	20
Tierra arcillosa.....	20
Paja.....	20
Pañete.....	21
Material encalante.....	21
Pintura.....	22
Componentes principales de la pintura.....	23
Pigmento.....	23



Aglutinante.....	23
Disolvente.....	23
Técnicas de caracterización e identificación de pigmento mineral.....	24
Difracción de rayos X (DRX).....	24
Espectroscopia infrarroja por Transformadas de Fourier (FTIR).....	26
Proceso de absorción infrarroja.....	27
Espectroscopia Ultravioleta - Visible (UV-vis).....	28
Microscopía electrónica de barrido (MEB).....	29
pH.....	29
Aplicaciones de las técnicas de caracterización mineral.....	30
4. METODOLOGÍA.....	36
Materiales.....	36
Elaboración de la superficie de soporte.....	37
Primera capa.....	38
Segunda capa.....	40
Tercera capa.....	40
Elaboración de pintura mineral.....	41
Procedimiento para la obtención de la pintura mineral.....	42
Métodos de análisis.....	44
Análisis Físico.....	44
Difracción de rayos X (DRX).....	44
Espectroscopía Infrarrojo por transformadas de Fourier (FTIR).....	44
Espectroscopía Ultravioleta Visible (UV-vis).....	45
Microscopía electrónica de barrido (MEB).....	45



pH.....	45
Muestreo.....	46
5. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	47
Caracterización física visual de la pintura aplicada en soportes.....	47
Análisis DRX.....	48
Identificación de grupos funcionales por FTIR.....	52
Resultados UV-vis.....	56
Resultados MEB.....	58
Medidas de pH.....	60
6. CONCLUSIONES.....	62
7. RECOMENDACIONES.....	64
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
ANEXOS.....	74

### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Foto: Revocado de tierra en la parroquia Susudel del Cantón Oña .....	20
Figura 2 Foto: Acabados con Cal.....	22
Figura 3 Condiciones de difracción de rayos X en un grupo de planos reticulares.....	25
Figura 4 Difractograma de rayos X.....	25
Figura 5 Estructuras cristalográficas: Hematita 5a), cuarzo 5b), Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 5c), calcita 5d), caolinita 5e) y goethita 5f).....	26
Figura 6 Ejemplo de una espectroscopia infrarroja.....	27
Figura 7 Tipos de vibraciones de moléculas.....	28
Figura 8 Micrografía de óxido de hierro a 800x.....	31
Figura 9 Imagen MEB de Calcita 9a), Espectro EDS 9b).....	32



Figura 10 Estructura cristalográfica de hematita ( $Fe_2O_3$ , romboédrica) 10a), Pares Octaedros 10b) y Dímero 10c)..... 33

Figura 11 Micrografía TEM de: nanofibra de carbono 11a), nanopartículas metálicas en nanovásculas 11b), nanopartículas sueltas 11c), nanopartículas con nanocintas 11d), nanopartículas de unión e incrustación orgánica 11e), nanopalos 11f)..... 34

Figura 12 Espectros de infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR) de pigmentos rojo, amarillo, gris y verde..... 35

Figura 13 Picos de absorción de infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR) y sus asignaciones..... 35

Figura 14 Esquema de elaboración del soporte con la base acondicionadora..... 37

Figura 15 Fotos del proceso: tierra arcillosa 15a), adición de paja 15b), Mezcla 15c)..... 38

Figura 16 Soporte de madera con malla metálica..... 39

Figura 17 Fotos del proceso: adición de revoque en el soporte 17a), Adición de paja 17b), primera capa terminada y puesta a secar 17c)..... 39

Figura 18 Foto del proceso: Adición de pañete..... 40

Figura 19 Diagrama de producción de pintura mineral..... 41

Figura 20 Fotos del proceso: Triturado 20a), Disgregado 20b), Tamizado y filtrado 20c)... 42

Figura 21 Fotos del proceso: Dosificación de aglutinante 21a), Mezcla pigmento–aglutinante 21b)..... 43

Figura 22 Fotos de pintura aplicada a soportes de: Carbonato de calcio 22a) y Cal 22b).... 48

Figura 23 DRX de la pintura aplicada en Cal y Carbonato..... 49

Figura 24 DRX de pintura aplicada en Cal..... 50

Figura 25 DRX de pintura aplicada en Carbonato de calcio..... 50

Figura 26 Comparación de picos de difracción de componentes con la difracción de pintura en cal..... 51

Figura 27 Comparación de picos de difracción de componentes con la difracción de pintura en carbonato de calcio..... 51

Figura 28 Espectro IR del poliacetato de vinilo ..... 52



Figura 29 Espectro IR de la Pintura mineral.....	53
Figura 30 Espectro IR de pintura mineral en base acondicionadora de carbonato de calcio.....	54
Figura 31 Espectro IR de pintura mineral en base acondicionadora de Cal.....	54
Figura 32 UV-vis Pigmento.....	57
Figura 33 UV-vis Pintura mineral en superficie de carbonato.....	57
Figura 34 UV-vis Pintura mineral en superficie de Cal.....	58
Figura 35 MEB Pintura mineral aplicado a soportes de: carbonato 35a), cal 35b).....	59
Figura 36 MEB Pintura mineral en carbonato 36a), Pintura mineral en Cal 36b), Hematita (Hem),Cuarzo(Q), Hidróxido de calcio Ca(OH) <sub>2</sub> .....	59
Figura 37 Fotos del proceso 1° capa: Tierra arcillosa 37a), mezcla tierra arcillosa-arena 37b), adición de paja a la mezcla 37c), homogeneización 37d).....	74
Figura 38 Foto del Soporte 38a), aplicación de 1° capa 38b), aplicación de 2° capa (pañete) 38c).....	74
Figura 39 Fotos de etapa de acondicionamiento y secado 39a), soportes secos 39b).....	74
Figura 40 Foto de aplicación de la base acondicionadora con cal o carbonato 40a), capa acondicionadora seca 40b).....	75
Figura 41 Fotos de preparación de pintura: Mezcla de agua con pigmento mineral 41a), proceso de disgregación del pigmento 41b), tamizado y filtrado del pigmento 41c).....	75
Figura 42 Fotos de preparación de pintura : cuantificación de sólidos en la mezcla del pigmento filtrado 42a), dosificación de aglutinante 42b), mezcla de pigmento- aglutinante 42c).....	75
Figura 43 Foto de la aplicación de pintura mineral a soportes 43a), pintura seca en soportes de cal o carbonato 43b).....	76
Figura 44 Fotos de muestras para análisis: para FTIR extracción de pintura del soporte 44a) y recolección de las costras de pintura mineral 44b), para Uv-vis disoluciones de pintura mineral 44c).....	76





Figura 45 Fotos de muestras para análisis MEB extraído del soporte 45a), para DRX  
muestras de pintura molida extraída de los soportes 45b)..... 76

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Materiales y Equipos..... 36  
Tabla 2 Material encalante..... 41  
Tabla 3 Viscosidad para la preparación de la pintura roja..... 44  
Tabla 4 Muestras para análisis visual y de pH..... 46  
Tabla 5 Técnica instrumental y estado de muestra..... 47  
Tabla 6 Caracterización visual de pintura en soportes de Cal y Carbonato..... 48  
Tabla 7 Composición química de pintura aplicada en soportes analizados por DRX..... 49  
Tabla 8 Resultados FTIR..... 55  
Tabla 9 Medidas de pH..... 60  
Tabla 10 Variación de pH del pigmento en soportes..... 60

### ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Ley de Bragg..... 24  
Ecuación 2 Ley de Lambert- Beer..... 29  
Ecuación 3 Reacción de formación de cristales de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ..... 61



## Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

Esteban Gustavo Cabrera Pulla en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "**Caracterización físico-química de pigmentos minerales aplicados a soportes elaborados con componentes ancestrales, mediante análisis instrumental**", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 21 de diciembre de 2021



---

Esteban Gustavo Cabrera Pulla

C.I: 0106964604



## Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

Carlos Vinicio Maldonado Minchala, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación **“Caracterización físico-química de pigmentos minerales aplicados a soportes elaborados con componentes ancestrales, mediante análisis instrumental”**, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 21 de diciembre de 2021

Carlos Vinicio Maldonado Minchala

C.I.: 0106623952



## Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Esteban Gustavo Cabrera Pulla autor del trabajo de titulación "**Caracterización físico-química de pigmentos minerales aplicados a soportes elaborados con componentes ancestrales, mediante análisis instrumental**", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 21 de diciembre de 2021

---

Esteban Gustavo Cabrera Pulla

C.I: 0106964604



## Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Carlos Vinicio Maldonado Minchala, autor del trabajo de titulación **“Caracterización físico-química de pigmentos minerales aplicados a soportes elaborados con componentes ancestrales, mediante análisis instrumental”**, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 21 de diciembre de 2021

Carlos Vinicio Maldonado Minchala

C.I: 0106623952



## AGRADECIMIENTOS

### *Esteban Cabrera*

Agradezco a quienes formaron parte de mi educación y formación como profesional.

A la Universidad por darme la oportunidad de formar parte de esta prestigiosa institución.

A mi tutor Christian Cruzat por su apoyo en el desarrollo de esta investigación y la culminación del mismo.

### *Carlos Maldonado*

Doy gracias a Dios por guiar mi vida en cada instante y darme la oportunidad de conocer a las personas correctas que han contribuido a este logro, principalmente a mi mamita Aida Minchala que a pesar de las dificultades nunca me hizo faltar nada y ha sabido apoyarme en todos mis desaciertos; agradezco a mi tutor Christian Cruzat porque a pesar de las adversidades nunca se rindió para sacar adelante este proyecto, por último pero no menos importante un agradecimiento infinito a mi compañero y futuro colega Esteban Cabrera por su paciencia, sinceridad y sobretodo su amistad, infinitas gracias amigo, por fin puedo decir que lo logramos.



## DEDICATORIA

### *Esteban Cabrera*

Dedico este trabajo a todos quienes confiaron y me apoyaron en este proceso, especialmente a mi padre, Miguel Cabrera, quien me ayudó en todas mis necesidades para cumplir mis metas. A mi madre, Mariana Pulla, por su cariño, comprensión y paciencia. Mi hermano David, que confió en mí y me apoyó en todo momento. A mi hermana, Maritza, por librarme de la tensión al escuchar las anécdotas por las que pasaba a diario. Mi Hermana, Mayra por su amor y cariño. A mi tío, Alonso Nacipucha, quien me enseñó que lo más valioso en esta vida es la familia.

Finalmente, a mis amigos y compañeros que fueron un aliento y motivación cuando más lo necesitaba.

### *Carlos Maldonado*

Este proyecto va dedicado a mi mamita querida, a mi esposa Clarita y a mi amada hija Danna Sofía que han sido mi motor de arranque para salir adelante, por ustedes jamás me rendiré hasta dar el último aliento de mi ser.

Dedico también este proyecto a todos los profesores que me dieron un poco de su conocimiento para forjar el mío, hoy me debo a todas sus enseñanzas.



## 1. INTRODUCCIÓN

Desde los primeros asentamientos del hombre, en todo el mundo, la construcción con base de tierra se ha presentado de una u otra forma, y conforme se ha desarrollado el intelecto humano las distintas edificaciones han sufrido adaptaciones, tanto técnicas como culturales, a fin de satisfacer las necesidades del hombre y su entorno (Garzón & Martins Neves, 2007).

Según datos del INEC, en Ecuador existen alrededor del 21,5% de viviendas cuyas paredes están elaboradas por materiales alternativos como adobe, tapial, madera, bahareque, entre otros.(INEC, 2010) Dentro de este porcentaje se encuentran algunas de las edificaciones que representan la cultura ecuatoriana tradicional e incluso, forman parte del patrimonio cultural de la humanidad (Ceballos, 2019). Dentro de la base de datos del Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INPC) se registran alrededor de 170.000 bienes culturales de los cuales la gran mayoría fueron elaborados con arquitectura de tierra, es decir adobe, tapial u otros materiales ancestrales (INPC, 2018). En Azuay, según datos del último censo, existen alrededor de 38.000 edificaciones que representan el 20% del total de las viviendas de la provincia y dentro de estos bienes algunos son de mayor importancia, pues se encuentran catalogados como patrimonio cultural de la humanidad y es por esta razón, la relevancia de sostener y ejecutar una buena conservación y mantenimiento de este tipo de bienes ancestrales (Viteri & Castro, 2018).

Las edificaciones patrimoniales están siendo afectadas en su estructura tanto física como estética debido al uso de los diferentes productos de construcción que existen actualmente, puesto que, estos no poseen las características de permeabilidad, resistencia y aspecto, adecuadas para el tipo de estructura del bien inmueble. En el mercado actual se encuentran varios materiales de pigmentación que en edificaciones modernas garantizan la impermeabilidad o en su defecto, disminuyen la penetración de humedad en la estructura, evitando así problemas de deterioro. Por este motivo, se genera la necesidad de usar





pigmentos un tanto diferentes, que se acoplen a las características de las construcciones antiguas (Amaya Ruiz et al., 2018).

Hoy en día, se recrea este tipo de pinturas empleando pigmentos minerales, más no para las edificaciones actuales, sino para todas aquellas catalogadas como patrimonio. Puesto que, se ha determinado que el recubrimiento de este tipo de pigmentos tiene mejor compatibilidad con la estructura y muros de dichos inmuebles (Castilla, 2011).

En Ecuador, al recorrer los distintos cascos urbanos, principalmente de la sierra, se hace fácil reconocer las viviendas o edificaciones consolidadas con arquitectura de tierra. Sin embargo, estas son tratadas como cualquier otro inmueble al momento de darle color a sus fachadas, la cual no garantiza una estabilidad de sus paredes exteriores. En contraste, en la zona sur del país, en la provincia del Azuay y específicamente, en el cantón San Felipe de Oña y la parroquia Susudel, ya se ha iniciado la reutilización de pinturas elaboradas a partir de pigmentos naturales (Amaya Ruiz et al., 2018).

Para esta investigación se hace uso de los materiales proporcionados por el proyecto XVII-DIUC “Evaluación del desempeño de pinturas a base de pigmentos minerales en diferentes soportes”. En el cual, nosotros proponemos elaborar soportes con los materiales proporcionados por el proyecto, con el fin de simular una pared de tierra, y a través de esto analizar las características físico químicas del pigmento mineral en los distintos soportes. Esto se realizó por medio de un análisis físico visual, análisis de pH y la aplicación de técnicas instrumentales no destructivas que utilizan la radiación para la caracterización de materiales. Las técnicas propuestas son: difracción de rayos X (DRX), espectroscopía infrarroja por transformadas de Fourier (FTIR), espectroscopía de UV-Visible (UV-vis) y, por último, microscopía electrónica de barrido (MEB).



## 2. OBJETIVOS

### Objetivo General

Conocer las interacciones y características físico-químicas del acoplamiento entre el recubrimiento de pintura mineral y los materiales usados para el acabado de las fachadas y paredes de edificaciones o viviendas ancestrales del Azuay.

### Objetivos Específicos

- Elaborar una base de soporte usando revoque, pañete y una capa acondicionadora para la aplicación del pigmento mineral natural.
- Aplicar el pigmento mineral en los soportes de base acondicionadora de carbonato de calcio y cal para evaluar sus características fisicoquímicas.
- Conocer las características fisicoquímicas del pigmento que mejor interacción visual presenta en el momento inmediato al secado final.
- Determinar las características fisicoquímicas del acoplamiento del pigmento a la superficie del soporte.

## 3. FUNDAMENTO TEÓRICO

### Antecedentes

La historia de la pintura mineral no nace de forma reciente, pues se conocen algunas pinturas realizadas en la era del Paleolítico, como, por ejemplo: en las pinturas de la cueva de Altamira, donde se identifican una variedad de pigmentos, principalmente pinturas negras, ocre y rojas. Para conseguir estos colores o tonalidades, se machacaba un mineral denominado ocre, que una vez convertido en polvo se podía obtener pigmentos rojos, marrones y amarillos, y que posiblemente el pigmento negro lo elaboraban a partir de carbón (Miche, 2017).



En la época moderna, a nivel mundial era muy común que para los terminados de color de las construcciones de tierra se utilizaran ciertos minerales con una pigmentación particular o una tonalidad agradable, pero conforme han evolucionado los materiales constructivos y sus métodos de aplicación, este tipo de técnica fue considerada obsoleta a pesar de sus características ecológicas y de injerencia cultural (Quiteño, 2018).

Actualmente, en la provincia del Azuay, en el cantón de San Felipe de Oña y principalmente en la parroquia de Susudel, se ha retomado el uso de pinturas a base de pigmentos minerales siendo aplicados a fachadas con estructura de tierra para evitar el deterioro de la misma e incluso para darle el atractivo colonial que se ha perdido. De momento se dispone de los colores ocre rojo, beige y verde (Amaya Ruiz et al., 2018).

### **Recubrimientos arquitectónicos ancestrales**

Si observamos las distintas edificaciones a nuestro alrededor, podremos encontrar paredes y muros construidos con varios materiales e inclusive, en distintas épocas. Entre los principales materiales que se han usado podemos encontrar ladrillos, hormigón, mampostería y en algunos casos, tierra y piedra (Ceballos ,2015). No obstante, dichos materiales son cubiertos con la finalidad de proteger o embellecer, a estos acabados se los conoce como recubrimientos arquitectónicos. Por ejemplo, en las paredes exteriores, es común los recubrimientos orientados a la protección del deterioro causado por el ambiente, sin dejar de lado el factor decorativo. En el caso de las paredes interiores, estos recubrimientos se orientan más al embellecimiento e incluso, a mejorar las propiedades mecánicas, químicas o al acondicionamiento para uso industrial (Molina et al., 2020).

### **Revocado de tierra**

Actualmente existe una gran variedad de acabados para casi cualquier tipo de edificación, pero una de las principales técnicas de recubrimiento en muros o paredes de tierra es el revoco o enfoscado, que consiste en aplicar una capa continua y pastosa de tierra fina con

cierta plasticidad, que permita adherirse y pegarse a los muros al ser proyectada hacia estos manualmente con una paleta o llana, como se observa en la *Fig. 1* (Martínez, 2017).



*Figura 1 Foto: Revocado de tierra en la parroquia Susudel del Cantón Oña.*

Fuente: Martínez, 2015.

Para el embellecimiento final de este tipo de revestimiento es común aplicar una capa de arena fina y cal (u otros materiales de naturaleza similar) amasados con agua, con la finalidad de minimizar las irregularidades dejadas por el tratamiento anterior e incluso, generar un fondo blanquecino favorable para la aplicación de pinturas (Castilla, 2011 & Minke, 2014).

### **Materiales comúnmente usados para el revocado**

#### ***Tierra arcillosa***

Se puede decir, que son un tipo de árido, de partículas finas, medianas o gruesas, las cuales se pueden incorporar conjuntamente con arena a los materiales de construcción, para disminuir la aparición de fisuras por hinchamiento, aunque en la actualidad se ha dejado de usar por su contenido de limos y arcilla, que, por el contrario, pueden generar fisuras por contracción (Valle, Acosta & Salvatierra, 2011).

#### ***Paja***

Se denomina paja como “tallo de algunas gramíneas que luego de ser separado del grano es sometido a un proceso de secado” (Real Academia Española, sf). Existe otra variedad de



paja, a la que se le denomina “paja de páramo”. Esta era usada habitualmente para algunas artesanías y como material de construcción. Se caracteriza por ser un tallo fino, fresco o seco dependiendo de su uso final.

En la construcción la paja era mezclada en estado seco para mantener la adherencia del revoque en la pared, evitando grietas y aumentando la resistencia mecánica, puesto que la paja logra formar redes tridimensionales flexibles (Diez, 2020)

En épocas pasadas se creía que, con el paso del tiempo, la paja mezclada con arcillas o cascajos, sufre un proceso de putrefacción. Pero, por el contrario, al secarse por completo, el revoco mantiene una humedad lo suficientemente baja, debido a su contenido de arcillas, por consiguiente, dentro del revocado, se inhibe el desarrollo de los microorganismos que producen la putrefacción (Nitzkin & Termens, 2016).

### ***Pañete***

Constituye una pequeña capa de protección que se coloca sobre el revoque o terminado final, el cual se aplica en las paredes y muros ya sean de adobe, tapial o bahareque. Para su elaboración se utiliza una tierra con alto contenido de arena o con arena añadida, estiércol de vacas o caballos, agua y en ocasiones se añade cal y algún aglutinante como cola animal, savia de plantas, etc. (Rivera, 2007).

### ***Material encalante.***

Una de las formas más habituales de proteger las estructuras y revestimientos a base de tierra es el uso de materiales encalantes. La cal es uno de los principales encalantes, cuyas características brindan protección del agua y los agentes climáticos. La cal debe ser aplicada en forma de lechada de manera repetida hasta obtener una capa cuyo espesor sea considerable; para evitar este trabajo extra se puede añadir aglutinantes a la lechada para formar dicha capa de forma rápida.

La lechada de cal contribuye a la minimización de fisuras, brinda una textura interesante e incluso ayuda a obtener un color blanco puro que posteriormente puede ser decorado o pintado (*Fig. 2*) (Sarmiento, 2003)



*Figura 2 Foto: Acabados con Cal.  
Fuente: Sarmiento, 2003*

Por varios años la cal, hasta y después del uso del cemento, era el componente más habitual para encalar o proteger el revocado de tierra y pañete pudiendo llegar en ocasiones a ser el recubrimiento final encargado de dar color en las edificaciones con arquitectura de tierra (Pineda, 2017).

### **Pintura**

Una pintura es una sustancia líquida, semilíquida o de consistencia pastosa. Físicoquímicamente es un sistema disperso, comúnmente formado por partículas sólidas de fino tamaño que se encuentran diseminadas en un ambiente fluido, llamado vehículo. Este último, se conforma de dos partes: una sustancia aglutinante, conocida también como formadora de película o ligante, y una segunda parte formada por un solvente o combinación de solventes, que puede o no contener aditivos y en ocasiones plastificantes (Villashañay, 2020).



## Componentes principales de la pintura

### *Pigmento*

Se puede considerar como pigmento a toda sustancia orgánica o inorgánica que posee un tamaño reducido y presenta color, sea blanco o negro, y que cumpla las siguientes características:

- Insolubilidad en el aglutinante y en el medio con el que se pinta. Generalmente, el pigmento debe ser insoluble en agua, para garantizar una adecuada permanencia en la superficie.
- Debe poseer inercia química, a fin de evitar reacciones con otros pigmentos, aglutinantes o distintos agentes ambientales normales.

Debe presentar suficiente poder de cobertura y colorante, esta propiedad se considera de gran importancia en el caso de pinturas industriales (Salto & Zhagui, 2018).

### *Aglutinante*

En el estudio de los colores y pinturas se denomina aglutinante al componente encargado de unir entre sí las partículas de color, y también generar la adhesión de dichas partículas al sustrato donde son aplicadas. En algunas pinturas, los aglutinantes y disolventes pueden ser idénticos, un ejemplo son las pinturas al óleo (Bochaca, 2020). Por otra parte, existen pinturas que se componen de una disolución o dispersión del aglutinante en un disolvente. Ejemplo de este tipo de pinturas son las de carácter acuoso (Salto & Zhagui, 2018).

### *Disolvente*

Dentro de los componentes de las pinturas, se considera como disolvente a todo líquido o semilíquido con la capacidad de evaporarse, al formar una película o trazo y que puede disolverse en una determinada combinación orgánica o inorgánica, en referencia a la combinación entre pigmento y aglutinante (Doerne, 2001 & Carbonell, 2011).



## Técnicas de caracterización e identificación de pigmento mineral.

### Difracción de rayos X (DRX).

La DRX es una técnica instrumental que permite la caracterización de materiales, los cuales cumplen con la condición de tener una estructura cristalográfica definida, pues cuya difracción obtenida se debe a un conjunto de átomos en arreglo ordenado ocasionado por la interacción de los Rayos X y los cristales del material (Espinosa & Agustín, 2019).

La difracción se origina por el choque de los fotones incidentes contra los electrones finamente ligados a los átomos. Cada átomo irradiado del material se dispersa de manera individual en todas las direcciones. Dado que un material está formado por muchos átomos cada uno de ellos es una fuente de radiación, dentro de este ocurren fenómenos de interferencias constructiva o destructiva entre los rayos X dispersados. En determinadas direcciones del espacio, los rayos dispersados están en fase y producen una interferencia constructiva de ondas, ya que en estas direcciones es en donde se observa máximos de intensidad en la difracción. La coincidencia en la fase requiere que la diferencia del camino recorrido por los haces que interfieren constructivamente sea un múltiplo de la longitud de onda de la radiación incidente, y esta se le conoce como la condición o ley de Bragg (Ec.1) (Betancourth et al., 2010)

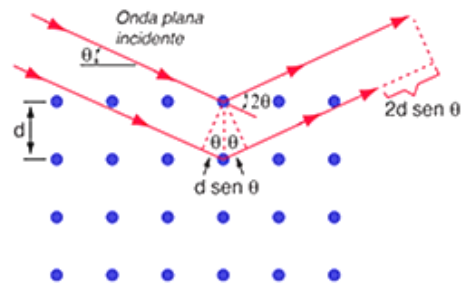
$$n\lambda = 2 d \sin\theta \quad (Ec.1)$$

En Donde:

- $n$ , es el orden de reflexión.
- $\theta$  es el ángulo formado entre la superficie de la muestra y la radiación incidente.
- $\lambda$ , longitud de onda.
- $d$ , es la distancia interplanar de la familia de planos que producen interferencia constructiva.



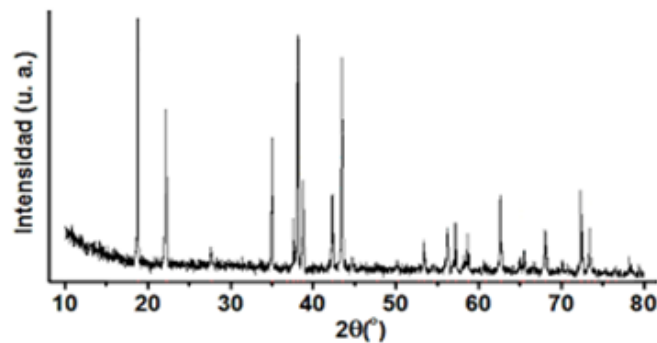
En la *Fig. 3* se visualiza las condiciones de difracción de rayos X en un grupo de planos reticulares



*Figura 3* Condiciones de difracción de rayos X en un grupo de planos reticulares.

Fuente: Cueva, 2017

### Difractograma de rayos X



*Figura 4* Difractograma de rayos X.

Fuente: Cueva, 2017

Los difractogramas recogen los datos de intensidad en función del ángulo de difracción  $2\theta$ , obtenido de la interacción entre los rayos X y la materia, de tal forma que generan una serie de picos como se observa en la *Fig. 4* (Cueva, 2017).

Los datos más relevantes obtenidos en el difractograma son:

- La posición de los picos, expresada en valores de  $\theta$ ,  $2\theta$ ,  $d$ .

- La intensidad de los picos. el mismo que se considera la altura de los picos, o para trabajos de mayor precisión, sus áreas. Al pico más intenso se le asigna un valor de 100 y el resto se reescalan respecto a este.
- El perfil de los picos.

A continuación, se visualizan estructuras cristalográficas 3D de minerales presentes en un suelo arcilloso de coloración roja como: la hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) romboédrica (Fig. 5a), cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) hexagonal (Fig. 5b),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  romboédrica (Fig. 5c), Calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) romboédrica (Fig. 5d), caolinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) (Fig. 5e), goethita ( $\text{FeOOH}$ ) ortorrómbica (Fig. 5f) (López et al., 2020).

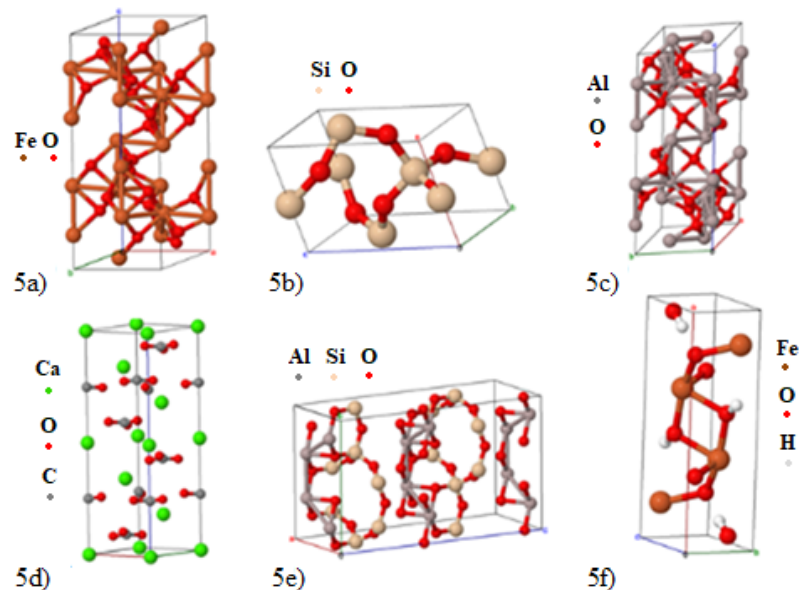


Figura 5 Estructuras cristalográficas: Hematita 5a), cuarzo 5b),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  5c), calcita 5d), caolinita 5e) y goethita 5f).

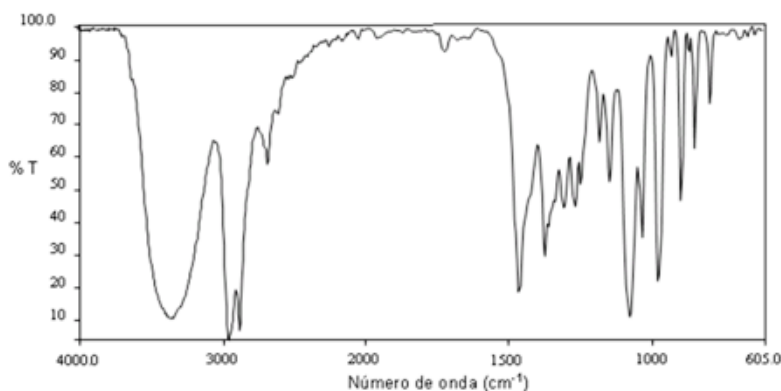
Fuente: Los autores

### Espectroscopia infrarroja por Transformadas de Fourier (FTIR)

El FTIR es una técnica espectroscópica vibracional, basada en la interacción entre la radiación electromagnética y el material en las regiones IR. Esta técnica permite analizar muestras cuantitativa y cualitativamente, tanto para muestras orgánicas como inorgánicas,

ya sean en estado sólido, líquido o gaseoso a través de un análisis de picos de absorción a una longitud de onda determinada.

El IR se divide en tres regiones: infrarrojo lejano ( $<25 \mu\text{m}$ ) o  $400 - 10 \text{ cm}^{-1}$ , infrarrojo medio ( $2.5-25 \mu\text{m}$ ) o  $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$  y el infrarrojo cercano ( $< 2.5 \mu\text{m}$ ) o regiones de  $14285 - 4000 \text{ cm}^{-1}$ . En la *Fig. 6* se visualiza un ejemplo de un espectro IR, a un infrarrojo medio (Rees,2010)



*Figura 6 Ejemplo de una espectroscopia infrarroja.  
Fuente: Rees, 2010*

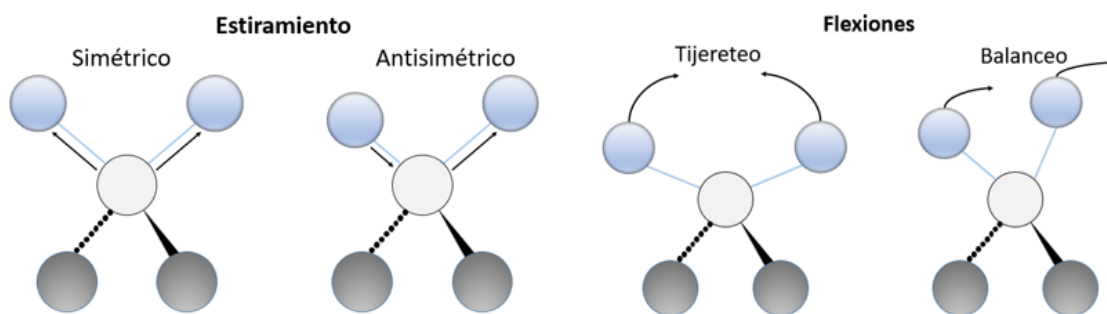
El espectro de FTIR se considera una huella o registro único de cada molécula, mismo que se puede obtener haciendo pasar una fuente de radiación a través de la muestra y determinando qué fracción de la radiación incidente se absorbe a una energía en particular. La absorción de la radiación de un compuesto a una longitud de onda dada, origina un descenso en el porcentaje de transmitancia (%T), lo que se manifiesta como un pico o banda de absorción en el espectro correspondiente a la frecuencia vibratoria de grupos funcionales en la molécula (Rees, 2010).

### **Proceso de absorción infrarroja**

La absorción molecular de la radiación electromagnética en la región IR, puede causar las transiciones entre los niveles de energía rotacional o vibracional del estado de energía eléctrica fundamental (el más bajo) en las moléculas. Los grupos funcionales presentes en la muestra absorberán solo frecuencias seleccionadas que corresponden a cambios de

energía del orden de 2 a 10 kcal/mol. La radiación en este rango corresponde a las frecuencias vibratorias de estiramiento y flexión (*Fig. 7a*) de los enlaces de las moléculas covalentes (Velandia, 2018).

Para absorber la radiación IR, los enlaces en la molécula deben tener un momento dipolar como  $\text{CH}_2$ . Los modos de vibración pueden ser estiramientos (cambio de longitud de enlace) o doblarse (cambio de ángulo de enlace). El estiramiento puede ser simétrico (en el plano) o asimétrico (fuera de plano), y la vibración de flexión se identifica como deformación cuando se mueve en la misma dirección o en dirección opuesta, como se muestra en la *Fig. 7* (Velandia, 2018).



*Figura 7 Tipos de vibraciones de moléculas.*

*Fuente: Los autores.*

### **Espectroscopia Ultravioleta - Visible (UV-vis).**

La UV-vis se basa en la absorción de radiación ultravioleta visible comprendida entre los 160 y 780 nm. La absorción causa la promoción de un electrón a un estado excitado (Escobar, 2015). Para el análisis de esta absorción se utiliza la ley de Lambert-Beer.

#### **Ley de Lambert-Beer**

Esta ley expresa la relación entre la absorbancia de luz monocromática y la concentración de un cromóforo en solución. Cuando un haz de radiación atraviesa a una especie absorbente, la potencia del haz incidente  $P_0$  se atenúa, disminuyendo hasta  $P$ . Se define la



transmitancia,  $T$ ; como la fracción de radiación incidente que consigue atravesar la muestra.

$$A = -\log T = \log \frac{P_0}{P} = \epsilon bc \quad (\text{Ec.2})$$

La ley de Beer es fundamental en el análisis cuantitativo al relacionar la absorbancia con la concentración. Donde  $\epsilon$  es la absorptividad molar,  $c$  concentración en moles/litro y el camino óptico  $b$  en centímetros. La absorptividad es una propiedad característica de la sustancia absorbente que depende de la longitud de onda (Escobar, 2015).

### **Microscopía electrónica de barrido (MEB).**

La microscopía electrónica de barrido se fundamenta en el bombardeo de un haz de electrones sobre una superficie a visualizar. Este haz de electrones pasa a través de una columna de alto vacío y enfocado por lentes electromagnéticas, los cuales se proyectan a la superficie rebotando o provocando la emisión de electrones secundarios de la muestra. Estos electrones dispersados son recogidos por detectores del equipo y proyectados a un computador, proporcionando una imagen del objeto (Sánchez Paredes, 2019).

Las ventajas del análisis por microscopía electrónica de barrido son: el rango de ampliación y la profundidad de campo de imagen. La profundidad de campo permite visualizar superficies que se encuentran a diferentes alturas. Esta profundidad de campo es dependiente de la divergencia del haz de electrones, el mismo que está definido por el diámetro de apertura del lente objetivo y la distancia entre la muestra (Goberna & Feraldos, 2011).

### **pH**

El estudio de las reacciones y mecanismos físicos de la pintura aplicada sobre una superficie se ven condicionados por la composición del pigmento, tipo de aglutinantes y la naturaleza fisicoquímica del substrato sobre el cual se aplica la mezcla de color. Además de fenómenos medioambientales, incidencia de luz, temperatura, humedad relativa y



contaminantes atmosféricos. Pues desde el momento en el que la pintura tiene contacto con la superficie a recubrir se suscitan fenómenos de orden químico y físico los mismos que están relacionados con la estabilidad, adherencia, secado, degradación y envejecimiento (Aguado, Fuster & Poli, 2017). Por el cual, el estudio del pH abarca desde la preparación de la pintura, sustrato o superficie acondicionadora y los aglutinantes empleados.

### **Aplicaciones de las técnicas de caracterización mineral.**

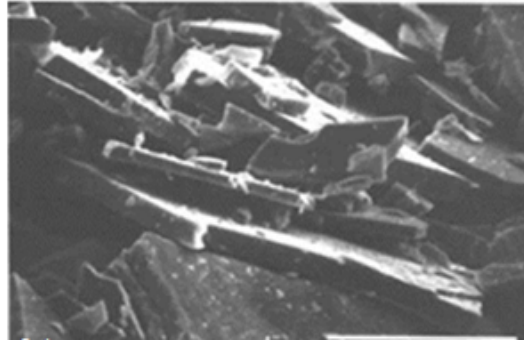
El estudio de las variaciones de pH de pigmentos con agregados minerales se emplean para describir los cambios físicos como envejecimiento y degradación química bajo condiciones medioambientales (Bochaca, 2020). Pues se ha demostrado que películas pictóricas al óleo tienden a hacerse ácidas con el paso del tiempo, y a pH cercano a la neutralidad éstas se han mantenido conservadas por más de 500 años en contacto con piedras areniscas (Aguado, Fuster & Poli, 2017).

Salto y Zhagui (2018) en su investigación “Obtención de pinturas a base de pigmentos minerales utilizando dos aglutinantes naturales y uno sintético”, determinaron que el pigmento rojo presentaba una buena adherencia y resistencia a condiciones medioambientales, pero este, al interactuar con los soportes de cal su adherencia se ve afectada.

Los métodos instrumentales para el análisis químico en la actualidad forma un papel importante en la producción o caracterización de materiales, ya que tiene como finalidad identificar su estructura, grado de cristalinidad, fases cristalinas, composición química e interacción entre los componentes que lo conforman, además, permite evaluar un sistema, encaminado al control de calidad o investigación (Huahuasoncco, 2019).

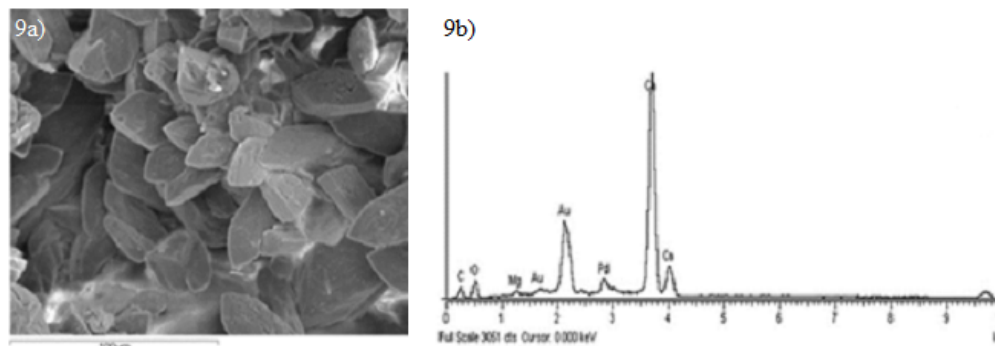
Dentro de los métodos instrumentales para la caracterización de materiales, tenemos a la microscopía electrónica de barrido (MEB), técnica de caracterización superficial no destructiva; el mismo que es empleado por su alta resolución y capacidad para analizar características morfológicas, estructurales y químicas. Por ejemplo, una investigación realizada por Restrepo, Forero y Díaz (2010), quienes investigaban las propiedades de una

pintura obtenida a partir de minerales de hierro, mediante un análisis MEB a 800x de ampliación como se observa en la *Fig. 8*, el óxido de Hierro o Hematita poseía una estructura laminar ideal para la obtención de un pigmento natural anticorrosiva, empleando como carga carbonato de calcio y talco.



*Figura 8 Micrografía de óxido de hierro a 800x.  
Fuente: Díaz, Forero & Restrepo, 2010*

Además, es recomendable apoyarse con la espectroscopía de dispersión de energía de rayos X (EDX), el cual permite una identificación de los componentes que intervienen en una muestra. Tal es el caso, de la caracterización analítica de morteros antiguos del yacimiento arqueológico romano de Pisões-Portugal, formada por piedras irregulares, colocadas al azar con un mortero preparado con agregados de cal y aditivos puzolánicos. Por MEB a un voltaje de aceleración de 15 kV y acoplado con un espectrómetro de rayos X de dispersión de energía Oxford (EDX) se observó la presencia de una microestructura compacta de calcita (*Fig. 9a*) y su verificación con el espectro EDX (*Fig. 9b*). Además, se encontró una cantidad notablemente alta de fragmentos cerámicos, los cuales garantizan una impermeabilidad, resistencia mecánica y durabilidad (Borsoi, Silva, Menezes, Candeias, & Mirão, 2019).



*Figura 9 Imagen MEB de Calcita 9a), Espectro EDS 9b)  
Fuente: Borsoi, Silva, Menezes, Candeias, & Mirão, 2019*

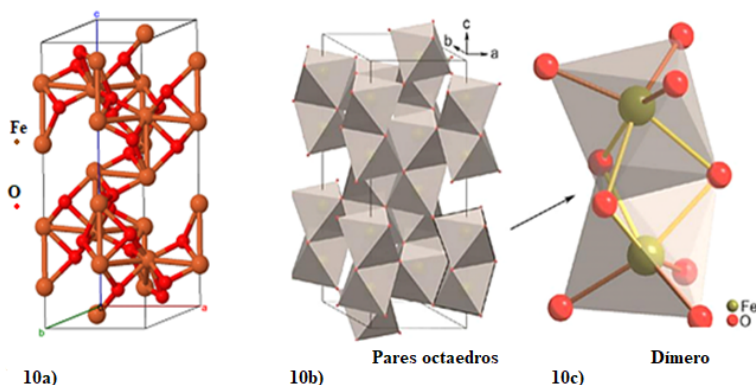
El análisis por DRX es una de las técnicas que se emplean con mayor frecuencia para determinar la composición de un material proveniente de una mina, cueva o de yacimientos arqueológicos. Tal es el caso de la caracterización de espeleotemas de magnetita, hematita, yeso, ópalo y minerales secundarios en la cueva del Pseudokast de Jaizkbel, España. Donde se identificaron minerales de cuarzo en una gran proporción en muestras de color naranja o pardo, además de componentes como aluminio, sodio y carbón en distintas zonas de las muestras (Galán & Vera, 2010).

El análisis por FTIR es un método no destructivo, y se emplea en este campo, para verificar la autenticidad de artefactos históricos que forman parte de una civilización (Valcárcel, 2020). El mismo que ha permitido definir la naturaleza química de pigmentos, colorantes, aglutinantes y sustratos presentes en una muestra (Edwards, 2017). Como ejemplo: Sánchez y Arroyave (2001), realizaron un análisis FTIR y DRX para evaluar un grupo de pigmentos que contenían magnetitas naturales, obtenidas de arenas negras de las playas de Colombia y Panamá, y una muestra de mineral de mina para la fabricación de pinturas epóxicas. El pigmento fue preparado en pastillas de KBr al 2% finamente pulverizado y llevado a un espectro fundamental entre 4000 y 400  $\text{cm}^{-1}$ . Las muestras de magnetita panameña atlántica y pacífica, presentaron una banda característica de la magnetita a los 566  $\text{cm}^{-1}$ . En la magnetita colombiana proveniente de dunas de arenas negras del río Magdalena, se



presentaron bandas características de ilmenita ( $\text{FeTiO}_3$ ) entre  $800$  y  $900 \text{ cm}^{-1}$ , mismas que fueron determinadas inicialmente por DRX.

La espectroscopía de UV-vis desde la aparición en la década de los 40, ha contribuido notablemente a los análisis de las interacciones de los compuestos con la luz (Rodríguez & García, 2016). Pues a través de los análisis de espectros UV-vis, según Da Silva (2020), la hematita de estructura cristalográfica romboédrica (*Fig 10a*) inicia la absorción de fotones en la región infrarroja y se extiende a la región ultravioleta, lo que le da a este material un color ligeramente rojizo. Las propiedades ópticas y eléctricas de este material está dada por la distorsión de pares octaedros (*Fig 10b*) el cual se ve afectada por la proximidad de los átomos  $\text{Fe}^{+3}$  en los dímeros  $\text{Fe}_2\text{O}_9$  (*Fig. 10c*), debido a repulsiones electrostáticas.

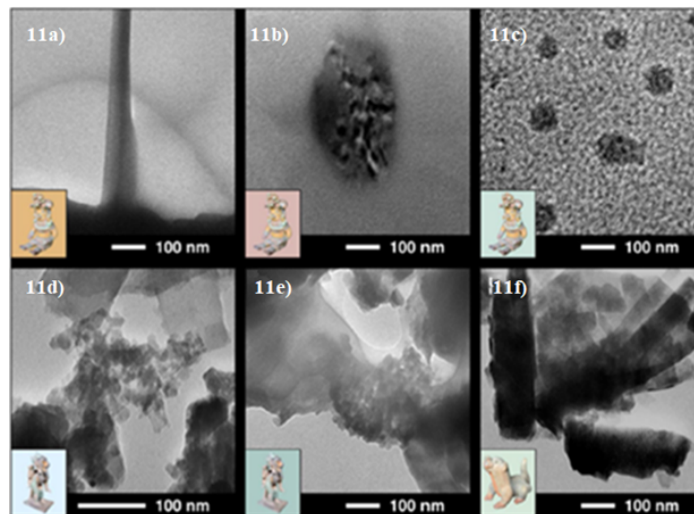


*Figura 10 Estructura cristalográfica de hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , romboédrica) 10a), Pares Octaedros 10b) y Dímero 10c).*

*Fuente: Da Silva, 2020*

El espectro de absorción de la hematita es el resultado de tres tipos de transiciones electrónicas: (i) transiciones de campo enlazante (d-d), (ii) transferencia de carga enlazante al metal ( $\text{Fe}^{+3}\text{-O}$ ) o metal a metal ( $\text{Fe}^{+2}\text{- Fe}^{+3}$ ) y (iii) excitación de pares resultantes de la excitación de dos cationes de  $\text{Fe}^{+3}$  que ocupan sitios adyacentes. Las transiciones de carga que involucran  $\text{Fe}^{+3}\text{-O}$  y  $\text{Fe}^{+2}\text{- Fe}^{+3}$  son las principales responsables de la absorción de luz en la región visible (Da Silva, 2020).

En el Ecuador se han caracterizado restos de piezas arqueológicas que han formado parte de la cultura de este país. Entre una de las más recientes investigaciones, Sánchez y colaboradores (2019), realizaron una caracterización arqueométrica de la cerámica ecuatoriana, empleando técnicas instrumentales como: Microscopía electrónica de transmisión (TEM), espectroscopía raman, FTIR, EDX y MEB. En esta investigación se encontraron varios tipos de estructuras como por ejemplo: en pigmentos amarillentos nano fibras de carbono (*Fig. 11a*), en pigmentos rojos nanopartículas metálicas dentro de nanovásculas (*Fig. 101b*), en extracciones de pigmento rojo y verde nanopartículas sueltas (*Fig. 11c*), en pigmento azul nanopartículas con nanocintas (*Fig. 11d*), nanopartículas de unión e incrustación orgánica (*Fig. 11e*) en pigmento verde, por último, nanopalos en pigmento rojo- verde (*Fig. 11f*), cuyas estructuras pueden estar asociadas con la hematita.



*Figura 11 Micrografía TEM de: nanofibra de carbono 11a), nanopartículas metálicas en nanovásculas 11b), nanopartículas sueltas 11c), nanopartículas con nanocintas 11d), nanopartículas de unión e incrustación orgánica 11e), nanopalos 11f).*

*Fuente: Sánchez et al., 2019*

También se realizaron mediciones de FTIR en los distintos pigmentos como se observa en la *Fig. 12*). Atribuyendo a picos de absorción de  $3236$  y  $3250\text{ cm}^{-1}$  a iones hidroxilo de minerales arcillosos,  $3140\text{ cm}^{-1}$  como óxido férrico hidratado, mismo que permite distinguir entre hematita y goethita. Los picos  $1450$  y  $1025\text{ cm}^{-1}$  se le asignaron a un estiramiento del Si-O, mientras que picos débiles en  $694$ ,  $776$  y  $521\text{ cm}^{-1}$  se asignan a modos de

deformación que involucra el resto de Si-O atribuible al cuarzo SiO<sub>2</sub>. La absorción débil de 1627 cm<sup>-1</sup> corresponde a C=C que sugiere la presencia de aglutinantes orgánicos. Finalmente se asignan los estiramientos C-N a 1237 cm<sup>-1</sup> y N-H 1737 cm<sup>-1</sup> (Sánchez et al., 2019) . De manera resumida en la *Fig. 13*) se registran los picos infrarrojos y sus respectivas asignaciones, correspondiente a pigmentos rojo, amarillo, gris y verde.

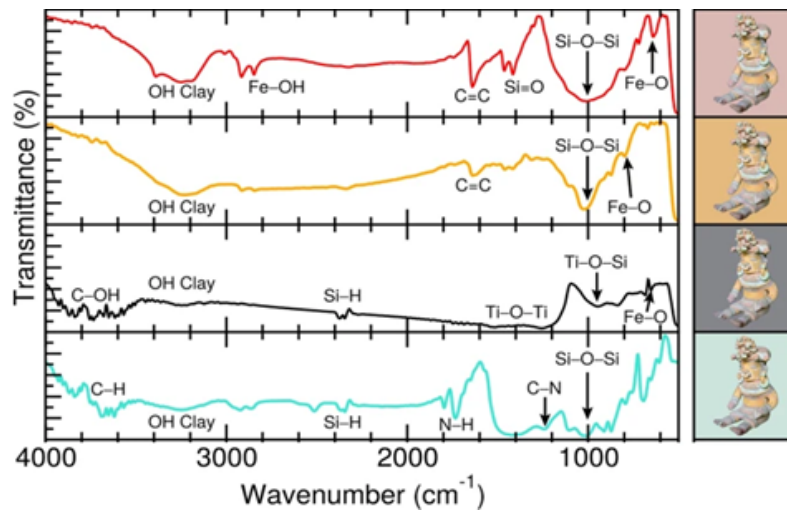


Figura 12 Espectros de infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR) de pigmentos rojo, amarillo, gris y verde.

Fuente: Sánchez et al., 2019

Sample	FTIR (cm <sup>-1</sup> )	Assignment
	3236	OH Clay Minerals <sup>a</sup>
	2858	Fe-OH <sup>b</sup>
	1627	C=C <sup>b,c</sup>
	1389	S=O <sup>c</sup>
	997	Si-O-Si <sup>a</sup>
	619	Fe-O <sup>b</sup>
	3222	OH Clay Minerals <sup>a</sup>
	1627	C=C <sup>c</sup>
	997	Si-O-Si <sup>a</sup>
	799	Fe-O <sup>a</sup>
	3936-3488	C-OH
	2368	C=C <sup>c</sup>
	1400, 941	Ti-O-Si <sup>c</sup>
	634	Fe-O <sup>b</sup>
	3250	OH Clay Minerals <sup>a</sup>
	1724	N-H <sup>f</sup>
	1237	C-N <sup>g</sup>
	1039	Si-O-Si <sup>a</sup>

Figura 13 Picos de absorción de infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR) y sus asignaciones.

Fuente: Sánchez et al., 2019



## 4. METODOLOGÍA

### Materiales

Para el estudio de la pintura mineral aplicados a superficies con base acondicionadora de Cal y Carbonato, partimos desde la elaboración del soporte (con el objetivo de simular una pared o muro de una edificación antigua) y la preparación de la pintura mineral, Para ello se requirió de los materiales descritos en la *Tabla 1*.

*Tabla 1 Materiales y Equipos*

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>
- Soporte para revoque	- Viscosímetro (Copa Ford N°4)
- Tierra arcillosa	- Disco cowles
- Paja	- Cronómetro digital
- Pañete	- Disgregador IKA EUROSTAR 20 digital
- Carbonato de calcio	- pH metro BOECO BT-600
- Cal	- Balanza analítica
- Aglutinante (Poliacetato de vinilo)	
- Pigmento mineral	
- Agua	
- Espátula	
- Mortero de cerámica	
- Brocha	
- Tamiz N°80 ASTM	
- Balde de 20 litros	
- Pala	

Los materiales como la tierra arcillosa, paja, pañete, sustancias encalantes (cal y carbonato), el aglutinante y los pigmentos minerales fueron adquiridos mediante el proyecto XVII-DIUC “Evaluación del desempeño de pinturas a base de pigmentos minerales en diferentes soportes” numero 2040000 07 1688. La tierra arcillosa es procedente del sur de la provincia de Azuay, específicamente del cantón San Felipe de Oña. También se utilizó arena común de tipo constructivo con un tamizaje o tamaño de grano fino; los materiales encalantes son de uso industrial, el pañete y paja son los materiales comúnmente usados en la arquitectura de tierra; el aglutinante usado es conocido como cola plástica o simplemente cola, fabricada por ADHEPLAST C. LTDA cuyo componente principal es el acetato de polivinilo (PVA).

### Elaboración de la superficie de soporte.

El proceso fue dividido por tres capas, una a continuación de la otra. Previo a la aplicación de la pintura mineral como se describe en la *Fig. 14*.

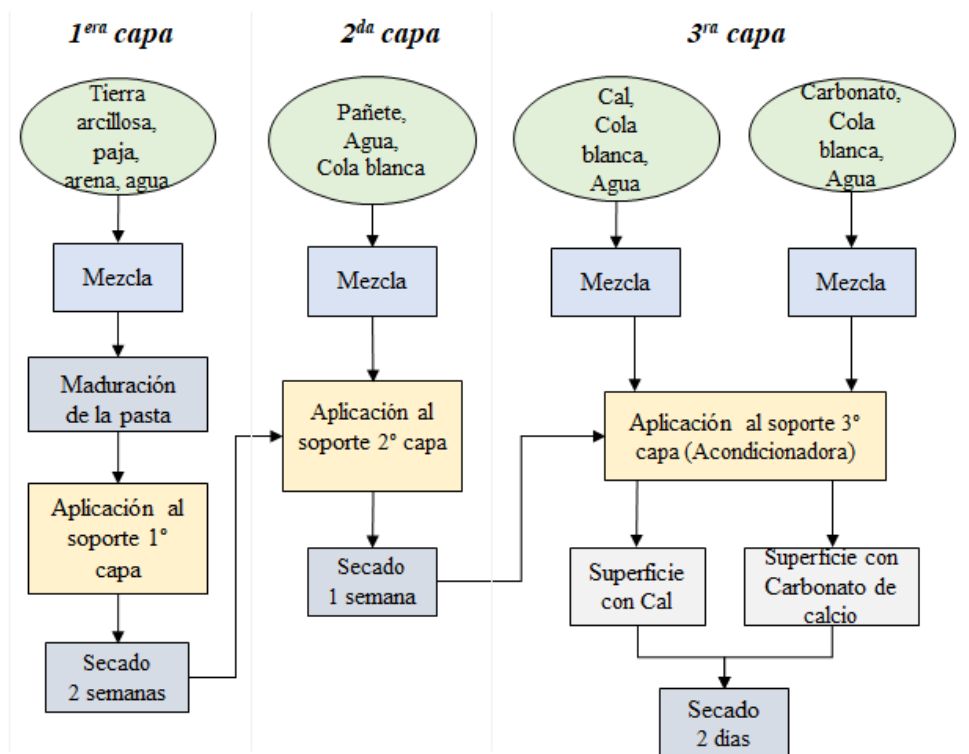


Figura 14 Esquema de elaboración del soporte con la base acondicionadora.

Fuente: Los autores

### ***Primera capa.***

En la *Figura 15* (Fotos del proceso) se presenta los componentes y la preparación de la primera capa como son: Tierra arcillosa (*Fig. 15a*), 25% arena/tierra arcillosa y 20% paja/tierra arcillosa (*Fig. 15b*) y la mezcla de estos componentes con agua, hasta formar una pasta consistente y homogénea (*Fig. 15c*).



*Figura 15 Fotos del proceso: tierra arcillosa 15a), adición de paja 15b), Mezcla 15c).*

*Fuente: Los autores*

La pasta se deja reposar por 8 días, este proceso se denomina maduración y contribuye a la humectación completa de los elementos presentes y a la formación de microorganismos que disminuyen el contenido de materia orgánica, ayudando a mejorar la plasticidad de la mezcla.

La mezcla se coloca en un molde que posea una capacidad de respiración alta con el fin de minimizar el tiempo de secado posterior. Para este caso, se usó un molde de madera rectangular, cuya cara posterior presenta una malla de uso constructivo (*Fig. 16*).



Figura 16 Soporte de madera con malla metálica.

Fuente: Los autores

Dicha mezcla se aplica en el soporte tratando de obtener una distribución equitativa del material y un espesor entre 1,5 a 2 cm considerado como idóneo para disminuir las irregularidades de las paredes de adobe. (Fig. 17a). Al alcanzar los 2 cm de espesor, se aplica una capa de paja (Fig. 17b) y sobre este, una fina capa de revoque para cubrirla como se observa en la Fig. 17c, esto ayudará a minimizar el agrietamiento excesivo, producto de la contracción en el proceso de secado.



Figura 17 Fotos del proceso: adición de revoque en el soporte 17a), Adición de paja 17b), primera capa terminada y puesta a secar 17c).

Fuente: Los autores.

A continuación, se deja reposar por al menos 15 días para garantizar que esta masa esté completamente seca, cabe recalcar que, desde este punto en adelante, no debe ser sometido a la luz directa del Sol u otra fuente de calor que produzca un secado brusco, pues esto genera fisuras o grietas por la evaporación rápida del agua contenida.

### ***Segunda capa.***

Luego del secado se procede a la aplicación del pañete como segunda capa, esta se prepara usando una mezcla de pañete y una solución de agua-cola plástica al 20%, hasta obtener una mezcla capaz de ser manipulada, esta última se coloca sobre la primera capa, teniendo en cuenta de igual forma una distribución adecuada y un espesor como máximo de 0,5 cm (*Fig. 18*).



*Figura 18 Foto del proceso: Adición de pañete.*

*Fuente: Los autores*

Una vez aplicado se deja secar durante 7 días, en el caso de presentar un agrietamiento excesivo se puede dar un retoque o segunda mano para cubrir las grietas que puedan presentarse. Esta capa de retoque no debe ser superior a los 0,5 cm.

### ***Tercera capa.***

Previo a cualquier tipo de tratamiento, decoración o embellecimiento de los muros y paredes de tierra se requería la aplicación de una capa acondicionadora la cual se encargará de evitar erosión y deterioro de los materiales de revoque, incluso esta capa minimiza las fisuras que pudieran haber quedado de los tratamientos anteriores y brinda un color blanquecino el cual en algunos casos es el terminado completo y en otros se usa como fondo para aplicación de pintura. Esta capa acondicionadora o encalante es el resultado de mezclar un disolvente (agua), aglutinante (Cola plástica) y el material encalante.



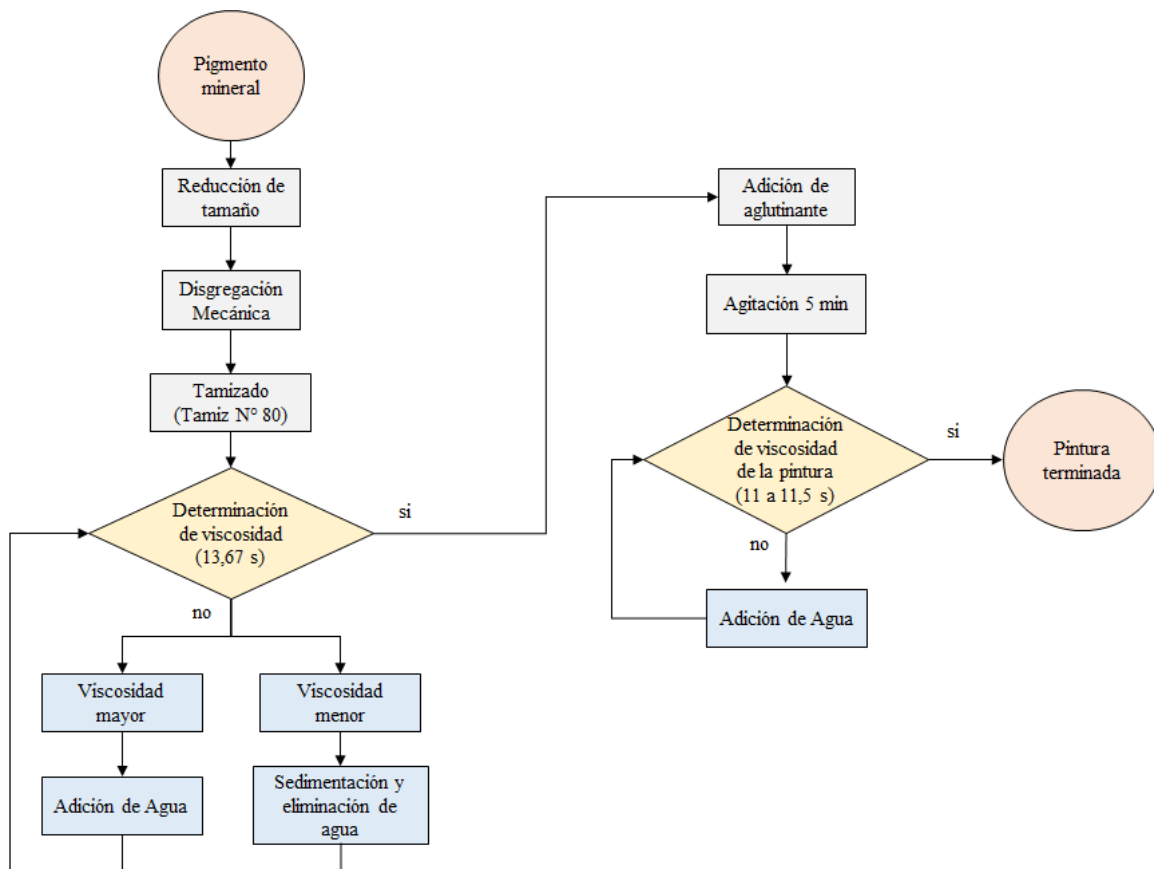
Para el presente estudio se consideró una variante en cuanto al material encalante usando Óxido de Calcio (Cal) y Carbonato de Calcio ( $\text{CaCO}_3$ ). siguiendo la relación entre encalante, cola y agua que se detalla en la *Tabla 2*.

*Tabla 2 Material encalante*

Descripción	Encalante (g)	Cola plástica(g)	Agua(g)
Carbonato	100,0	100,4	120,0
Cal	100,0	100,0	100,0

### Elaboración de pintura mineral

Para la obtención de pinturas a base de pigmento minerales, utilizando como aglutinante sintético (PVA), descrito en el diagrama de la *Fig. 19*.



*Figura 19 Diagrama de producción de pintura mineral.*

*Fuente: Salto & Zhagui,2018*

### Procedimiento para la obtención de la pintura mineral.

1. Se trituro el pigmento mineral hasta obtener partículas de un tamaño aproximado a 1 cm de diámetro con la ayuda de un mortero, como se observa en la *Fig. 20a*.
2. Se adicionó agua con el objetivo de hidratar completamente el pigmento y fragmentarlo fácilmente (se puede dejar en reposo por 24 horas).
3. Disgregado con la ayuda de un agitador y una turbina (4000 rpm durante 20 min) como en la *Fig. 20b*.
4. El material disgregado se filtra con un tamiz malla N° 80 con la ayuda de una brocha, y el líquido obtenido se coloca en un recipiente limpio y seco (*Fig. 20c*).



*Figura 20 Fotos del proceso: Triturado 20a), Disgregado 20b), Tamizado y filtrado 20c).*

*Fuente: Los autores*

5. El líquido filtrado se debe someter a una prueba de viscosidad con ayuda de la Copa Ford N°4 y un cronómetro para determinar su tiempo de flujo hasta obtener la viscosidad de la *Tabla 3*. De acuerdo al resultado de viscosidad se toman las siguientes decisiones:
  - a) Viscosidad inferior al rango: se debe dejar sedimentar durante al menos un día y retirar cierta cantidad de agua que pueda permitir alcanzar el rango de viscosidad.

- b) Viscosidad superior al rango: se debe añadir la cantidad de agua necesaria para alcanzar el rango de viscosidad.
6. Determinar la cantidad de sólidos (diferencia de pesos - secado) y dosificar la cantidad de aglutinante (*Fig. 21a*) para obtener la viscosidad de 11 a 11,50 segundos de flujo a través de copa Ford N°4, según Salto & Zhagui (2018).
7. Agregar el aglutinante y agitar por 5 min (*Fig. 21b*).



*Figura 21 Fotos del proceso: Dosificación de aglutinante 21a), Mezcla pigmento – aglutinante 21b).*  
*Fuente: Los autores*

En ocasiones la pintura preparada puede presentar un aumento brusco de la viscosidad al agregar el aglutinante y de ser necesario se puede añadir agua siguiendo los pasos establecidos por Salto & Zhagui (2018).

Una vez preparado el soporte y este a su vez se encuentre seco, se procede a la aplicación de la pintura mineral con la ayuda de una brocha. A cada uno de los soportes elaborados se le aplica dos capas de pintura para que su cobertura sea homogénea y con buen contraste. En el caso de no ser uniforme la pintura aplicada en la superficie acondicionadora se le aplica hasta una tercera capa de pintura.



Tabla 3 Viscosidad para la preparación de la pintura roja

Pigmento	Viscosidad inicial (s)	% sólidos	Viscosidad con aglutinante (s)
Rojo	13,67	29,60	11- 11,50

Fuente: Salto & Zhagui, 2018

### Métodos de análisis.

Los análisis instrumentales como DRX y MEB fueron realizados en el laboratorio de caracterización de nanomateriales CENCINAT-ESPE, Quito-Ecuador. Por otro lado, el análisis de espectroscopía UV-vis y el análisis FTIR se realizó en las instalaciones de la Universidad de Cuenca.

### Análisis Físico

Para este análisis se tomó en consideración soportes con capa acondicionadora de carbonato de calcio y cal con pintura mineral aplicada. Dentro de estos se evalúan la capacidad de cobertura, adherencia de la pintura mineral, estado superficial (lisa o porosa) y la intensidad de color de la pintura mineral aplicada sobre la base acondicionadora.

### Difracción de rayos X (DRX).

Para el análisis de DRX se ocuparon las muestras sustraídas de soportes de base acondicionadora de cal y carbonato. Estos fueron molidos y tamizados a un diámetro de partícula inferior a 10  $\mu\text{m}$ . Estas muestras fueron estudiadas en el equipo EMPYREAN PANanalytical, ánodo de cobre con un ángulo de barrido  $2\theta$ , emitiendo una longitud de onda de 1,54 Å.

### Espectroscopía Infrarrojo por transformadas de Fourier (FTIR).

Se realizó el análisis de FTIR a los siguientes compuestos: PVA seco, pintura mineral seca, Costras de la pintura aplicada en los soportes en base acondicionadora de cal y Costras de la pintura aplicada en los soportes en base acondicionadora de carbonato de calcio, en el equipo Thermo Scientific™ Nicolet™ iS™ 5, con un barrido espectral de 4000  $\text{cm}^{-1}$  a 600



$\text{cm}^{-1}$  con el objetivo de determinar las vibraciones de enlaces presentes en la muestra de PVA y la pintura en la distinta base acondicionadora.

### **Espectroscopía Ultravioleta Visible (UV-vis).**

Se realizó un análisis UV-vis en el equipo Thermo Scientific GENESYS 10s a pigmento mineral de pintura seca sustraída después de ser aplicada en soporte de base de cal y pintura seca sustraída después de ser aplicada en el soporte de base de carbonato, con el objetivo de determinar los iones de metal causante de la coloración del pigmento. La muestra de pigmento mineral fue diluida en agua destilada al 15 %P/V, mientras que la muestra sustraída de la base de cal y carbonato fueron molidas con la ayuda de un mortero cerámico para luego ser diluidas al 15 % P/V. Posteriormente, estas muestras fueron sometidas a baño ultrasónico durante 15 min a temperatura ambiente, 25 °C. Finalmente, las muestras se colocaron en la celda de cuarzo para su lectura en el equipo.

### **Microscopía electrónica de barrido (MEB)**

Se realizó el análisis MEB a muestras sólidas extraídas del soporte con capa acondicionadora de Cal y Carbonato cuyas dimensiones fueron: 1  $\text{cm}^2$  de superficie por 1 cm de espesor. Utilizando el microscopio electrónico de barrido marca TESCAN modelo MIRA 3. Para su análisis las muestras fueron colocadas sobre una capa de cinta de carbono doble faz en un portamuestra especial para microscopía y fijados a los extremos con una cinta de plata. A continuación, las muestras fueron cubiertas con oro mediante un evaporizador Sputter Coating Quorum Q105R bajo las siguientes condiciones: 15 mA y 80 mTorr por 60 segundos. Las observaciones MEB se realizaron con el detector de electrones secundarios (SE) con un voltaje de aceleración de 7kV.

### **pH**

Para el análisis de pH se tomaron muestras de pigmento líquido, aglutinante, base acondicionadora de carbonato de calcio, cal y la mezcla conjunta con el cual tiene en



contacto la pintura. Las medidas de pH se tomaron empleando el equipo pH metro BOECO BT-600.

### Muestreo

Para el análisis físico visual se tomaron en consideración a soportes con capa acondicionadora de Cal y Carbonato con cobertura de pintura mineral, con un total de 12 soportes analizados, descritos en la *Tabla 4*.

Para el análisis de pH se tomaron las muestras considerando las mezclas con y sin el aglutinante (PVA) como se describe en la *Tabla 4*.

*Tabla 4 Muestras para análisis visual y de pH*

<b>Análisis Visual</b>	<b>Análisis de pH</b>
6 Soportes de Cal + Pintura mineral.	PVA
6 Soportes de Carbonato + Pintura mineral.	Pigmento rojo
	Pigmento rojo + PVA
	Carbonato + PVA
	Cal + PVA
	Pigmento rojo + Carbonato + PVA
	Pigmento rojo + Cal + PVA

En cuanto al análisis fisicoquímico instrumental este se realiza mediante Difracción de rayos X (DRX), Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), espectroscopía Infrarroja por Transformadas de Fourier (FTIR) y espectrofotometría Ultravioleta-Visible (UV-Vis). Las muestras fueron tomadas de acuerdo a la técnica instrumental a emplearse descritos en la *Tabla 5*.

Tabla 5 Técnica instrumental y estado de muestra

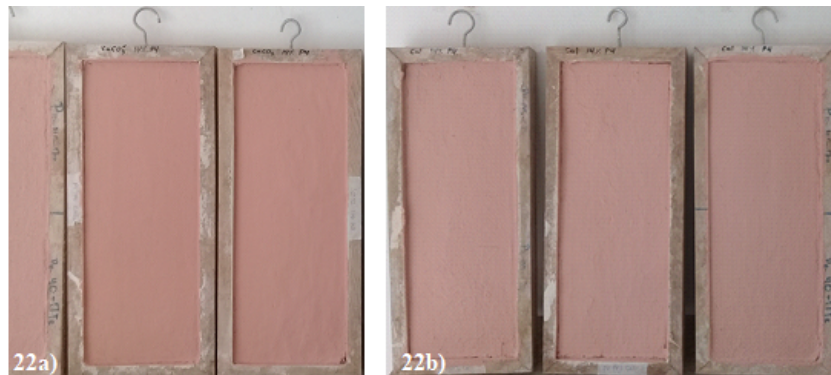
Técnica Instrumental	Muestra
DRX	<ul style="list-style-type: none"><li>● Muestras en polvo de pintura menor a 10 um extraído de soportes con base acondicionadora de Cal y Carbonato.</li></ul>
FTIR	<ul style="list-style-type: none"><li>● PVA sólido seco.</li><li>● Pintura mineral seca.</li><li>● Costras de pintura en base acondicionadora de cal.</li><li>● Costras de pintura en base acondicionadora de carbonato de calcio.</li></ul>
UV-vis	<ul style="list-style-type: none"><li>● Pigmento rojo líquido diluido al 15 %P/V</li><li>● Costra molida de pintura aplicada en base acondicionadora de cal, diluida en agua destilada al 15% P/V.</li><li>● Costra molida de pintura aplicada en base acondicionadora de carbonato de calcio, diluido en agua destilada al 15 % P/V.</li></ul>
MEB	<ul style="list-style-type: none"><li>● Muestra sólida extraída de la pintura aplicada en soportes con base acondicionadora de Cal y Carbonato de 1 cm<sup>2</sup> de superficie por 1 cm de espesor.</li></ul>

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### Caracterización física visual de la pintura aplicada en soportes.

En la *Tabla 6* se presentan las características visuales de la pintura aplicada en los distintos soportes. Entre estos destaca, la buena cobertura de la pintura sobre el soporte de base acondicionadora de carbonato de calcio (*Fig. 22a*), mientras que, la cobertura de la pintura aplicada sobre la cal (*Fig. 22b*) se ve afectada por la efervescencia que se produce durante su aplicación, por lo cual requiere una capa de pintura adicional. La superficie de acabado varía de acuerdo a la base acondicionadora, observando una superficie áspera de la pintura

aplicada sobre cal (*Fig. 22b*). Mientras que, en la superficie de carbonato, ésta se encuentra lisa. En ambos soportes la adherencia de la pintura es buena. No se observa levantamiento de pintura, ni fisuras luego del secado en ninguno de los soportes. Finalmente, se observa un cambio de tonalidad de la pintura en el soporte de cal, perdiendo la intensidad del color a diferencia de la pintura aplicada en carbonato.



*Figura 22 Fotos de pintura aplicada a soportes de: Carbonato de calcio 22a) y Cal 22b).*

*Fuente: Los autores*

*Tabla 6 Caracterización visual de pintura en soportes de Cal y Carbonato*

<b>Pintura</b>	<b>Soporte con Carbonato</b>	<b>Soporte con Cal</b>
Ocre roja	- Buena capacidad de cobertura.	- Buena cobertura.
	- Superficie lisa.	- Superficie ligeramente áspera.
	- Buena adherencia.	- Buena adherencia
	- Tonalidad clara.	- Perdida de intensidad de color.

### **Análisis DRX.**

Se analizaron las DRX de las muestras extraídas de los soportes con base acondicionadora de cal y carbonato (*Fig. 23*). Se identificaron las distintas fases minerales de la pintura aplicada en el soporte, los cuales presentan un carácter multicomponente (*Tabla 7*), por lo que no es posible asignar los picos a una sola fase.



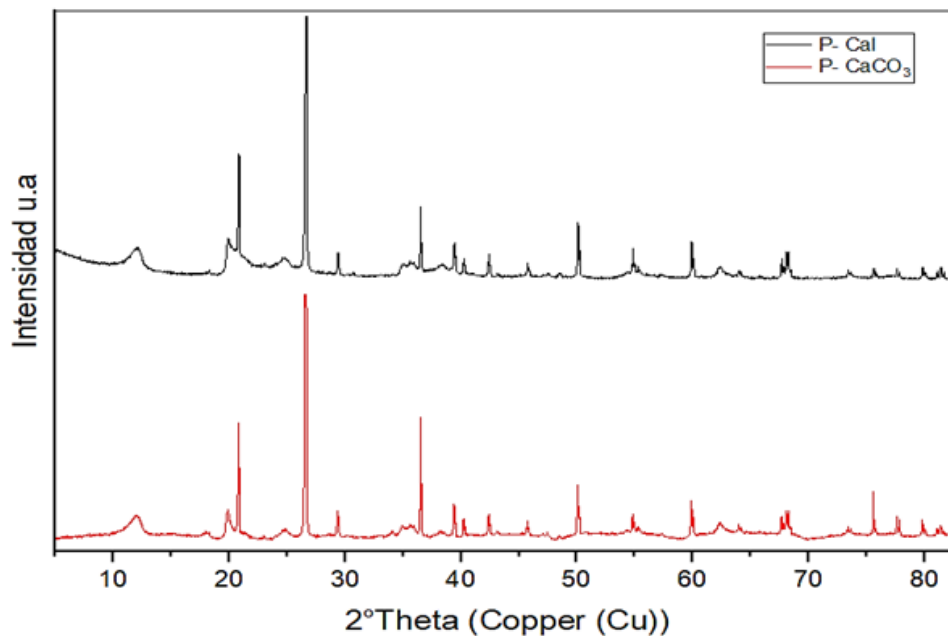


Figura 23 DRX de la pintura aplicada en Cal y Carbonato.

Tabla 7 Composición química de pintura aplicada en soportes analizados por DRX

Soporte		Componentes					
<b>Cal</b>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Caolinita	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	Ca(OH) <sub>2</sub>	FeOOH
			Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>				
<b>Carbonato</b>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Caolinita	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	-----	FeOOH
			Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>				

En la *Fig. 24*, se muestra el análisis DRX de pintura aplicada en la base acondicionadora de cal, caracterizada por cuarzo (SiO<sub>2</sub>), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, caolinita (Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>), hematita (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>), Ca(OH)<sub>2</sub> y goethita (FeOOH). Mientras que en la *Fig. 25* se muestra el análisis de la pintura aplicada en base acondicionadora de carbonato de calcio. La composición de esta varía de acuerdo al soporte de cal, al no presentar los picos de Ca(OH)<sub>2</sub>, cuya composición es: cuarzo, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, caolinita, hematita, carbonato de calcio y goethita. En las *Figuras 26 y 27* se presenta la comparación de picos de difracción de

componentes analizados de la pintura aplicada a muestras de cal y carbonato de calcio respectivamente.

En el análisis de DRX de la pintura aplicada en cal (Fig. 24) se observa picos correspondientes al  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  el cual tuvo influencia en el acabado final y el aspecto superficial del pigmento en el soporte, pues este presentó gránulos en toda la superficie.

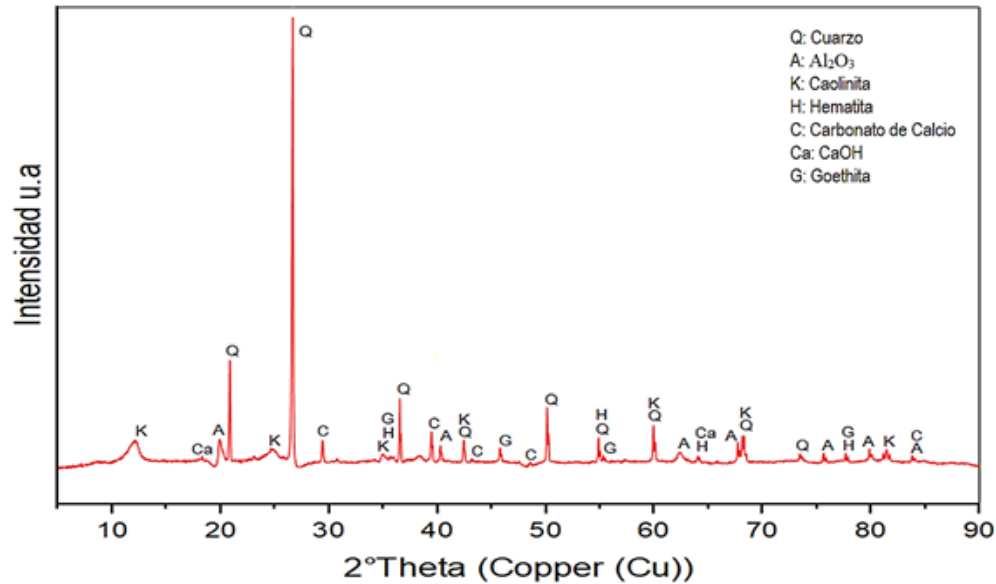


Figura 24 DRX de pintura aplicada en Cal.

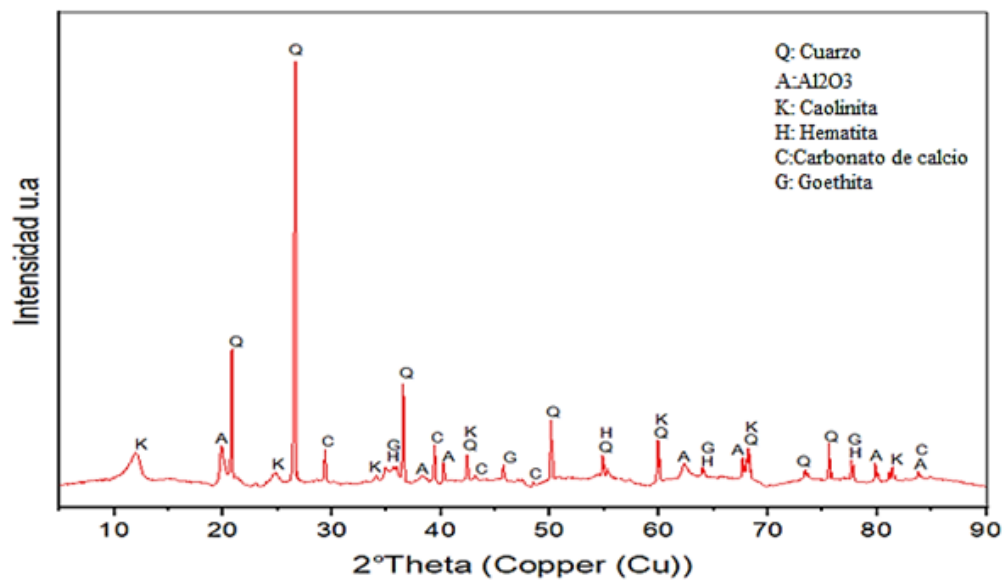


Figura 25 DRX de pintura aplicada en Carbonato de calcio.

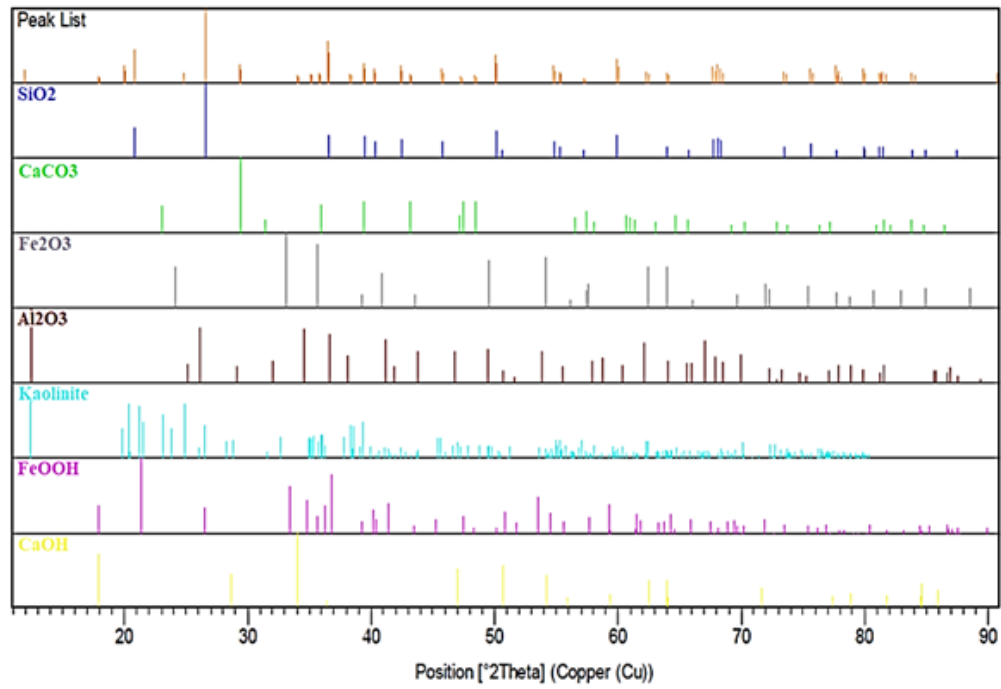


Figura 26 Comparación de picos de difracción de componentes con la difracción de pintura en cal.

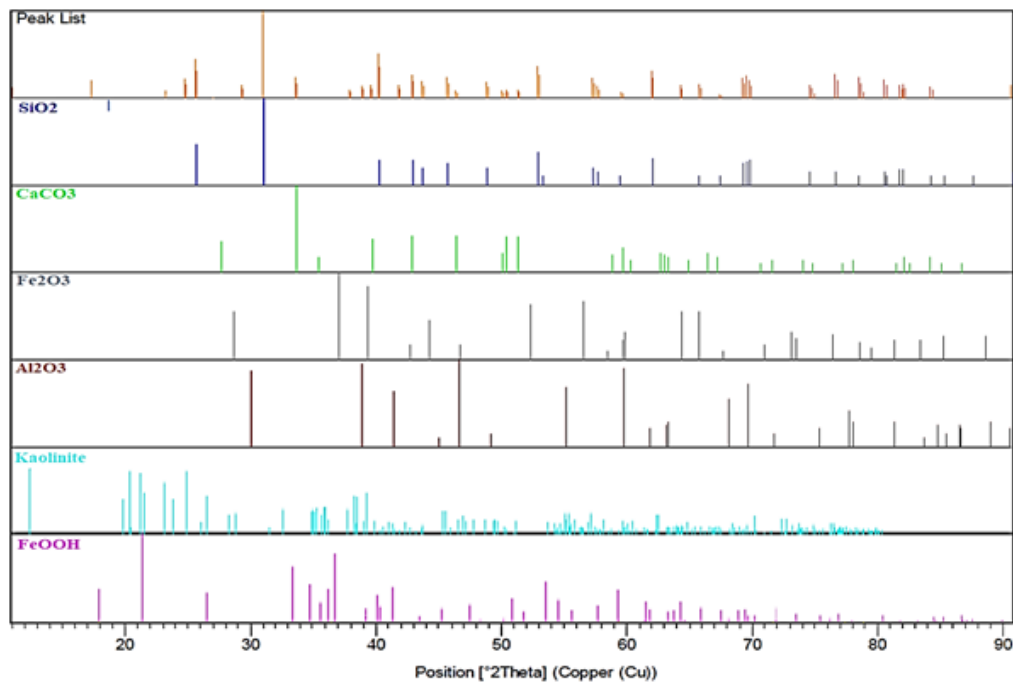
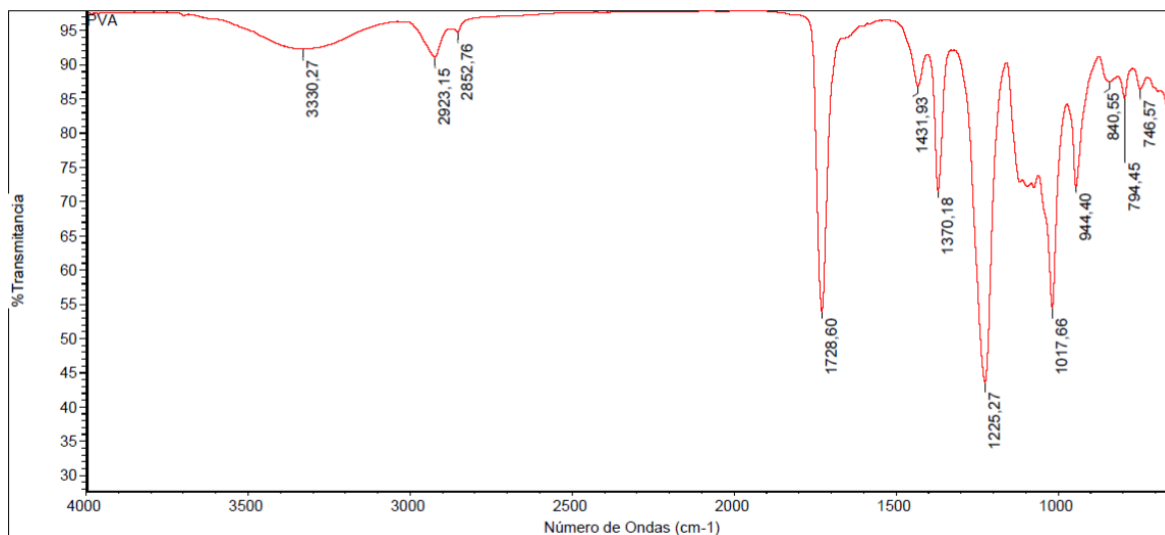


Figura 27 Comparación de picos de difracción de componentes con la difracción de pintura en carbonato de calcio.

## Identificación de grupos funcionales por FTIR.

Se analizaron por espectroscopía FTIR las muestras de PVA, pintura mineral y pintura mineral aplicada en Carbonato de calcio y Cal. Esto se observa en las *Figuras 28, 29, 30 y 31* respectivamente.



*Figura 28* Espectro IR del poliacetato de vinilo .

En la *Fig. 28*, se observan distintas bandas vibracionales, donde cada tipo de enlace o grupo funcional corresponde a una vibración molecular. Entre los principales grupos funcionales que se detectaron en éste compuesto están, el estiramiento del H del grupo OH a  $3330\text{ cm}^{-1}$ , el cual forma parte de la estructura del PVA, estiramiento del  $\text{CH}_2$ , CH a  $2923$  y  $2853\text{ cm}^{-1}$  respectivamente, tensión del enlace C=O grupo carbonilo a  $1728\text{ cm}^{-1}$ , tensión de enlace C-C a  $1225\text{ cm}^{-1}$ , estiramiento C-O a  $1017\text{ cm}^{-1}$  (Delgado et al., 2019) (Bochaca, 2020).

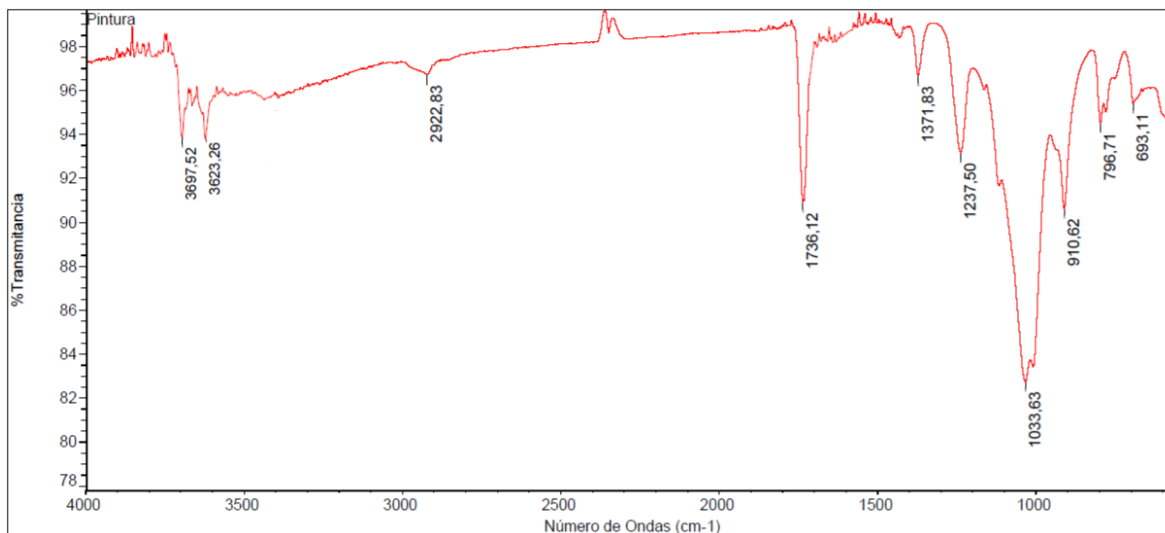


Figura 29 Espectro IR de la Pintura mineral.

En la Fig. 29, se puede observar las señales a los  $3697\text{ cm}^{-1}$  y  $3623\text{ cm}^{-1}$  que se asignan a las vibraciones de estiramiento de los grupos OH estructurales como el de la caolinita, la tensión del grupo carbonilo del PVA aparece a los  $1736\text{ cm}^{-1}$ , las bandas  $1033\text{ cm}^{-1}$  corresponden a vibraciones de estiramiento Si-O característico de silicatos (Bochaca 2020), a los  $910\text{ cm}^{-1}$  aparece las vibraciones de deformación del Fe-O o Al-O debido a la sustitución isomórfica del hierro en la capa octaédrica del mineral de arcilla (Carriazo et al., 2007) (Adeniyi et al., 2020), también esta deformación puede presentarse por Al-O. Finalmente, la banda  $796\text{ cm}^{-1}$  corresponde a la vibración de estiramiento de Si-O característico de estructura de cuarzo (Torres, 2013).

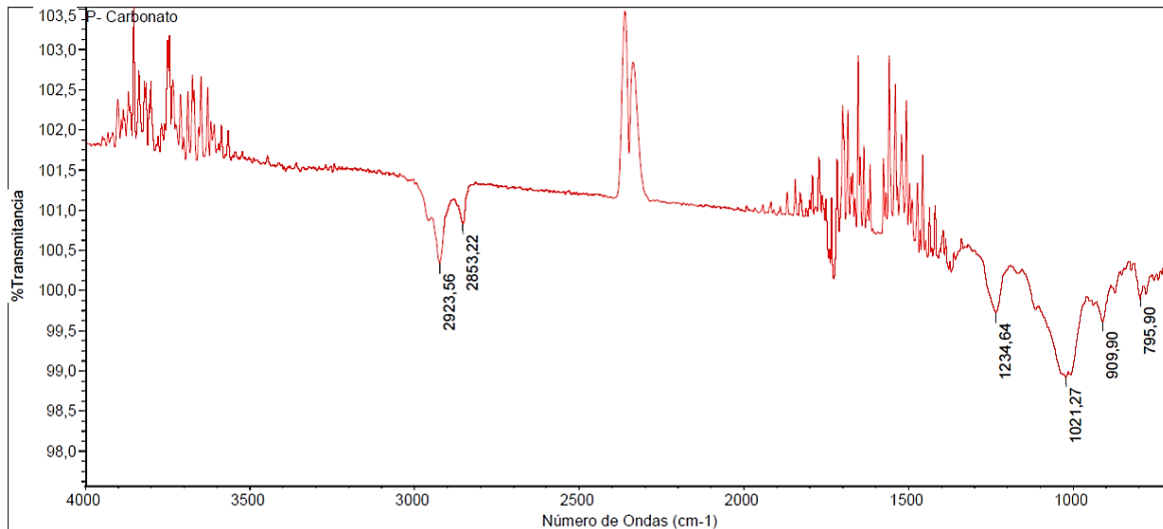


Figura 30 Espectro IR de pintura mineral en base acondicionadora de carbonato de calcio.

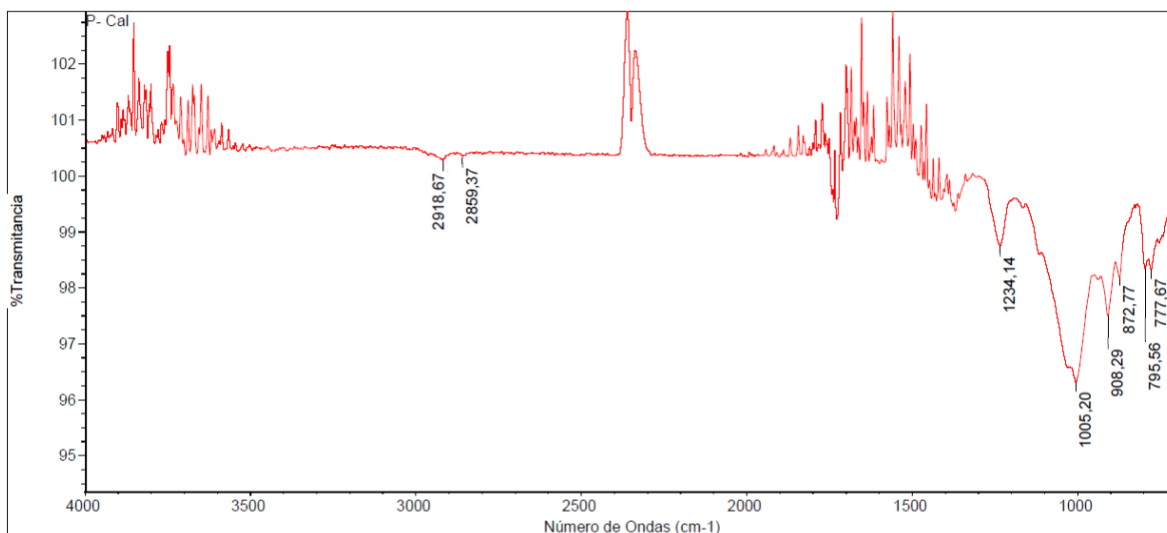


Figura 31 Espectro IR de pintura mineral en base acondicionadora de Cal.

En las Figuras 30 y 31 se muestran los espectros IR, los cuales corresponden a la pintura mineral aplicada en base acondicionadora de Carbonato de Calcio y a base acondicionadora de Cal respectivamente. En estos espectros se observa bandas entre  $2924\text{ cm}^{-1}$  a  $2850\text{ cm}^{-1}$  los cuales corresponden a vibraciones del enlace C-H, entre  $1022\text{ cm}^{-1}$  a  $1005\text{ cm}^{-1}$  vibraciones de estiramiento de Si-O, a  $910\text{ cm}^{-1}$  vibraciones de deformación de Fe-O o Al-O. Finalmente,  $795\text{ cm}^{-1}$  vibraciones de estiramiento Si-O del cuarzo.



En la *Tabla 8* se presentan las asignaciones de los espectros correspondientes a las *Figuras 28, 29, 30 y 31*.

*Tabla 8 Resultados FTIR*

	<b>FTIR (cm-1)</b>	<b>Asignación</b>
<b>PVA</b>	3555	OH
	2923	CH <sub>2</sub>
	2853	CH
	1728	C=O
	1020	C-O
<b>P</b>	3695 y 3622	OH Estiramiento estructural
	2922	CH
	1736	C=O
	1033 y 1005	Estiramiento Si-O-Si
	910	Deformaciones Fe-O, Al-O
	796 y 693	Si-O
<b>P-CaCO<sub>3</sub></b>	2923	CH <sub>2</sub>
	2853	CH
	1029	Estiramiento Si-O
	919	Deformaciones Fe-O, Al-O
	796	Si-O
<b>P-Cal</b>	2918	CH <sub>2</sub>
	2859	CH
	1005	Estiramiento Si-O
	908	Deformaciones Fe-O, Al-O
	795	Si-O



## Resultados UV-vis

Según Da Silva (2020), la hematita de estructura cristalográfica romboédrica inicia la absorción de fotones en la región infrarroja y se extiende a la región ultravioleta, lo que le da a este material un color ligeramente rojizo, además menciona que las transiciones principales que involucran la transferencia de carga son  $Fe^{+3}-O$  y  $Fe^{+2}-Fe^{+3}$  responsables de la absorción de luz en la región visible (Da Silva, 2020).

Las *Figuras 32, 33 y 34* corresponden a espectros UV- Vis de pigmento mineral, pintura mineral aplicada en soportes de base acondicionadora de Carbonato de Calcio y Cal. En cada uno de estos análisis se presenta un pico de absorbancia a los 280 nm, el cual se debe a la transición de carga  $Fe^{+2}-Fe^{+3}$  (Venkatathri, 2006) por la presencia de estructuras de  $Fe_2O_3$  (Hematita).

Por lo cual, deducimos que la coloración roja de esta pintura mineral está dada por el cromóforo procedente de minerales de Fe, pues López y colaboradores (2020), determinaron que la coloración roja de arcilla estudiadas en tres provincias del Ecuador estaba dada por la concentración de  $Fe_2O_3$  que puede variar entre 8 a 22 %.



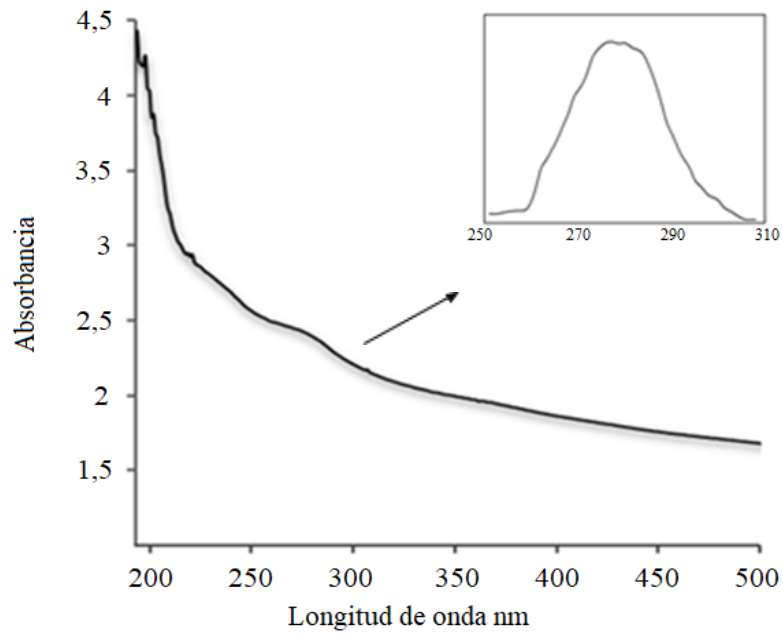


Figura 32 UV-vis Pigmento.

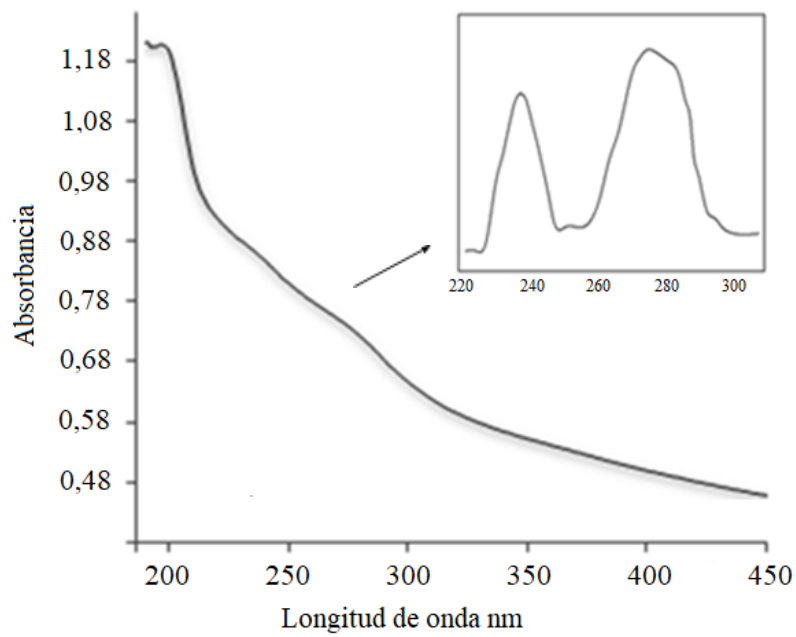


Figura 33 UV-vis Pintura mineral en superficie de carbonato.

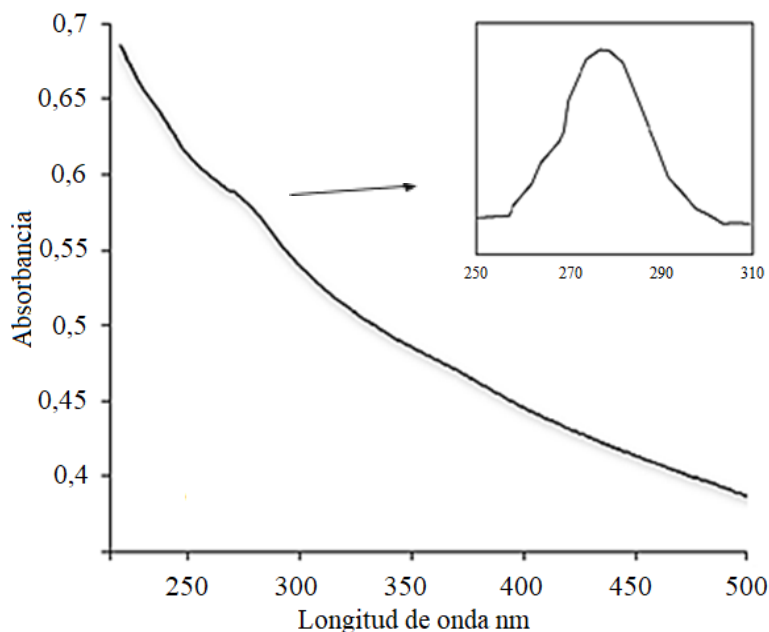


Figura 34 UV-vis Pintura mineral en superficie de Cal.

### Resultados MEB

A continuación se muestran los análisis MEB de la pintura mineral aplicada en base acondicionadora de Carbonato de calcio y Cal, con un tamaño de imagen de 10  $\mu\text{m}$ . En la *Fig. 35a*), se observa que la pintura aplicada en la superficie de carbonato presenta una mayor homogeneidad y distribución de partículas del pigmento mineral; mientras que en Cal (*Fig. 35b*) estos se encuentran dispersos, debido a la presencia de cristales de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  formados antes o durante la aplicación de la pintura mineral, pues ésta al ponerse en contacto con la superficie de cal genera una efervescencia provocando que la superficie de ésta sea rugosa y porosa.

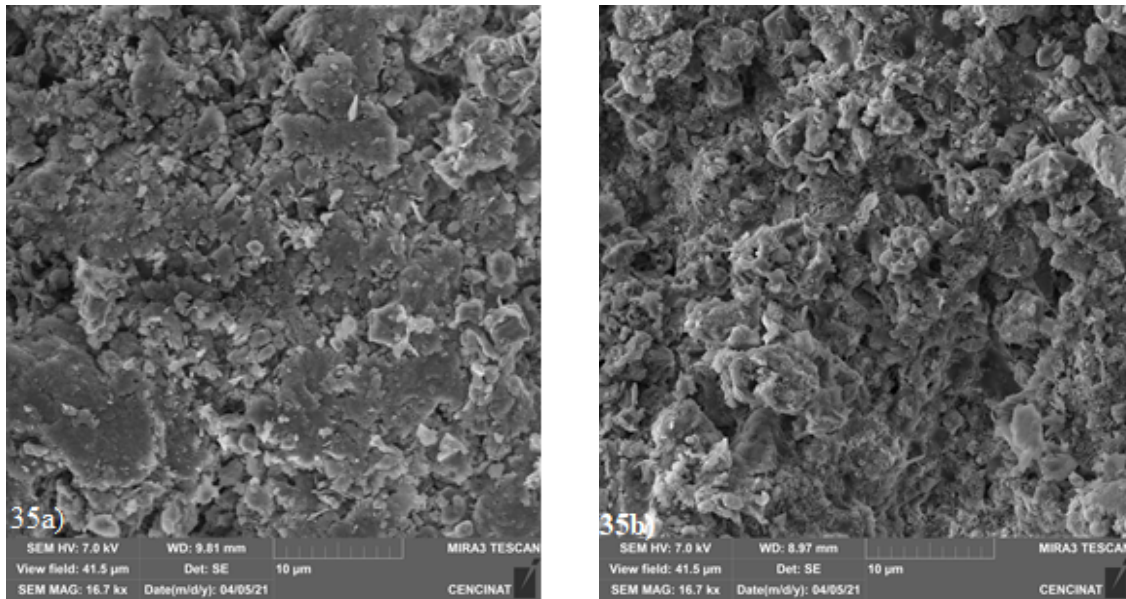


Figura 35 MEB Pintura mineral aplicado a soportes de: carbonato 35a), cal 35b).

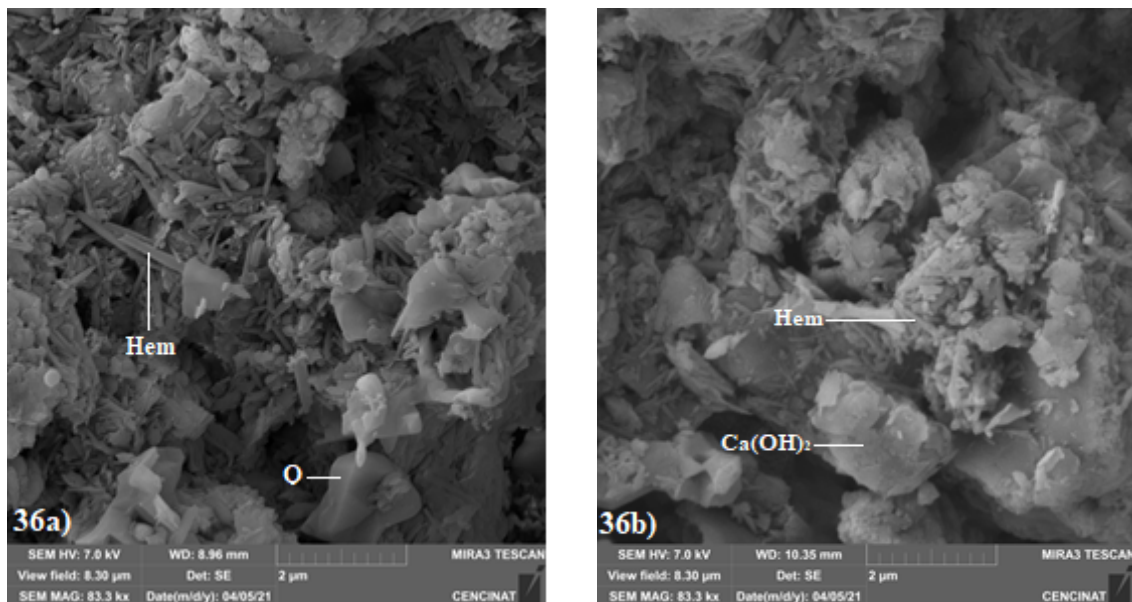


Figura 36 MEB Pintura mineral en carbonato 36a), Pintura mineral en Cal 36b), Hematita (Hem), Cuarzo(Q) Hidróxido de calcio  $\text{Ca(OH)}_2$ .

Lian y colaboradores (2009), identificaron que los minerales de hierro como la hematita pueden presentarse en forma de varillas alargadas, mismos que se observan en la Fig. 36a)



y 36b), a un tamaño de imagen de 2  $\mu\text{m}$ . También se puede observar que este mineral se encuentra disperso por toda la superficie, ocupando tanto espacios superficiales y porosos. Dentro de la *Fig. 36a*) también se encuentran el cuarzo de mayor tamaño con respecto a los demás componentes. Finalmente, en la *Fig. 36b*) se puede observar al  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  de forma compacta el cual pudo haberse formado antes o durante la aplicación de la pintura, que, por otro lado, al igual que el análisis de DRX y con las observaciones MEB aseguramos el surgimiento de cristales de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

### Medidas de pH

Como puede observar en la *Tabla 9* al añadir el aglutinante al pigmento se produce una disminución de su pH con una diferencia de 0,04, siendo su pH inicial de 4,71 y final de 4,67. Mientras que la pintura aplicada al soporte de carbonato, su pH cambia de 7,28 a 7,12 con una diferencia de 0,16. Por otro lado, la pintura aplicada a la capa acondicionadora de cal de pH 11,83 disminuye a 11,04 con una diferencia de 0,79 siendo este cambio mayor al que se presenta en el carbonato.

*Tabla 9 Medidas de pH*

Muestra	pH
Aglutinante (PVA)	4,53
Pigmento mineral	4,71
Pigmento + Aglutinante (PVA)	4,67
Carbonato + Cola blanca	7,28
Cal + Cola blanca	11,83

*Tabla 10 Variación de pH del pigmento en soportes*

Pintura	Valor inicial, fresca	Aplicada a soporte de Carbonato	Aplicada a soporte de Cal
Rojo	4,67	7,12	11,04



En la *Tabla 10* se observa el pH de la pintura mineral inicial y el pH que presenta al ser aplicados a los soportes. Donde se puede observar que el pH del soporte de carbonato se mantiene cercano al neutro con un valor de 7,12, permitiendo una buena interacción entre la pintura y el soporte, originando así una buena distribución, adherencia y acople de la pintura teniendo como resultado una superficie lisa, que puede deberse a la baja o nula formación de  $\text{Ca(OH)}_2$ , posiblemente por el bajo pH, a pesar de la presencia de agua y carbonato.

Sin embargo, para los casos de la pintura aplicada al soporte con capa acondicionadora de cal, el pH es superior al del carbonato, siendo este de 11,04 y esto pudo ser determinante en la aspereza de la superficie, puesto que el  $\text{CaO}$  (óxido de calcio - cal) con elevado pH y en presencia de agua puede formar cristales de  $\text{Ca(OH)}_2$ , el cual puede interpretarse con la *Ec.3* de la formación de cristales de  $\text{Ca(OH)}_2$  a través de la reacción de hidratación de la cal (Méndez et al., 2015).





## 6. CONCLUSIONES

Se elaboró un soporte con revoque, pañete y capa acondicionadora (Carbonato de calcio y Cal) que simula las características de muros ancestrales que forman parte del patrimonio cultural. Se aplicó el pigmento mineral sobre estos soportes, el mismo que fue preparado en base a los estándares de dosificación establecidos en estudios previos y a condiciones rescatadas de los artesanos locales.

Los soportes que presentaron una buena cobertura y acople del pigmento, son los soportes con la base acondicionadora de carbonato de calcio, en el cual se puede observar una superficie lisa; mientras que en los soportes con base acondicionadora de Cal su cobertura se ve afectada por la interacción del pigmento ocasionando una superficie áspera con presencia de gránulos.

Por DRX se determinó la composición de la pintura mineral aplicada a los soportes de carbonato de calcio y cal. Donde su composición se ve afectada por la superficie en contacto. Tal es el caso del soporte de cal, el cual presenta picos de absorción de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  mientras que la composición general del pigmento está dada por Hematita, cuarzo,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , caolinita, calcita y goethita.

Mediante espectroscopía FTIR en las muestras de aglutinante, pigmento-aglutinante, pigmento en base acondicionadora (carbonato de calcio y cal), se da a conocer su composición tras identificar los grupos funcionales que intervienen en él. Inicialmente se dio a conocer las bandas de absorción del Aglutinante (PVA) identificadas como estiramiento del  $\text{CH}_2$  a  $2923\text{ cm}^{-1}$  y  $\text{CH}$  a  $2853\text{ cm}^{-1}$ , tensión  $\text{C}=\text{O}$  del grupo carbonilo a  $1728\text{ cm}^{-1}$ , tensión de enlace  $\text{C}-\text{C}$  a  $1225\text{ cm}^{-1}$ , estiramiento  $\text{C}-\text{O}$  a  $1120$  y  $1020\text{ cm}^{-1}$ . En el pigmento se identifican bandas IR características de silicatos (minerales arcillosos), estiramiento de grupos  $\text{OH}$  estructurales en caolinita a  $3695$  y  $3622\text{ cm}^{-1}$ , Deformaciones  $\text{Fe}-\text{O}$  o  $\text{Al}-\text{O}$  entre  $919$  a  $908\text{ cm}^{-1}$  y vibraciones de estiramiento  $\text{Si}-\text{O}$  en la estructura de cuarzo a  $796\text{ cm}^{-1}$ .



En el análisis de espectroscopía UV-vis del pigmento mineral se muestra una absorción en el rango de 260 a 300 nm, el cual se debe a la transición de carga  $Fe^{+2} - Fe^{+3}$ , pues la proximidad de los átomos de  $Fe^{+3}$  en los dímeros ( $Fe_2O_9$ ) conducen a la distorsión del octaedro debido a repulsiones electrostáticas, y esta distorsión se refleja en las propiedades ópticas y eléctricas de este material. Con este resultado se determina que el color rojo de este mineral se debe a la presencia de minerales de hierro como la hematita.

Finalmente, mediante el análisis de MEB se observó la homogeneidad y distribución del pigmento sobre la base acondicionadora (Carbonato de calcio o Cal), presentando una mayor homogeneidad y distribución de partículas de pigmento en la base acondicionadora de carbonato de calcio. Dentro de estas muestras se encontró las morfologías de Fe como la hematita ( $Fe_2O_3$ ) en forma de varillas alargadas, además, de Cuarzo ( $SiO_2$ ) e Hidróxido de calcio  $Ca(OH)_2$ , y en base a revisión bibliográfica tanto la hematita como el cuarzo estos son los componentes mayoritarios de este tipo de limos, el cual aporta una coloración roja tenue.

En las medidas de pH se observó que el soporte de base acondicionadora de carbonato al estar cercano a la neutralidad y al ponerse en contacto con la pintura, su interacción permite que sus características físicas como adherencia, fluidez, cobertura, y tonalidad sean de mejor aprecio que las de soportes de Cal. Por otro lado, el soporte de base acondicionadora de cal de pH alcalino al interaccionar con la pintura se produce una efervescencia debido a la formación de cristales de  $Ca(OH)_2$  lo cual provoca que la aplicación de la pintura no sea homogénea, generando cambios de tonalidad y que su cobertura sea irregular.



## 7. RECOMENDACIONES

Para el análisis MEB el espesor de las muestras deben ser inferior a 0,5 mm ya que, al contener humedad al interior de la muestra la imagen obtenida por el equipo se ve distorsionada por lo cual requería de un secado a una temperatura inferior a 30°C el mismo que podría alterar a la muestra.

Para profundizar en la composición de este mineral se recomienda un análisis de fluorescencia de rayos X (FRX) para obtener su composición elemental.





## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adeniyi, F. I., Ogundiran, M. B., Hemalatha, T., & Hanumantrai, B. B. (2020). Characterization of raw and thermally treated Nigerian kaolinite-containing clays using instrumental techniques. *SN Applied Sciences*, 2(5), 1-14.  
<https://doi.org/10.1007/s42452-020-2610-x>

Andrunik, M., & Bajda, T. (2019). Modification of bentonite with cationic and nonionic surfactants: Structural and textural features. *Materials*, 12(22), 3772.  
<https://doi.org/10.3390/ma12223772>

Aguado Guardiola, E., Fuster López, L., & Poli, T. (2017). El rol de los agregados minerales en el ph de las películas pictóricas al óleo. Nuevas aportaciones al estudio de la formación y agregación de carboxilatos de calcio y plomo. *Arché*, (11-12), 55-64.

Amaya-Ruiz, Jorge, Ordóñez-Carpio, Santiago, Salazar-Silva, Indira, Achig-Balarezo, Ma. Cecilia, Peñaherrera-Palacios, Catalina, & Martínez, Fausto Cardoso. (2018). La producción de pintura en tierra como recurso endógeno en la provincia del Azuay, Ecuador. *Estoa. Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca*, 7(12), 124-140.  
<https://dx.doi.org/10.18537/est.v007.n012.a08>

Betancourth, D., Gómez, J. F., Mosquera, J. C., & Mejía, L. T. (2010). Análisis por difracción de rayos x de rocas provenientes de región esmeraldífera. *Scientia et Technica*, 1(44), 409-413. <http://dx.doi.org/10.22517/23447214.1871>

Bochaca Arizaga, M. (2020). Estudio de la sensibilidad del PVA utilizado como



aglutinante pictórico frente a las limpiezas acuosas.

Borsoi, G., Silva, A. S., Menezes, P., Candeias, A., & Mirão, J. (2019). Analytical characterization of ancient mortars from the archaeological roman site of Pisões (Beja, Portugal). *Construction and Building Materials*, 204, 597-608. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.233>

Caballero de Sánchez, G. M., & Arroyave Posada, C. E. (2001). Evaluación de magnetitas naturales como pigmentos de pinturas anticorrosivas.

Cantellano González M. A. & Montaña Zetina L. M. (2015). La espectroscopia y su tecnología: Un repaso histórico y su importancia para el siglo XXI. *Desarrollo Científico y Tecnológico para la Sociedad*. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados. México D.F.

Carbonell J. C. (2011). *Pinturas y recubrimientos. Introducción a su tecnología*. Ediciones Díaz de Santos. España.

Carriazo, J., Molina, R., & Moreno, S. (2007). Caracterización estructural y textural de una bentonita colombiana. *Revista Colombiana de Química*, 36(2), 213-225. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/3090/309026672004.pdf>

Castilla F. (2005). Estabilización de morteros de barro para la protección de muros de tierra (mejora de la durabilidad). *Actas de las I Jornadas de Investigación en Construcción*, pp. 717-737. Instituto de Ciencias de la Construcción “Eduardo Torroja”, Madrid.

Castilla F. J. (2011). *Revestimientos y acabados superficiales en construcciones con tierra Contemporáneas*. Informes de la Construcción. Consejo Superior de Investigaciones



Científicas, 63(523) 143-152.

Ceballos Salas, P. (2019). Las construcciones en tierra en Ecuador. Innovaciones tecnológicas. Revista INVI, 7(16), 18-25

Ceballos Salas, P. (2015). La construcción con tierra en Ecuador y la necesidad de la norma. In Tierra, sociedad, comunidad: 15° Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra (pp. 631-642). Universidad de Cuenca.

Viteri Toro, M. F. & Castro Rojas, C. R. (2018). Los recursos histórico–culturales, en la conformación de la oferta turística del cantón Paltas, provincia de Loja (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencias Humanas y de la Educación. Carrera de Turismo y Hotelería).

Cueva Medina, S. M., & Hernández Ballesteros, J. J. (2017). Aplicación Del Método de Difracción Para la Determinación y Cuantificación de Minerales de Alteración Hidrotermal Del Sondaje tel-01 Del Proyecto Telimbela, su Relación Con la Litología y Mineralización (Bachelor's thesis, Espol).

Da Silva, A. B.(2020) Investigação do efeito da modificação da hematita por óxidos metálicos que atuam em diferentes funções para o aumento da atividade foto-eletrocatalítica.

Diez Sánchez, M. (2020). La paja como mecanismo bioclimático en la construcción. Edificio sostenible en Slane Castle.

Faria, D. L., Edwards, H. G., Careaga, V., Walt, N., & Maier, M. S. (2017). A definitive analytical spectroscopic study of Indian yellow, an ancient pigment used for dating purposes. Forensic science international, 271, 1-7. Recuperado de:



<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0379073816305229>

Delgado, R. S., Sotelo, L. C., Delgado, A. M. S., Paredes, A. O., Galarza, Z. V., & Hernández, E. G. (2019). Obtención de espumas de celulosa modificada empleando un proceso de secado en condiciones normales, su caracterización física y química. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 20(4), 187-195.

Díaz, S., Forero, Á., & Restrepo, O. J. (2010). Hematita especular como pigmento natural en pinturas industriales. *Prospectiva*, 8(1), 71-76. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/4962/496250977010.pdf>

Diccionario de la Real Academia de la lengua Española. Paja. Obtenido de: <https://dle.rae.es/paja?m=form>

Doerner M. (2001). *Los materiales de pintura y su empleo en el arte*. Reverté. España.

Escobar Falconí, V. E. (2015). *Síntesis y caracterización de nanopartículas de plata por espectroscopia de infrarrojos (FT-IR), UV-vis, absorción atómica de llama (FAAS) y microscopía de barrido electrónico (SEM)* (Bachelor's thesis, PUCE).

Freifelder, D. (2003). *Técnicas de bioquímica y biología molecular*. Reverté. Sevilla.

Garzón, L. E., & Martins Neves, C. M. (2007). Research, education, training and transfer of technology: The main challenges of earthen architecture and construction. *Apuntes: Revista de Estudios sobre Patrimonio Cultural-Journal of Cultural Heritage Studies*, 20(2), 324-335.

Galán, C., & Martín, C. V. (2010). Espeleotemas de magnetita, hematita, yeso, ópalo-A, y otros minerales secundarios en una cueva del pseudokarst de Jaizkibel:



Caracterización por espectroscopía Raman, difracción de rayos X (DRX) y espectrometría por dispersión de energía.

Giudice C. A. & Pereyra A. M. (2009). Tecnología de pinturas y recubrimientos: componentes, formulación, manufactura y calidad. Buenos Aires : Edutecne.

Goberna, C. & Faraldos M. (Eds.). (2011). Técnicas de análisis y caracterización de materiales. Editorial CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Herrera, V., & Alejandro, J. (2020). Caracterización de pigmentos inorgánicos utilizados en pintura artística desde el siglo XVI hasta en siglo XX por Sistema de Imagen Multiespectral (Bachelor's thesis, Quito: UCE). Recuperado de: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/22052/1/T-UCE-0008-CQU-267.pdf>

Huahuasoncco Condori, W. (2019). Caracterización electroquímica de pigmentos en las cerámicas Inca del recinto Qotakalli Cusco-Perú.

Ichau Espinosa, M. A. (2019). Caracterización mineralógica y optimización del proceso en la extracción de oro en una muestra de mina del sector Buenos Aires de la provincia de Imbabura (Bachelor's thesis, Quito: UCE). Recuperado de: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/19853/1/T-UCE-0008-CQU-183.pdf>

INEC. (2010). Censo de Población y Vivienda 2010. Recuperado de: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/informacion-censal-cantonal/>

Lian, J., Duan, X., Ma, J., Peng, P., Kim, T., & Zheng, W. (2009). Hematite ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) with various morphologies: ionic liquid-assisted synthesis, formation mechanism, and properties. ACS nano, 3(11), 3749-3761.

López-Córdova, Carmen Milena, Castillo, Jessica Maribel, Riofrio-Valarezo, Lynda,



García-Berfon, Luis Vicente, Jaramillo-Fierro, Ximena, & García-López, Adriana Lucía. (2020). Zeolitización de arcillas rojas de Ecuador y aplicación en la adsorción de CO<sub>2</sub>. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 21(4), 00002. Epub 20 de noviembre de 2020. <https://doi.org/10.22201/ifi.25940732e.2020.21.4.030>

Martínez, F. C. (2015). Plan piloto de conservación preventiva aplicado a las viviendas de Susudel (2011-2012) y la intervención en el cementerio de Susudel (2013). In *Tierra, sociedad, comunidad: 15° Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra* (pp. 337-350). Universidad de Cuenca.

Martínez Talavera, M. (2019). Estudio de los masos de Les Useres (Castellón) y propuesta de conservación (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).

Méndez, Y., Odontológica, D. I. D. D. S., & Caridad, M. D. C. (2015). Propiedad antimicrobiana del hidróxido de calcio. *Revista de la Facultad de Odontología de Camacho*, 1-6.

Miche, R. V. (2017). El mundo del color gracias a la Química. *Encuentro con la Química*, 3(1), 62.

Minke, G. (2014). Revoques de barro: mezclas, aplicaciones y tratamientos. *Icària*.

Molina, J., Melgarejo, K., Fortín, R., & Guadalix, S. (2020). Pintura surfactante. *Ingeniería Materiales*, (2), 53-56.

Naukas (2016). Fluorescencia de Rayos X aplicada al mundo del arte. Recuperado de: <https://naukas.com/2016/08/24/fluorescencia-de-rayos-x-aplicada-al-mundo-del-arte/>

Nitzkin R. & Termens M. (2016). Casas de paja: una guía para constructores. *EcoHabitar*.



Recuperado

de:

<https://ecohabitar.org/revocos-de-arcilla-ingredientes-y-preparacion-2a-parte/>

Palet C. A., & Universidad de Barcelona. (1999). Identificación química de pigmentos artísticos. Barcelona: Universidad de Barcelona, Departamento de Pintura, División de Ciencias Humanas y Sociales.

Passaretti, M. G., Ninago, M. D., López, O. V., Ciolino, A. E., Vega, D. A., & Villar, M. A. (2018). Efecto de la adición de bentonita sobre las propiedades ópticas de diferentes materiales compuestos poliméricos. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 23.

Pineda J. C. (2017). Características y patologías constructivas del del bahareque tradicional en la vereda San Pedro del municipio de Anserma (Caldas). Universidad Nacional de Colombia. Medellín-Colombia.

Quiteño A. A. (2018). Elaboración de pintura a base de tierra para la protección de las paredes de adobe con tierras de la zona occidental de El Salvador.

Rees, O. J. (2010). *Fourier Transform Infrared Spectroscopy : Developments, Techniques and Applications*. New York, United States: Nova Science Publishers, Incorporated.

Rivera S. (2007). El uso masivo de la tierra como material de construcción en Colombia. *Apuntes*. vol. 20, núm. 2, 354-363.

Rong, X., Huang, Q., He, X., Chen, H., Cai, P., & Liang, W. (2008). Interaction of *Pseudomonas putida* with kaolinite and montmorillonite: a combination study by equilibrium adsorption, ITC, SEM and FTIR. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 64(1), 49-55. Recuperado de:



- Salto D. & Zhagui N. (2018). Obtención de pinturas a base de pigmentos minerales utilizando dos aglutinantes naturales y uno sintético. Universidad de Cuenca. Ecuador.
- Sánchez Paredes, A. C. (2019). Estudio preliminar de la activación comparativa con hidróxido de sodio e hidróxido de potasio mediante áreas superficiales y microscopía electrónica de barrido SEM del carbón pirolítico obtenido de la balsa ochroma pyramidale [B.S. thesis, Quito: UCE]. Recuperado de: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/19239/1/T-UCE-0017-IQU-047.pdf>
- Sánchez Polo, A., Briceño, S., Jamett, A., Galeas, S., Campaña, O., Guerrero, V., ... & Serrano, J. (2019). An archaeometric characterization of Ecuadorian pottery. *Scientific reports*, 9(1), 1-11. Recuperado de: <https://www.nature.com/articles/s41598-018-38293-w>
- Sarmiento J. M. (2003). Manual de Materiales y Técnicas Constructivas Tradicionales. Centro Histórico de Aguadas. Manizales: Artes Gráficas Tizan Ltda. URB-AL. Caldas-Colombia. Obtenido de: <http://bdigital.unal.edu.co/65429/2/8492397888.2003.pdf>
- Torres, J., Sanabria, N., & Carriazo, J. (2013). Síntesis y caracterización de bentonita modificada con especies de  $TiO_2$  y  $Fe-TiO_2$  obtenidas del mineral ilmenita. *Revista Colombiana de Química*, 42(1), 44-50. Recuperado de: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-28042013000100006](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28042013000100006)
- Valle B. F., Crego A., Roso L. & Peralta Conde A. (2018). Laser based X ray and electron source for X ray fluorescence studies. Centro de Láseres Pulsados, CLPU, Parque Científico, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca. Salamanca, España.





Recuperado de: <https://arxiv.org/pdf/1605.04075v1.pdf>

Valle P., Acosta A. & Salvatierra C. (2012). Agregados utilizados en obras civiles extraídos de la cantera San Luis. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Ecuador.

Velandia Cabra, J. (2018). Identificación de polímeros por espectroscopía infrarroja. Revista Ontare, 5. <https://doi.org/10.21158/23823399.v5.n0.2017.2005>

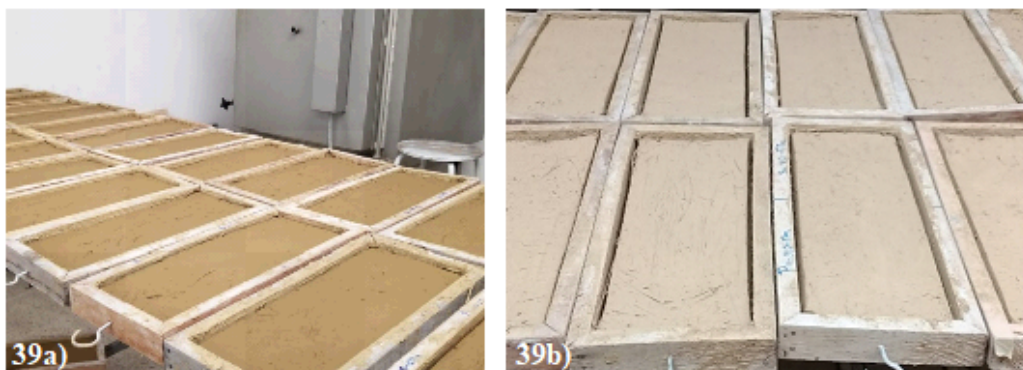
Venkatathri, N. (2006). Characterization and catalytic properties of a naturally occurring clay, bentonite. Bull. Catal. Soc. India, 5, 61-72.

**ANEXOS**

*Figura 37 Fotos del proceso 1° capa: tierra arcillosa 37a), mezcla tierra arcillosa-arena 37b), adición de paja a la mezcla 37c), homogeneización 37d).*



*Figura 38 Foto del Soporte 38a), aplicación de 1° capa 38b), aplicación de 2° capa (pañete) 38c).*



*Figura 39 Fotos de etapa de acondicionamiento y secado 39a), soportes secos 39b).*

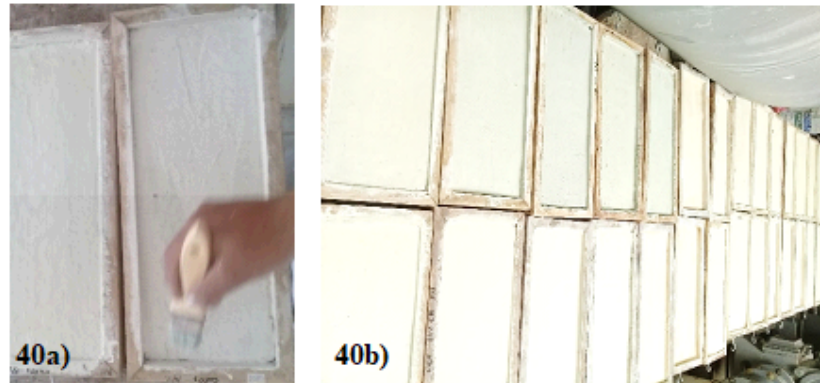


Figura 40 Foto de aplicación de la base acondicionadora con cal o carbonato 40a), capa acondicionadora seca 40b).

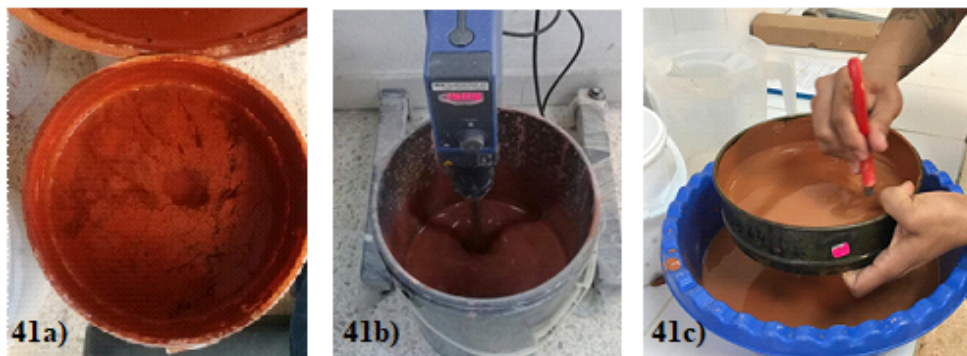


Figura 41 Fotos de preparación de pintura: Mezcla de agua con pigmento mineral 41a), proceso de disgregación del pigmento 41b), tamizado y filtrado del pigmento 41c).



Figura 42 Fotos de preparación de pintura : cuantificación de sólidos en la mezcla del pigmento filtrado 42a), dosificación de aglutinante 42b), mezcla de pigmento- aglutinante 42c).

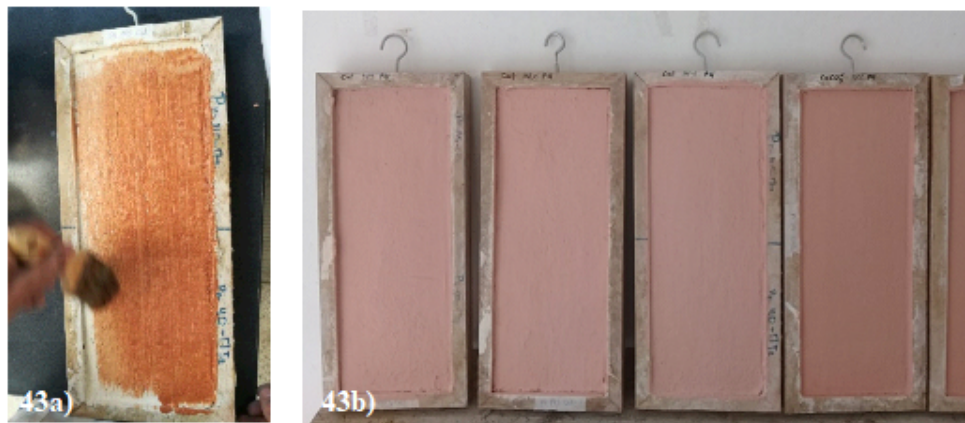


Figura 43 Foto de la aplicación de pintura mineral a soportes 43a), pintura seca en soportes de cal o carbonato 43b).

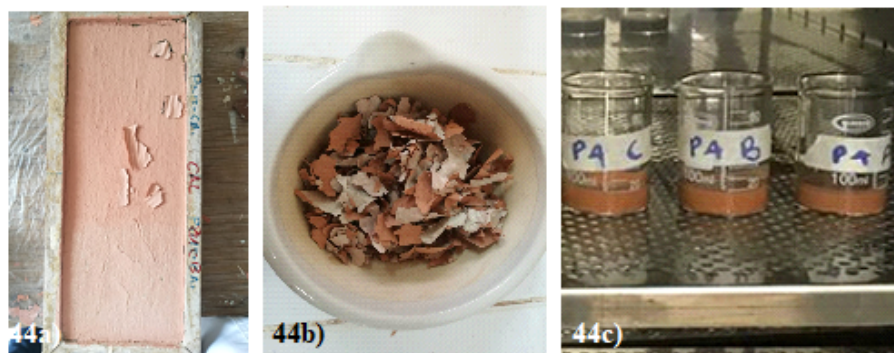


Figura 44 Fotos de muestras para análisis: para FTIR extracción de pintura del soporte 44a) y recolección de las costras de pintura mineral 44b), para Uv-vis disoluciones de pintura mineral 44c).



Figura 45 Fotos de muestras para análisis MEB extraído del soporte 45a), para DRX muestras de pintura molida extraída de los soportes 45b)