

UNIVERSIDAD DE CUENCA



**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“OBTENCIÓN DE PINTURAS A BASE DE PIGMENTOS
MINERALES UTILIZANDO DOS AGLUTINANTES
NATURALES Y UNO SINTÉTICO.”**

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO
A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO QUÍMICO

AUTORES:

DANNY XAVIER SALTO LLIVICHUZHCA
C.I: 0105135354

NORMA PATRICIA ZHAGUI CHUNCHI
C.I: 0105256895

DIRECTORA:

ING. SANDRA CATALINA PEÑAHERRERA PALACIOS
C.I: 0102102142

CUENCA-ECUADOR

2018



1.1 RESUMEN

La presente investigación se desarrolla como una fase del proyecto “Tierras de Colores” y tiene como objetivo principal la obtención de pinturas a partir de pigmentos minerales utilizando dos aglutinantes naturales (cola animal, mucílago de tuna) y uno sintético (Poliacetato de vinilo).

El estudio inició con la recolección de 11 muestras de suelo de la Comunidad de Oña y Susudel. Se realizaron pruebas preliminares que permitieron definir condiciones de formulación en el desarrollo de las pinturas, en un nivel exploratorio se evaluaron parámetros de viscosidad, pH, contenido de sólidos y poder de cobertura. De acuerdo a estos ensayos y su diversidad cromática permitieron seleccionar los tres pigmentos con los que se trabajaría en esta investigación.

En una siguiente etapa, se produjeron pinturas variando las concentraciones de los aglutinantes, se aplicaron sobre soportes cuya dosificación fue cal, arena y cabuya; finalmente se expusieron a condiciones de intemperismo por 45 días. Los resultados obtenidos permitieron establecer pautas a ser usadas en la etapa final, para ello se desarrolló una matriz simple de diseño experimental en el Software Minitab 17.

Se planteó encontrar un rango de viscosidad óptima que funcione con todos los niveles de aglutinante, determinado este parámetro se prepararon las pinturas, se expusieron y se evaluó su comportamiento a condiciones ambientales y pruebas de desempeño. Por último, la decisión de las formulaciones con mejor comportamiento se evaluó mediante el análisis Cluster dando como resultado: para el pigmento 4 elaboradas con cola blanca en las concentraciones 5, 10 y 15%, con cola animal en las concentraciones 15 y 22,5%; para el pigmento 7 con cola blanca de concentración 5% y cola animal a una concentración del 15% que cumplen las expectativas de calidad como adherencia, alto contenido de sólidos, niveles bajos de alteración al intemperismo; finalmente para el pigmento 11 con cola animal a una concentración del 15%.

Palabras claves: pintura, aglutinante, viscosidad, pigmento



1.2 ABSTRACT

This research is developed as a phase of the project "Tierras de Colores" and has as its main objective the obtaining of paints from mineral pigments using two natural binders (animal tail, tuna mucilage) and one synthetic (Vinyl polyacetate).

The study began with the collection of 11 soil samples from the Oña and Susudel community. Preliminary tests were carried out that allowed to define conditions of formulation in the development of the paints, at an exploratory level were evaluated parameters of viscosity, PH, solid content and power of coverage. According to these tests and their chromatic diversity they allowed to select the three pigments with which they would work in this investigation.

In a next stage, paintings were produced varying the concentrations of binders, were applied on supports whose dosage was lime, sand and Cabuya; They were finally exposed to weather conditions for 45 days. The results obtained allowed to establish guidelines to be used in the final stage, for it developed a simple matrix of experimental design in the Software Minitab 17.

It was proposed to find an optimal viscosity range that works with all levels of binder, determined this parameter was prepared paints, exposed and assessed their behavior to environmental conditions and performance tests. Finally, the decision of the best-behaved formulations was assessed by Cluster analysis resulting in: for pigment 4 made with white glue in concentrations 5, 10 and 15%, with animal tail at concentrations 15 and 22.5%; For pigment 7 with white glue 5% concentration and animal tail at a concentration of 15% that meet the expectations of quality as adherence, high solid content, low levels of alteration to weathering; finally, for pigment 11 with animal tail at a concentration of 15%.

Keywords: paint, binder, viscosity, pigment



INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	2
ABSTRACT	3
INDICE DE FIGURAS.....	6
INDICE DE TABLAS	7
INDICE DE GRAFICOS	9
INDICE DE ANEXOS.....	9
INTRODUCCIÓN.....	18
JUSTIFICACIÓN	19
OBJETIVOS	20
METODOLOGÍA.....	20
1 CAPÍTULO I: GENERALIDADES Y MARCO TEÓRICO	22
1.1 Historia de la pintura	22
1.2 Pintura.....	23
1.2.1 Definición	23
1.2.2 Funciones	23
1.3 Componentes de la pintura.....	24
1.3.1 Pigmentos.....	24
1.3.2 Vehículo	25
1.3.2.1 Aglutinante.....	25
1.3.2.2 Solvente	26
1.4 Factores y condiciones que degradan las pinturas.....	26
1.5 Alteraciones producidas en las pinturas	27
2 CAPÍTULO II: CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS MATERIALES 28	
2.1 Pigmentos minerales	28
2.1.1 Tamaño y geometría de las partículas.....	29
2.1.2 Composición granulométrica	30
2.2 Aglutinantes.....	31
2.2.1 Cola animal.....	31
2.2.2 Sustancias mucilaginosas.....	34
2.2.2.1 Polisacáridos.....	34
2.2.2.2 Nopal	35
2.2.3 Poliactato de vinilo (PVA)	39



3	CAPÍTULO III: PRUEBAS PRELIMINARES.....	42
3.1	Principios de formulación	42
3.1.1	Selección y extracción de las muestras de suelo.....	42
3.1.2	Caracterización de muestras de suelo.....	43
3.1.3	Primera dispersión (preparación del pigmento).....	44
3.1.4	Viscosidad y pH de suspensiones acuosas de pigmentos minerales.....	45
3.1.5	Poder de cobertura.....	49
3.1.6	Determinación del porcentaje de contenido de sólidos.....	49
3.1.7	Análisis y discusión de resultados	50
3.2	Definición de los otros componentes	51
3.2.1	Selección de los aglutinantes	51
3.2.2	Solvente	52
3.3	Proceso de producción (ensayo preliminar).....	53
3.4	Ensayos preliminares de los pigmentos escogidos	56
3.4.1	Proceso de producción de las pinturas.....	56
3.4.2	Monitoreo y resultados	62
3.5	Propuesta	64
4	CAPÍTULO IV: DOSIFICACIÓN DE PINTURAS Y MONITOREO DE DESEMPEÑO	66
4.1	Niveles óptimos de viscosidad	67
4.1.1	Dosificación de pinturas	67
4.1.1.1	Primera dispersión (preparación del pigmento).....	67
4.1.1.2	Proceso de producción de las pinturas.....	68
4.2	Desarrollo de dosificaciones de pinturas planteadas en el diseño experimental con niveles óptimos de viscosidad	71
4.2.1	Preparación del pigmento y caracterización	71
4.2.2	Preparación de aglutinantes.....	72
4.2.3	Producción de pinturas.....	72
4.2.4	Determinación de viscosidad, pH y porcentaje de contenido de sólidos. 74	
4.2.5	Aplicación de pinturas a soportes.....	75
4.2.6	Rendimiento de las muestras de suelo en la preparación del pigmento . 75	
4.2.7	Monitoreo y control.....	76
5	CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	79



5.1	Análisis estadístico de los datos	79
5.1.1	Análisis Cluster	79
5.1.2	Interpretación de dendrogramas	81
5.2	Influencia de las condiciones meteorológicas en el desenvolvimiento de las pinturas	91
5.3	Composición química del pigmento y su comportamiento en función del pH	92
5.4	Relación pigmento-aglutinante.....	92
5.5	Relación pinturas-soporte	92
5.6	Influencia del mucílago de tuna como aglutinante en el desempeño de las pinturas	93
6	CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	94
6.1	CONCLUSIONES.....	94
6.2	RECOMENDACIONES	95
7	BIBLIOGRAFÍA	96
	ANEXOS.....	100

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1.	Pintura rupestre en la cueva de Coggu.....	23
Figura 2-1.	Formas y estados de las partículas de pigmentos utilizadas para la producción de pinturas	30
Figura 2-2.	Unión de aminoácidos por enlaces peptídicos.....	32
Figura 2-3.	Molécula de colágeno.....	32
Figura 2-4.	Nopal Opuntia ficus indica	36
Figura 2-5.	Efecto del pH en la viscosidad de disoluciones de mucílago a un gradiente de velocidad de 100 s ⁻¹ y a 25°C.....	38
Figura 2-6.	Monómero acetato de vinilo.....	39
Figura 2-7.	Polimerización vinílica por radicales libres.....	39
Figura 3-1.	Muestras de tierra extraídas	42
Figura 3-2.	Disco Cowles adaptado	44
Figura 3-3.	a) Determinación de la viscosidad en la copa Ford, b) Pigmento preparado usando agitador mecánico	46



Figura 3-4. Pigmentos aplicados sobre la superficie no esmaltada de una baldosa cerámica	49
Figura 3-5. Muestras de pigmentos sometidos a secado en la estufa a $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.50	
Figura 3-6. Pigmentos seleccionados con mayor contenido de sólidos y poder de cobertura.....	50
Figura 3-7. Diagrama de proceso de producción de pinturas.....	56
Figura 3-8. Pigmento 11. a) Adición de cola animal b) Formación de una mezcla pastosa con la cola animal	60
Figura 3-9. Elaboración de soportes.....	61
Figura 3-10. Soportes expuestos a condiciones ambientales de intemperismo	62
Figura 4-1. Equipo: IKA EUROSTAR 20 digital.....	66
Figura 4-2. Preparación de la cola animal	68
Figura 4-3. Aplicación de la pintura P4-CB con mínima y máxima concentración de aglutinante a diferentes viscosidades.....	69
Figura 4-4. Principales alteraciones que sufren las pinturas	77

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Clasificación de los pigmentos según su origen.	25
Tabla 2-1. Minerales que proporcionan color al suelo.....	29
Tabla 2-2. Clasificación granulométrica de los constituyentes del suelo	30
Tabla 2-3. Propiedades fisicoquímicas de la cola animal.....	33
Tabla 2-4. Composición química en 100g de nopal fresco.....	36
Tabla 2-5. Composición de azúcares de la goma de mucílago (<i>Opuntia ficus indica</i>) .	37
Tabla 2-6: Tipos de emulsiones de poliacetato de vinilo	40
Tabla 3-1. Coordenadas de ubicación de muestras de suelo.....	43
Tabla 3-2. Datos de viscosidad para el pigmento 1	47
Tabla 3-3. Datos de viscosidad en la mezcla total para la muestra 1.....	47
Tabla 3-4. Viscosidades obtenidas para los pigmentos preparados.....	48
Tabla 3-5. Valores de pH de las muestras de pigmento	48
Tabla 3-6. Porcentaje de sólidos de los pigmentos	49
Tabla 3-7. Concentraciones de los aglutinantes a adicionar en las pinturas.....	53
Tabla 3-8. Datos para elaborar la pintura del pigmento 8.....	54
Tabla 3-9. Cantidades de sólidos, aglutinantes en la preparación de las pinturas (Volumen de pigmento 400ml)	55
Tabla 3-10. Viscosidades obtenidas para los pigmentos preparados	57
Tabla 3-11. Soluciones de cola animal preparadas.....	57
Tabla 3-12. Concentraciones de los aglutinantes	57



Tabla 3-13. Cantidades ocupadas en la preparación de pinturas con cola animal a diferentes niveles de concentración	58
Tabla 3-14. Cantidades ocupadas en la preparación de pinturas con cola blanca a diferentes niveles de concentración	58
Tabla 3-15. Cantidades ocupadas en la preparación de pinturas con mucílago de tuna a diferentes niveles de concentración.....	59
Tabla 3-16. Viscosidades y pH de las pinturas	59
Tabla 3-17. Dosificación para la elaboración de un soporte	61
Tabla 3-18. Condiciones ambientales a las que fueron sometidos los soportes	64
Tabla 4-1. Proporciones de aglutinante a emplear en la producción de pinturas generadas por el Minitab.....	66
Tabla 4-2. Viscosidades de partida de los pigmentos preparados.....	68
Tabla 4-3. Viscosidades para determinación de rango de viscosidad óptima.....	69
Tabla 4-4. Rango de viscosidades óptimas para las pinturas.....	70
Tabla 4-5. Velocidades de agitación de las pinturas dependiendo del aglutinante	71
Tabla 4-6. Viscosidades, % Sólidos y pH para los pigmentos 4, 7 y 11.....	72
Tabla 4-7. Caracterización del mucílago de tuna.....	72
Tabla 4-8. Concentraciones de los aglutinantes a adicionar en las pinturas.....	72
Tabla 4-9. Cantidades ocupadas en la preparación de pinturas con cola animal a diferentes niveles de concentración	73
Tabla 4-10. Cantidades ocupadas en la preparación de pinturas con cola blanca a diferentes niveles de concentración	73
Tabla 4-11. Cantidades ocupadas en la preparación de pinturas con mucílago de tuna a diferentes niveles de concentración.....	74
Tabla 4-12. Viscosidad, pH y % Sólidos de las pinturas elaboradas con cola animal ..	74
Tabla 4-13. Viscosidad, pH y % Sólidos de las pinturas elaboradas con cola blanca ..	75
Tabla 4-14. Viscosidad, pH y % sólidos de las pinturas elaboradas mucílago de tuna	75
Tabla 4-15. Humedad obtenida para cada muestra de suelo	76
Tabla 4-16. Cálculo del rendimiento de las muestras de suelo en la preparación del pigmento	76
Tabla 4-17. Valoración de las alteraciones de las pinturas en condiciones de intemperismo.....	77
Tabla 4-18. Parámetros de evaluación de la resistencia a la abrasión	78
Tabla 4-19. Parámetros de evaluación de la resistencia al rayado.....	78
Tabla 4-20. Parámetros de evaluación de absorción de agua.....	78
Tabla 5-1. Pinturas descartadas para el análisis Cluster por presentar alto grado de deterioro.....	81
Tabla 5-2. Pinturas componentes del dendrograma pH vs resistencia a la abrasión ...	82
Tabla 5-3. Pinturas componentes del dendrograma pH vs absorción de agua	83
Tabla 5-4. Pinturas componentes del dendrograma %Sólidos vs resistencia a la abrasión	85
Tabla 5-5. Pinturas componentes del dendrograma %Sólidos vs absorción agua	86
Tabla 5-6. Pinturas componentes del dendrograma viscosidad vs resistencia a la abrasión.	87
Tabla 5-7. Pinturas componentes del dendrograma viscosidad vs absorción de agua.	88
Tabla 5-8. Pinturas componentes del dendrograma resistencia a la abrasión vs absorción de agua.....	90
Tabla 5-9. Condiciones ambientales a las que fueron sometidos los soportes	91



INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 5-1. Dendrograma pH vs resistencia a la abrasión.....	82
Gráfico 5-2. Dendrograma pH vs absorción de agua.....	83
Gráfico 5-3. Dendrograma %Sólidos vs resistencia a la abrasión.....	84
Gráfico 5-4. Dendrograma %Sólidos vs absorción de agua.....	86
Gráfico 5-5. Dendrograma viscosidad vs resistencia a la abrasión.....	87
Gráfico 5-6. Dendrograma viscosidad vs absorción de agua.....	88
Gráfico 5-7. Dendrograma resistencia a la abrasión vs absorción de agua	89

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE SÓLIDOS DE LAS MUESTRAS DE TIERRA-SECTOR OÑA Y SUSUDEL.....	101
Anexo 2. FICHA DE REGISTRO DE PRUEBAS DE DESEMPEÑO.....	102
Anexo 3. DATOS DE ESTACIÓN METEOROLÓGICA-PRUEBAS PRELIMINARES.....	103
Anexo 4. RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELO.....	104
Anexo 5. DOSIFICACIONES DE PINTURAS CON TRES AGLUTINANTES: COLA BLANCA (CB), MUCÍLAGO DE TUNA (MT) Y COLA ANIMAL (CA).....	105
Anexo 6. CÁLCULO DEL RENDIMIENTO PIGMENTO 4.....	106
Anexo 7. DATOS DE ESTACIÓN METEREOLÓGICA.....	107
Anexo 8. FICHA DE REGISTRO- DIAGNÓSTICO GENERAL DEL ESTADO DE LAS PINTURAS A LOS 45 DÍAS DE EXPOSICIÓN.....	108
Anexo 9. MATRIZ DE EVALUCIÓN DE LAS PINTURAS FRENTE A CONDICIONES DE INTEMPERISMO.....	113
Anexo 10. MATRIZ DE EVALUCIÓN DE LAS PINTURAS FRENTE A CONDICIONES DE DESEMPEÑO.....	114



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Yo, Norma Patricia Zhagüi Chunchi, en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "OBTENCIÓN DE PINTURAS A BASE DE PIGMENTOS MINERALES UTILIZANDO DOS AGLUTINANTES NATURALES Y UNO SINTÉTICO", 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, 18 de enero de 2018.

Norma Patricia Zhagüi Chunchi

C.I: 0105256895



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Yo, Danny Xavier Salto Llivichuzhca, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "OBTENCIÓN DE PINTURAS A BASE DE PIGMENTOS MINERALES UTILIZANDO DOS AGLUTINANTES NATURALES Y UNO SINTÉTICO", 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, 18 de enero de 2018.

Danny Xavier Salto Llivichuzhca

C.I: 0105135354



Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo, Norma Patricia Zhagüi Chunchi, autora del trabajo de titulación "OBTENCIÓN DE PINTURAS A BASE DE PIGMENTOS MINERALES UTILIZANDO DOS AGLUTINANTES NATURALES Y UNO SINTÉTICO", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 18 de enero de 2018.

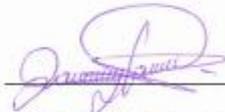
Norma Patricia Zhagüi Chunchi

C.I: 0105256895

Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo, Danny Xavier Salto Livichuzhca, autor del trabajo de titulación "OBTENCIÓN DE PINTURAS A BASE DE PIGMENTOS MINERALES UTILIZANDO DOS AGLUTINANTES NATURALES Y UNO SINTÉTICO", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 18 de enero de 2018.



Danny Xavier Salto Livichuzhca

C.I: 0105135354



DEDICATORIA

A Dios, por ser quién guía mis pasos.

A mis padres, Rosa y Carlos, quienes son el pilar fundamental en mi vida, por su esfuerzo y apoyo incondicional. Cada logro se los debo a ustedes.

A mi hermana Jenny, por sus consejos en todo momento; a Diego, mi hermanito menor por alegrarme día tras día.

A mami Zoila, la mejor de las abuelitas, por todo el cariño que me brinda; a mis abuelitos Daniel y Rosa que ya no están aquí pero que sin duda me acompañan desde el cielo, puedo decir que su sueño para conmigo se está cristalizando.

A toda mi familia y amigos, por la confianza y por motivarme a seguir adelante.

Patricia



AGRADECIMIENTO

A la ingeniera Catalina Peñaherrera, ingeniera Cecilia Castro y arquitecto Fernando Cardoso, asesores del proyecto, por su apoyo y consejos permanentes para el desarrollo de este trabajo.

Al equipo de investigación del Proyecto Tierras de Colores, por el soporte y amistad brindada.

A todos los profesores, por ayudarnos en nuestra formación académica compartiendo sus conocimientos, experiencias y por forjar profesionales de calidad.

Patricia



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Mariana, mi madre, que siempre está apoyándome en todos mis proyectos, a mis hermanas Gladys, Mayra y Estéfani y mis abuelitos Sebastián y María por todo su apoyo brindado.

Danny Xavier



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todas las personas que estuvieron siempre apoyándome en todas las etapas de mi corta vida, a mi madre, aunque se encuentre lejos siempre estuvo presente en mis pensamientos, gracias por sus consejos y enseñanzas.

A mis maestros de formación estudiantil, que de una u otra forma me brindaron su apoyo y conocimiento.

A mis hermanas y abuelos que son un pilar fundamental para llegar a esta etapa de mi vida.

“La utopía está en el Horizonte. Me acerco dos pasos, ella se aleja dos pasos. Camino diez pasos y el horizonte se desplaza días pasos más allá. Por mucho que camine, nunca la alcanzaré. Entonces, ¿Para qué sirve la utopía?

Para eso: sirve para caminar.”

Eduardo Galeano.

Danny Xavier



INTRODUCCIÓN

Desde tiempos primitivos, los pigmentos naturales han sido utilizados en una variedad de colores encontrándose en su mayoría de tipo biológico y mineral. El uso principal dado por el hombre para estos pigmentos fue la decoración de sus viviendas por lo que la necesidad de este tipo de recubrimientos fue incrementándose con el pasar del tiempo y su aplicación directa se ve reflejada en el área arquitectónica. (Luzuriaga, 2012)

En el Ecuador, la arquitectura construida mediante sistemas que aplican la tierra como material esencial de construcción es aún la protagonista, particularmente en el área rural y en las áreas históricas y patrimoniales de ciudades como Quito y Cuenca, que son patrimonio de la humanidad. (M. Achig, Zúñiga, Van Balen, & Abad, 2013)

En el caso de la provincia del Azuay, el cantón San Felipe de Oña, es uno de los principales referentes de la arquitectura vernácula en tierra. Los centros históricos de Oña y Susudel (parroquia de este cantón), han recibido la declaratoria como Patrimonio del Estado, misma que garantiza la preservación del patrimonio cultural y natural. Sus edificaciones no han sufrido una modernización agresiva y aún mantienen colores cálidos proporcionados por las pinturas de tierra (pigmentos minerales). (Ministerio de Cultura y Patrimonio, n.d.).

La aplicación de estos pigmentos minerales se debe a la existencia de una gran diversidad de este material, con colores como ocre, naranja, rojo, rosado, amarillo, verde, violáceo, blanco, en esta zona del sur del país. La utilización de este material requiere de un proceso que ha sido desarrollado por la práctica empírica de los constructores populares con el fin de dotarle al material resultante de la suficiente cohesión y adherencia a las superficies para lograr un buen acabado. (Proyecto Tierras de Colores).

Estas técnicas artesanales de producción implican la mezcla de pigmentos naturales con aglomerantes sintéticos como el Poliacetato de vinilo y otros de origen biológico como la cola animal, la cual se obtiene de hervir restos de animales hasta conseguir una "goma natural" que sirve de aglutinante. Así también, es posible utilizar el mucílago de tuna para este fin que al combinarse con el pigmento aumenta las propiedades adhesivas.

El presente estudio pretende desarrollar una alternativa de producción de pinturas a base de pigmentos minerales usando dos aglutinantes naturales y uno sintético que



pueda ser aplicada por la comunidad de Oña y Susudel permitiendo de esta manera estimular la recuperación de prácticas constructivas tradicionales. La investigación constituye una fase del Proyecto *“Tierras de Colores. Desarrollo de procesos de producción y capacitación para la utilización de pinturas con pigmentos minerales”* que se lleva a cabo en la Universidad de Cuenca con el apoyo de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo (Proyecto vIirCPM), Facultad de Ciencias Químicas y el asesoramiento del Arq. Fernando de Paula Cardoso, investigador de la Universidad Federal de Viçosa en el proyecto CORES DA TERRA.

- **JUSTIFICACIÓN**

La investigación que se propone desarrollar en este proyecto tiene una pertinencia fundamental, pues estimula la recuperación de prácticas constructivas que, adaptadas a las condiciones modernas podrían aportar significativamente para el buen tratamiento de los edificios patrimoniales y contemporáneos en la región.

Por otro lado, la investigación es un aporte técnico-científico importante, pues permitirá primero conocer, desde la perspectiva científica, los materiales, sus composiciones físico-químicas, sus cualidades de adherencia, su perdurabilidad, es decir, las condiciones técnicas con las que fueron históricamente aplicadas, y a partir de estos conocimientos, desarrollar dosificaciones óptimas que deriven en una producción enmarcada en claros protocolos para su aplicación. Como resultado se obtiene la producción de pinturas en base a pigmentos minerales.

Estudios similares se han llevado a cabo en diferentes países de Latinoamérica como Brasil y México, las características y composición de los pigmentos mineralógicos varía según la ubicación geográfica, condiciones ambientales y edad geológica; por lo que es importante realizar este estudio en el país, en este caso se escogió las comunidades de Oña y Susudel. (Proyecto Tierras de Colores).



- **OBJETIVOS**

OBJETIVO GENERAL:

Con base a conocimientos de ciertas características de la materia prima, plantear y desarrollar un diseño experimental con tres pigmentos minerales que nos permita encontrar una alternativa de producción de pinturas de tierra por cada pigmento, que pueda ser aplicada por las comunidades de Oña y Susudel.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Establecer parámetros básicos para plantear el diseño experimental mediante la realización de pruebas preliminares de producción de pinturas de tierra en condiciones básicas.
- Conocer las características de los pigmentos minerales.
- Plantear el diseño experimental de mezclas con base a los resultados obtenidos en pruebas preliminares.
- Ejecutar el diseño experimental.
- Procesar los resultados e identificar las dosificaciones óptimas para cada pigmento.

- **METODOLOGÍA**

Para el cumplimiento de los objetivos planteados, esta investigación se desarrolla en 3 etapas: la primera etapa está enmarcada a definir y conocer criterios en cuanto al desarrollo de la pintura, la segunda etapa aborda la experimentación en base a formulaciones identificadas evaluando el desempeño de cada una a condiciones de intemperismo.

Las pruebas preliminares realizadas permitieron establecer condiciones de formulación que sirvieron como base para la formulación final. El desarrollo de las pinturas a partir de pigmentos minerales usando dos aglutinantes naturales y uno sintético se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Cerámica y de Análisis de Aguas de la Universidad de Cuenca, campus Balzay.



Como etapa inicial, se efectuó un primer acercamiento exploratorio de las condiciones de elaboración de las pinturas en donde se evaluaron parámetros de viscosidad, contenido de sólidos y poder de cobertura de los pigmentos preparados correspondientes a las 11 muestras recolectadas con la finalidad de escoger 3 de ellos que por su variedad cromática y desempeño a las pruebas antes mencionadas tuvieran mejor desenvolvimiento. En una segunda fase se realizaron nuevas pruebas, aquí se dio la producción de las pinturas con los pigmentos seleccionados y los aglutinantes cola blanca, cola animal y mucílago de tuna con niveles de concentración recomendados por el asesor del proyecto; posteriormente su aplicación a soportes elaborados por la Facultad de Arquitectura y exposición a condiciones de intemperismo.

Es necesario recalcar que los ensayos de pH se realizaron con el potenciómetro marca Boeco, viscosidad con la Copa Ford Agujero N° 4 marca BEVS certificado por la ASTM D1200 y se empleó el disco Cowles adaptado a un taladro de 3000 rpm para la disgregación y agitación de las mezclas dentro del proceso de elaboración de pinturas.

En la tercera etapa, con los resultados obtenidos de las pruebas preliminares, se planteó el diseño experimental variando los niveles de concentración de los aglutinantes utilizados, las mezclas fueron generadas por el Software Minitab 17. Sin embargo, como primera fase se determinó un nivel óptimo de viscosidad, parámetro que funcionará con todos los pigmentos y niveles de aglutinantes. Como segunda fase se efectuó la producción de pinturas con los niveles óptimos de viscosidad obtenidos de la fase anterior. La evaluación de desempeño de cada producto obtenido se realizó de la misma manera que las pruebas preliminares además de que se efectuaron ensayos sencillos de calidad para evaluar la resistencia a la abrasión, rayado y absorción de agua y de esta manera relacionar el comportamiento de las pinturas y el desempeño durante el tiempo de exposición. Para el desarrollo de esta etapa, se incorporó un equipo de desintegración mecánica (IKA EUROSTAR 20 digital) que cuenta con un variador de velocidad que va desde los 150 a 6000 rpm, característica que facilitó la preparación del pigmento y la agitación de las mezclas.



CAPÍTULO I: GENERALIDADES Y MARCO TEÓRICO

1.1 Historia de la pintura

El uso decorativo de las pinturas ha estado presente desde la antigüedad, comenzando desde la pre-historia, donde se utilizaban pigmentos procedentes de minerales o vegetales, estos primeros indicios lo podemos apreciar en cuevas donde los humanos plasmaron sus primeras ideas. Las civilizaciones antiguas aplicaban la pintura a través de cerbatanas o muñecas realizadas con fibras vegetales que les permitían fijar los pigmentos en la pared, estos en su mayoría se mezclaban con grasa animal para darle adherencia. Existen pruebas de hace miles de años con una diversidad de formas y colores que han perdurado a través del tiempo, como lo es la civilización griega en donde podemos llegar a saber más acerca de su cultura y sus procedimientos artísticos, debido a la gran cantidad de reliquias y materiales encontrados, sobre todo cerámicas y pinturas murales. En la actualidad, hay nuevas técnicas de producción de pinturas que nos permite obtener una variedad de productos para cualquier ámbito artístico, pero estas técnicas no son más que adaptaciones a las empleadas por civilizaciones antiguas. (Saragoza, 2010)

La acuarela es una de las técnicas más antiguas que se tiene registro hasta la fecha, una de las primeras civilizaciones que utilizó esta técnica es la egipcia, en donde conserva pinturas realizadas a la perfección, esta cultura ha impresionado con la calidad de sus murales los cuales se conservan en perfectas condiciones hasta nuestros días, esta cultura deseaba que sus pinturas y obras de arte perduraran a lo largo del tiempo, por lo que tomaron precauciones técnicas para conservar su arte, usaban una pintura elaborada a base de pigmentos de colores (arcillas rojas, amarillas y verdes), cal y como cola usaban goma arábica, huevo, cera de abeja, etc. Los pigmentos minerales fueron los más utilizados en la antigüedad, el principal pigmento son los Óxidos de hierro (Fe_2O_3) que nos daban una gran variedad de colores como son el ocre y el rojo. También para resaltar y dar mayor profundidad de los colores se utilizaba carbón vegetal en los contornos. “En Oriente, los pintores chinos y japoneses consideraban la permanencia del color como un requisito esencial de toda obra de arte. Los japoneses siguen manteniendo actualmente los mismos tipos de pigmentos que en la antigüedad. La mayoría de sus pigmentos son minerales, y unos pocos son vegetales (índigo) u orgánicos (carmín)”. (Saragoza, 2010)

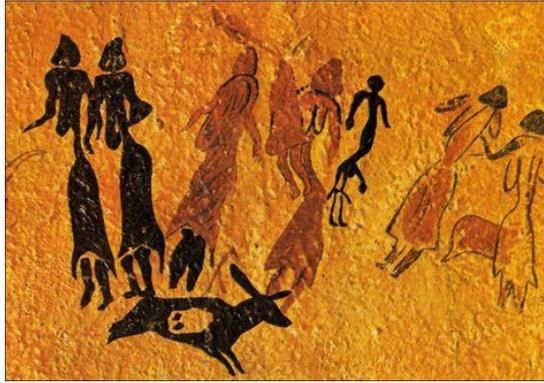


Figura 1-1. Pintura rupestre en la cueva de Cogul
Fuente: (Argantonios, 2011)

1.2 Pintura

1.2.1 Definición

Se define a pintura como “un fluido pigmentado que puede extenderse sobre una superficie y que por un proceso físico o físico-químico solidifica, resultando una película adherida a la superficie tratada”. (Almeida, 2011)

La Norma Técnica Ecuatoriana INEN 997 1983-04. *Pinturas y Productos afines*, define a pintura como:

“Una suspensión coloidal de pigmentos opacos o de color, que pueden o no contener extendedores en un ligante de resinas sólidas, líquidas, pastosas, o de aceites secantes vegetales o sintéticos u otros más sofisticados, y ciertos aditivos para lograr efectos especiales. Cuando estos ligantes están en solución, la pintura resultante constituye un líquido capaz de fluir sobre la superficie donde es aplicada, para formar una película sólida y opaca mediante un proceso de curado. Cuando los ligantes no están en solución, se puede lograr la fluidificación de los mismos por diferentes medios, como el calor.”

1.2.2 Funciones

Las pinturas cumplen dos grandes funciones, ambas de igual importancia:

- *Protección* del material, la pintura una vez seca y endurecida, forma una capa aislante entre el material y el exterior haciendo frente a la oxidación, corrosión y factores ambientales.



- *Decoración*, permite embellecer materiales y superficies gracias a la amplia gama de colores que permiten obtener efectos decorativos realzando y haciendo más atractivas las superficies. (Parrilla Alvarado, 2011)

1.3 Componentes de la pintura

Las pinturas en su mayoría están constituidas por capas superpuestas siendo al menos una de ellas una capa pictórica con un espesor variable de decenas de micras, compuesta por sustancias coloreadas dispersas en suspensión en un vehículo líquido que ayuda a mantener cohesión y adherencia a la superficie aplicada. (Matteini & Moles, 2001)

De manera general, las pinturas están compuestas por los siguientes elementos:

- Pigmento
- Vehículo fijo o ligante (aglutinante)
- Vehículo volátil o solvente

1.3.1 Pigmentos

Los pigmentos constituyen la parte sólida de la pintura, distribuida en pequeñas partículas insolubles en suspensión en el vehículo. Su función es proporcionar color y poder de cubrición a la pintura (Calvo Carbonell, 2011).

De acuerdo a la composición química, los pigmentos pueden ser orgánicos e inorgánicos. Los primeros están compuestos esencialmente por carbono e hidrógeno, son siempre de origen animal o vegetal, mientras que los pigmentos inorgánicos son de origen mineral y están constituidos por óxidos, carbonatos, sulfuros, etc., de varios metales y generalmente, tienen una estructura cristalina.

A decir de Mayer (1992) los pigmentos pueden clasificarse según la aplicación, color, permanencia, etc., sin embargo, la más común es de acuerdo a su origen como lo indica la siguiente tabla:



Tabla 1-1. Clasificación de los pigmentos según su origen.

Tipo de Pigmento	Subclasificación	Ejemplo
Inorgánicos (Minerales)	Tierras naturales	Ocre, sombra natura, etc.
	Tierras naturales calcinadas	Sombra tostada, siena tostada, etc.
	Colores minerales de preparación artificial	Amarillo de cadmio, óxido de zinc.
Orgánicos	Vegetales	Gutagamba, índigo, rubia.
	Animales	Cochinilla, amarillo indio.

Elaboración: Los autores

Fuente: (Mayer, 1992)

Matteini & Moles (2001) sostienen que un pigmento debe poseer tres propiedades fundamentales:

- Debe ser insoluble en el aglutinante y en la mayor parte de los solventes, incluida el agua.
- Debe ser químicamente estable, es decir, resistente a los agentes que pudieran atacarlo.
- Debe poseer cierta inercia química con respecto a las sustancias con las que se suele mezclar (aglutinantes, entre otros).

1.3.2 Vehículo

Es la parte líquida de la pintura, está formado por el aglutinante y el solvente.

1.3.2.1 Aglutinante

Constituye la parte no volátil del vehículo y es el responsable de la adherencia de las partículas de pigmento sobre la superficie donde se aplica. Es un polímero de alto peso molecular, generalmente de naturaleza orgánica. De su composición depende que la pintura mantenga la resistencia química, propiedades mecánicas, permeabilidad, etc. (Gabaldón, 2004).



- **Clasificación de los aglutinantes:**

Una forma típica de clasificarlos es de acuerdo a su solubilidad en agua, por esta razón Palet (2002), los divide en magros y grasos para los aglutinantes de naturaleza orgánica.

- **Aglutinantes Magros:** son solubles en agua y se aplican con este medio. Son polares, se disuelven en solventes polares como el agua o mezclas de agua y alcohol.
Ejem: proteicos, polisacáridos, emulsiones acrílicas, vinílicas o de otra índole en la que la fase dispersante sea el agua.
- **Aglutinantes Grasos:** son insolubles en agua, apolares o poco polares, disolviéndose en solventes de compuestos orgánicos en general como: hidrocarburos, compuestos clorados, éteres, ésteres, cetonas.
Ejem: aceites, ceras o resinas (naturales o sintéticas).

1.3.2.2 Solvente

Es la parte volátil del vehículo, sustancia que permite la dispersión de otra sustancia en esta, a nivel molecular o iónico (García & Armiñana, n.d.). Facilita la extensión y generalmente fluidifica el aglutinante, además interviene en el tiempo de secado de la pintura. (Palacios, 2006). Entre los solventes más utilizados se encuentran: el agua, cetonas, ésteres, alcoholes, y otros de naturaleza orgánica (Alonso, 2013).

1.4 Factores y condiciones que degradan las pinturas

La luz, el aire, los agentes contaminantes y la humedad, pueden modificar las propiedades y composición de un pigmento. Los pigmentos que contienen componentes orgánicos son inestables si se exponen a la luz pudiendo desvanecerse. Los pigmentos inorgánicos son mucho menos sensibles a la luz que los orgánicos, sin embargo, pueden presentar alteraciones químicas degradantes. Por ejemplo, los pigmentos constituidos por cromatos (amarillos) pueden fácilmente sufrir reacciones de óxido-reducción que los transforman en óxidos de cromo (verdes). La composición química del pigmento no es el único factor que determina la estabilidad de la pintura influyendo también el aglutinante utilizado, la acción deteriorante se ve disminuida por la presencia del aglutinante debido a que éste proporciona una capa protectora. (Matteini & Moles, 2001)



1.5 Alteraciones producidas en las pinturas

Debido a los factores y condiciones que degradan las pinturas, suelen presentarse defectos o alteraciones sobre la superficie de un film seco. Autores como Alonso (2013) y Almeida (2011) detallan como los más comunes a los siguientes:

- *Cabezas de aguja*: agujeros finos producidos por impurezas presentes en el soporte.
- *Cráteres*: agujeros producidos por una tensión superficial o viscosidad elevada.
- *Ojos de pez*: producidos por contaminación del sustrato con grasas, partículas de suciedad, ceras, etc.
- *Piel de naranja*: cuando el film seco presenta una superficie con ondulaciones similares a piel de naranja.
- *Delaminación o escamado*: sucede por una mala adherencia de la pintura al sustrato.
- *Fisuras*: ocasionadas por las tensiones de capas de pintura superpuestas.
- *Craquelado*: se reconoce cuando la pintura presenta pequeñas fisuras en abundancia que se entrelazan.
- *Alteración del color*: producida por la baja resistencia al medio ambiente, a los rayos UV y al empleo de pigmentos con baja resistencia química.



CAPÍTULO II: CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

El color del suelo es considerado como una de las características más evidentes dentro de la morfología del suelo y se lo asocia generalmente con los componentes sólidos presentes en el mismo.

2.1 Pigmentos minerales

Corresponden a los pigmentos de tipo inorgánico, se hallan en la naturaleza pulverizados o en bloques dispares en una variabilidad tonal. (Álvarez Romero, 2012).

Las tierras compuestas de diferentes minerales, con tonalidades pardas, rojizas, amarillentas o verdosas fueron ampliamente utilizadas, debido a su fácil obtención como bases de preparación o mezcladas con otros pigmentos. Alegre, Perla, & López (2016), dentro de su obra “La Materia del Arte”, describe los tipos de pigmentos de los cuales se extraen los más relevantes:

- *Ocres*: pigmentos naturales que varían del amarillento al pardo oscuro, proceden de la desintegración de los feldespatos que contienen hierro, su pigmentación es debida a su riqueza en óxido férrico y compuestos como manganeso y combinaciones de bario y calcio.
- *Pigmentos azules*: entre ellos se encuentra la azurita cuya composición es carbonato básico de cobre, $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$, en presencia de humedad y de sustancias básicas tiende a transformarse en otras sales de cobre como la atacamita de color verde. También está el lapislázuli o ultramar ($3\text{Na}_2\text{O}_3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{Na}_2\text{S}$), silicato de sodio más sulfuros, calcita, trazas de pirita y otras impurezas. Estable a agentes atmosféricos comunes.
- *Pigmentos verdes*: La malaquita es el más común, compuesto de carbonato básico de cobre, estable a condiciones ambientales, pero es sensible a los ácidos y bases, conocido también como “Tierra Verde”, pigmento cuya composición es una mezcla de dos silicoaluminatos de Fe(II), Mg y K, es bastante estable.

De manera general los colores suelen emplearse como indicadores del contenido mineral de un suelo, en donde los minerales de hierro son los pigmentos más abundantes. La **Tabla 2-1** indica algunos minerales responsables del color del suelo:



Tabla 2-1. Minerales que proporcionan color al suelo

Mineral	Fórmula	Tamaño	Color
Goethita	FeOOH	1-2 mm	Amarillo
Goethita	FeOOH	~0,2 mm	Marrón oscuro
Hematita	Fe ₂ O ₃	~0,4 mm	Rojo
Hematita	Fe ₂ O ₃	~0,1 mm	Rojo
Lepidocrocita	FeOOH	~0,5 mm	Rojo pardo
Lepidocrocita	FeOOH	~0,1 mm	Rojo
Ferrihidrita	Fe(OH) ₃		Rojo oscuro
Sulfuro de hierro	FeS		Negro
Pirita	FeS ₂		Negro metálico
Jarosita	KFe ₃ (OH) ₆ (SO ₄) ₂		Amarillo pálido
Calcita	CaCO ₃		Blanco
Dolomita	CaMg (CO ₃) ₂		Blanco
Yeso	CaSO ₄ . 2H ₂ O		Marrón pálido
Cuarzo	SiO ₂		Gris claro

Fuente: Modificado de (Lynn & Pearson, 2000)

2.1.1 Tamaño y geometría de las partículas

El tamaño de partícula y la distribución del pigmento son importantes. Primero, desde el punto de vista de la necesidad del ligante, cuanto menor es el tamaño de partícula, mayor es la superficie específica y por lo tanto la necesidad del ligante. Segundo, por el empaquetamiento de las partículas propias del pigmento, si estas son esféricas y de tamaño homogéneo dejará muchos huecos a diferencia de una que tenga además una distribución de partículas más pequeñas que llene los espacios dejados por las de mayor tamaño. (Calvo Carbonell, 2011)

La variación de la forma cristalina de las partículas pigmentarias depende de su naturaleza química y del proceso de obtención. En la producción de pinturas, se generan mezclas de diversos materiales, por lo que los pigmentos se encuentran formando aglomerados y agregados.

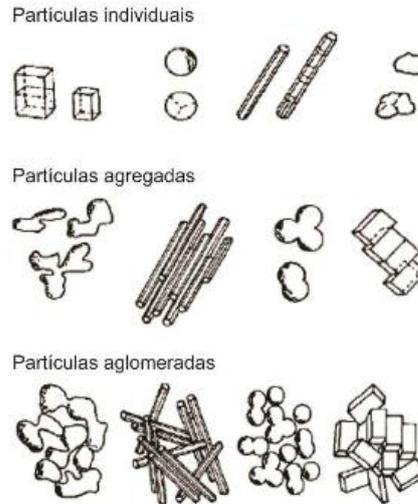


Figura 2-1. Formas y estados de las partículas de pigmentos utilizadas para la producción de pinturas

Fuente: (Cardoso, 2015)

2.1.2 Composición granulométrica

El suelo está constituido por partículas de diferente tamaño que pueden estar agrupadas de acuerdo a sus dimensiones, cada grupo presenta características propias que indican su comportamiento como material de construcción. Neves, Faria, Rotondaro, Cevallos, & Hoffman (2009) exponen una clasificación granulométrica adoptada en Brasil (uno de los países que lidera el uso de la tierra como material de construcción), establecida por la Norma Brasileña NBR 6502 1995. “*Rochas e solos*”.

Tabla 2-2. Clasificación granulométrica de los constituyentes del suelo

Dimensión de los granos d (mm)	Clasificación de las partículas	Características principales
$2 \leq d \leq 20$	grava	elemento inerte y resistente
$0,06 \leq d < 2$	arena	elemento inerte, sin cohesión
$0,002 \leq d < 0,06$	limo	sin cohesión, disminuí la resistencia de la arena
$d < 0,002$	arcilla	posee fuerte cohesión, sin estabilidad volumétrica, expande en la presencia del agua; presenta propiedades físicas y químicas bastante variadas según su origen

Fuente: (Neves et al., 2009)



Por lo expuesto anteriormente, las arcillas son consideradas un tipo de coloide mineral lo que favorece la formación de agregados en el suelo; mantienen la suspensión haciendo que no sedimenten las partículas de arcilla cuando están en reposo y cuando está en conjunto con una fase dispersora como el agua.

2.2 Aglutinantes

Sustancias empleadas con la finalidad de dar adherencia a los componentes de la pintura. Las características y propiedades de los aglutinantes naturales (cola animal, mucílago de tuna) y sintéticos (cola blanca) se describen a continuación:

2.2.1 Cola animal

Las colas animales son materiales muy versátiles, ampliamente utilizadas en el ámbito artístico. En la arquitectura tradicional la cola animal se emplea como material para la conservación, restauración, así como en la estética de las fachadas de las edificaciones. Se han descubierto que este tipo de aglutinante ha ido utilizado desde la antigüedad y son uno de los materiales más comunes en las obras de arte en las pinturas murales. (Vissac, Bourgès, Gandreau, Anger, & Fontaine, 2017)

La cola animal es una sustancia adhesiva a base de colágeno obtenida del calentamiento de despojos animales. Este calentamiento da lugar a la solubilización de múltiples impurezas como los taninos o conservantes de la piel. (Bailach Bartra, Fuster López, Yusa Marco, Talens Oliag, & Vicente Palomino, 2011)

- **Naturaleza y estructura química**

Debido a que la cola animal resulta de la desnaturalización del colágeno es necesario entender primero su estructura molecular. El colágeno es una proteína compuesta de aminoácidos naturales enlazados entre sí siguiendo una secuencia específica. Los aminoácidos presentan una particular forma de condensación llamada enlaces peptídicos, siendo la base de todas las proteínas. (Schellman, 2009)

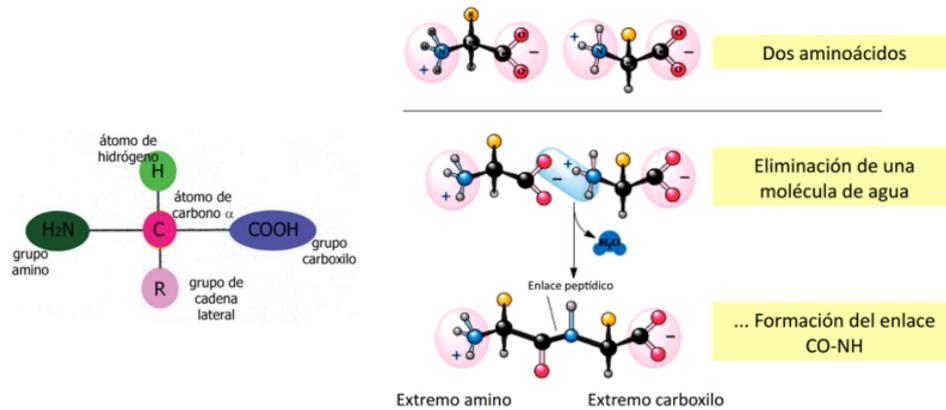


Figura 2-2. Unión de aminoácidos por enlaces peptídicos

Fuente: (Garrett, 2008)

El colágeno es una proteína fibrosa cerca de 300 nm de longitud. Está formado por tres cadenas unidas por enlaces covalentes y enlaces de hidrógeno. Estos enlaces pueden ser rotos por la acción del agua.

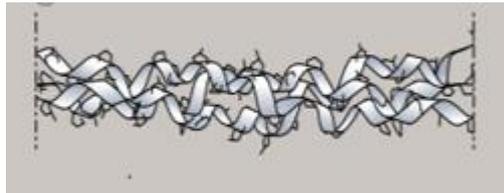


Figura 2-3. Molécula de colágeno

Fuente (Vissac et al., 2017)

La molécula del colágeno está formada por tres cadenas de proteína distintas, que contienen una molécula del aminoácido glicina (Gly) cada tres posiciones siguiendo el siguiente esquema:



En las posiciones X e Y se suele encontrar prolina e hidroxiprolina. Estas cadenas se mantienen unidas muy fuertemente mediante enlaces por puente de hidrógeno que se dan entre el hidroxilo de la prolina e hidroxiprolina y los hidrógenos del grupo amino de las unidades de glicina adyacentes. (Bailach Bartra et al., 2011)



- **Características físico químicas**

Las colas animales pueden ser extraídas de diferentes fuentes o materias primas, en la **Tabla 2-1** se detallan algunas de ellas y las propiedades que éstas presentan.

Tabla 2-3. Propiedades fisicoquímicas de la cola animal

Tipos de colas	Peso molecular	Fuerza de gel	Viscosidad	Tensiones con fluctuación de Humedad Relativa
Cola de huesos	Bajo a medio	Baja a media	Baja a media	Medias
Cola de pieles	Alta	Alta	media a muy alta	Altas
Cola de piel de conejo	Alta	Alta	Alta a muy alta	Altas
Gelatina de mamíferos	Medio a alto	Alta	Media a alta	Medias a altas
Cola líquida de pez	Bajo	---	Alta	Medias

Fuente: Modificado de (Bailach Bartra et al., 2011)

Elaboración: Autores

- **Peso molecular**

Las colas animales presentan un peso molecular medio de 20.000 a 250.000 g/mol. Por norma general, las colas de altos pesos moleculares, como la cola de piel, tendrán una fuerza de gel superior, y por lo tanto gelificarán antes y formarán enlaces más fuertes.

- **Efecto del pH**

Las sustancias derivadas del colágeno son muy sensibles a los cambios de pH. El colágeno es una molécula anfótera, lo que significa que normalmente se encuentra en su forma ionizada, en la que la carga eléctrica total de la molécula es neutra. Sin embargo, el contacto con otras sustancias ionizantes como los ácidos y los álcalis pueden introducir cargas adicionales que desestabilicen el conjunto e influyan en las propiedades del film de cola.



- **Procesos de alteración de tipo físico**

Según Roche (2003) la causa principal de degradación de las emulsiones a base de colágeno son las variaciones de humedad y la presencia de agua. Las colas y gelatinas animales son materiales altamente sensibles a las variaciones de humedad relativa (HR), lo que puede provocar en el estrato de cola notables dilataciones y contracciones o las tensiones equivalentes en caso de encontrarse restringido por un sustrato. A nivel químico, un descenso de la humedad relativa por debajo del 30% provoca la deshidratación de las proteínas. Si llegan a perder el agua de constitución, la matriz de cola debe reorganizarse y tienen lugar entrecruzamientos covalentes que provocan una modificación de las propiedades de la cola, que se vuelve rígida y quebradiza.

Cuando una gelatina o cola se utiliza como aglutinante pictórico, es fundamental que presente una coloración nula o mínima y una buena transparencia, para no afectar al aspecto del pigmento más allá de la refracción de la luz característica del aglutinante. Para que una cola sea adecuada para las intervenciones de restauración, estas características cromáticas no solo deben ser óptimas en el momento de la aplicación, sino que deben de mantenerse en el tiempo sufriendo las mínimas alteraciones posibles. (Schellman, 2009)

2.2.2 Sustancias mucilaginosas

Son polisacáridos producidos por el metabolismo normal de ciertas plantas. Se trata de reservas nutritivas localizadas en las raíces, las hojas, los granos, etc. A veces se utilizan como agentes de retención de agua. (Cuadrón, n.d.). Uno de los empleados en el área de construcción es aquel proveniente del nopal.

2.2.2.1 Polisacáridos

Son moléculas formadas por la unión de muchas moléculas de monosacáridos entre sí, unidas por enlaces glucosídicos, se encuentran como cadenas lineales o ramificadas, pueden dividirse en homopolisacáridos, formados por moléculas de monosacáridos iguales, ya sea de origen animal o vegetal, constituyen materiales de reserva para realizar funciones en condiciones en las cuales no es posible obtener azúcares. Se



encuentran también, los heteropolisacáridos, sustancias de peso molecular elevado formado por más de un tipo de unidades de monosacáridos (Peña, Arroyo, Armando, & Tapia, 2004).

Los polisacáridos, de acuerdo a su función biológica, se dividen en dos grupos:

- Los que constituyen la estructura celular y confieren rigidez a los tejidos, por ejemplo: celulosa, pectinas, gomas.
- Los que representan la reserva de energía de animales y vegetales, por ejemplo: glucógeno, inulina, almidón).

Los usos que se les da son principalmente como estabilizadores a través de sus interacciones con el agua. (Vissac et al., 2017)

En el campo de la construcción con tierra, la afinidad de la arcilla con materia orgánica no es algo nuevo, su adición ya sea de origen animal o vegetal refuerza el material, por lo que los polisacáridos se han utilizado tradicionalmente como recubrimientos o protecciones de superficie cuyo objetivo es mejorar propiedades del material como: resistencia mecánica, abrasión y protección contra el agua.

Los polisacáridos permiten consolidar el suelo mediante la formación de refuerzos microscópicos entre las partículas de arcilla, las largas cadenas de azúcares son capaces de conectar varias partículas de minerales juntos, creando una especie de red, por lo que la colocación del recubrimiento se ve facilitada por la adición de estos estabilizadores. (Vissac et al., 2017)

2.2.2.2 Nopal

Es el nombre común que reciben las cactáceas del género *Opuntia*, es originaria de América tropical y subtropical. Hasta ahora esta familia de cactáceas cuenta con 125 géneros y 2000 especies diversas. Sólo en México existen más de 100 especies de nopales por lo que este país es considerado como el centro de origen de estas plantas. Entre las especies más empleadas destacan: *Opuntia ficus indica*, *O. amyclaea*, *O. xocconostle*, *O. megacantha* y *O. streptacan* siendo la más común y cultivada en distintas partes del mundo la *Opuntia ficus indica*.(Cervantes, n.d.)



Figura 2-4. Nopal Opuntia ficus indica
Fuente: (plantasen.blogspot.com, 2013)

- **Composición Química**

Los análisis químicos del mucílago de nopal, permiten observar que posee una gran cantidad de agua seguida por carbohidratos y cenizas respectivamente. En la **Tabla 2-4** se muestran los porcentajes de la composición química del mucílago de nopal:

Tabla 2-4. Composición química en 100g de nopal fresco

Componente	%
Agua	91,00
Proteína	0,66
Grasa	0,11
Carbohidratos	5,50
Celulosa	1,15
Cenizas	1,58

Fuente: (Ornelas Núñez, 2011)

- **Mucílago del nopal (Opuntia Ficus indica)**

El nopal excreta una sustancia gelatinosa llamada mucílago, polisacárido altamente ramificado, cuyo peso molecular oscila alrededor de 13×10^6 g/mol (Rodríguez-González,



Martínez-Flores, Órnelas-Nuñez, & Garnica-Romo, 2011). Diversas investigaciones concuerdan en que el mucílago de nopal está compuesto de arabinosa, ramnosa, galactosa, xilosa y ácido galacturónico. (León Martínez, 2010)

Tabla 2-5. Composición de azúcares de la goma de mucílago (*Opuntia ficus indica*)

Composición	(% P)
Arabinosa	44,04
Galactosa	20,43
Xilosa	22,13
Ramnosa	7,02
Ácido galacturónico	6,38

Fuente: (Medina-Torres, Brito-De La Fuente, Torrestiana-Sanchez, & Katthain, 2000)

- **Propiedades y usos del mucílago**

Es de gran importancia en la industria debido a sus propiedades de viscosidad, tiene la capacidad de formar redes moleculares, retener fuertemente grandes cantidades de agua y modificar propiedades como viscosidad, elasticidad, textura, retención de agua por lo que es utilizado como gelificante, espesante y emulsionante. (Rodríguez-González et al., 2011)

- **Extracción del mucílago**

Rosales & Salazar (2017), describen un proceso sencillo de extracción del mucílago el cual comienza con la recolección de la hoja de la planta (nopal), luego se debe cortar de manera paralela a la mayor superficie de la misma para rasparla y conseguir la baba de la cactácea. Consideran, además, que las selecciones de las hojas deben estar en un punto intermedio de vida, ni muy tiernas, ni muy maduras y ser lo más voluminosas posibles con el objetivo de obtener solo el mucílago y no las fibras vegetales que se adhieren a las paredes de las hojas lo que ocasionaría alteraciones en la pintura.

Según investigaciones del Proyecto “Tierras de Colores”, para la extracción del mucílago de 12 hojas de nopal se procede de la siguiente manera:

- Una vez obtenido el mucílago de las hojas de nopal (4,5 litros), añadir $\frac{3}{4}$ litros de agua. Dejar reposar por un día y añadir 3 litros de agua.



- Pasar la mezcla a través de un tamiz de 4 mm de abertura y la mezcla recibida pasar por un segundo tamiz de 2 mm de abertura.
- Añadir 2 litros de agua a la mezcla tamizada y cubrir el recipiente. Dejar reposar por un día.
- La mezcla reposada pasar nuevamente por los dos tamices descritos anteriormente.

Nota: El volumen obtenido es de 2 litros de solución de mucílago.

- **Efecto del pH en la viscosidad**

La figura 2-5 muestra el efecto del pH en la viscosidad de disoluciones de mucílago, donde la viscosidad se mide por una fuerza de cizallamiento expresado en Pa.s. El aumento del pH provoca un aumento de los valores de viscosidad, en la región alcalina, los valores de viscosidad muestran una tendencia a un valor constante. Por otro lado, disminuyen bruscamente entre pH 7,0 y 2,0. La ionización de los grupos carboxilo del mucilago por encima de pH 7,0 puede explicar el aumento de la viscosidad. El pH como la fuerza iónica afecta a las propiedades hidrodinámicas y por tanto a las propiedades de flujo de las moléculas del mucílago. Estas propiedades son presumiblemente un resultado de los cambios conformacionales en la molécula y deben tenerse en cuenta para determinar las propiedades funcionales del mucílago. (Medina-Torres et al., 2000).

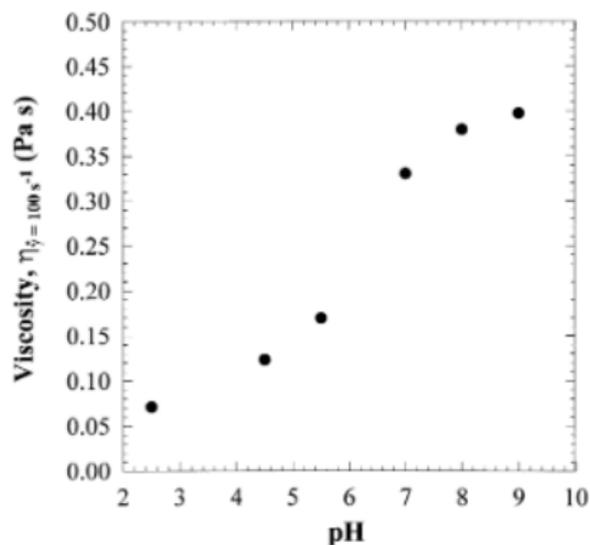


Figura 2-5. Efecto del pH en la viscosidad de disoluciones de mucílago a un gradiente de velocidad de 100 s^{-1} y a 25°C

Fuente: (Medina-Torres et al., 2000)



2.2.3 Poliacetato de vinilo (PVA)

El poliacetato de vinilo (PVA) es un polímero sintético gomoso con fórmula abreviada $(C_4H_6O_2)_n$. Pertenece a la familia de los polímeros polivinil éster más fácilmente obtenible y de más amplio uso, cabe señalar que se trata de un tipo termoplástico (Billmeyer, 2004). El PVA es ampliamente usado como adhesivo, al que se refiere indistintamente como cola para madera, cola blanca, cola de carpintero, cola escolar, cola PVA o cola vinílica.

- **Estructura química y síntesis**

La estructura química del polímero consiste en sucesiones de grupos del poliacetato de vinilo.

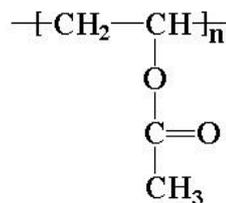


Figura 2-6. Monómero acetato de vinilo

Fuente (Billmeyer, 2004)

El poliacetato de vinilo es preparado por polimerización vinílica por radicales libres del monómero acetato de vinilo por un proceso de adición.



Figura 2-7. Polimerización vinílica por radicales libres

Fuente (Billmeyer, 2004)



- **Emulsiones de poliacetato de vinilo**

El PVA es ampliamente utilizado en la forma de una dispersión de resina sólida en agua. Se producen estas dispersiones por medio del proceso de polimerización por emulsión.

Generalmente las fábricas que producen el acetato de polivinilo especifican las propiedades de sus emulsiones donde incluyen: porcentaje de sólidos, viscosidad de la emulsión, pH, contenido de ácido, porcentaje de monómero sin reaccionar y densidad.

Los principales tipos de emulsiones poliacetato de vinilo que comúnmente se encuentran en el mercado pueden clasificarse de la siguiente manera:

Tabla 2-6: Tipos de emulsiones de poliacetato de vinilo

Clase I	Homopolímeros para uso general, tamaño de partícula y peso molecular heterogéneos. Son estables al almacenamiento y manejo. Su viscosidad varía de 4000 a 5000 cps, el contenido de sólidos generalmente es de 55 % y el pH de 4 a 5.
Clase II	Emulsiones homopolímeros para usos especiales. Tiene un alto peso molecular para un mayor agarre a altas temperaturas, un tamaño de partícula grueso para un mayor agarre en superficies porosas. Un tamaño de partículas promedio entre 0,5 a 10 micrones.
Clase III	Emulsiones de homopolímero. Forman películas libremente a la temperatura ambiente. Estas emulsiones tienen un tamaño de partícula más fina y uniforme, el tamaño varía entre 0,45 a 1 o 2 micrones.
Clase IV	Tamaño de partícula entre de 0,1 a 0,4 micrones o menos. Sus películas son claras, brillantes y resistentes al agua, características que las hacen particularmente útiles para recubrimientos de adhesivos.
Clase V	Emulsiones de poliacetato de vinilo-copolímero ácido. La presencia de grupos ácidos les confiere una mejor adhesión a muchas superficies.
Clase VI	Emulsiones con alto contenido de coloide. Estas emulsiones son altamente estables al ser expuestas con agentes espesadores y resinas solubles en agua, gomas, almidones y dextrinas en general.



Clase VII Emulsiones del copolímero acetato de vinilo-maleato de alquilo. Formación de filamentos o tiras, cuando el adhesivo se desprende de una superficie), compatibilidad con solventes y plastificantes.

Fuente: (Ramírez, 2017)

- **Propiedades**

El grado de polimerización de poliacetato de vinilo normalmente es de 100 a 5000. Los grupos éster del acetato de polivinilo son estables en sistemas neutros, pero son sensibles a los álcalis y poco a poco convertirán el PVA en alcohol polivinílico y ácido acético.

El poliacetato de vinilo es demasiado blando y tiene una excesiva fluencia en frío debido a que su temperatura de transición vítrea es de 28°C, muy próxima a la temperatura ambiente. La densidad es de 1,19 g/cm³ y con una viscosidad promedio de 22000 cps y un pH entre 4 y 5. Es atáctico y amorfo (Billmeyer, 2004).

CAPÍTULO III: PRUEBAS PRELIMINARES

3.1 Principios de formulación

Los factores principales a considerarse para la selección de los pigmentos son: resistencia al intemperismo, poder de cobertura, poder de teñido y dispersabilidad, de esta manera constituyen la base para la preparación de pinturas con tierra (Cardoso, 2015).

3.1.1 Selección y extracción de las muestras de suelo

Las muestras fueron recolectadas en la zona de Susudel y Oña, un total de 11 muestras de tierra, todas ellas en función de sus características visibles como color y presencia de material arcilloso.

La extracción de las muestras se realizó mediante procesos sencillos, utilizando herramientas manuales, su elección fue en base a la variedad de coloraciones existentes en la zona, así, tierras verdes se hallan en las partes bajas en tanto que las coloradas en los cerros y en los alrededores de las carreteras.



Figura 3-1. Muestras de tierra extraídas

Fuente: Proyecto Tierras de Colores

El equipo de investigación del Proyecto “Tierra de Colores” georreferenció los lugares de cada muestra extraída, estos datos se muestran en la **Tabla 3-1**.



Tabla 3-1. Coordenadas de ubicación de muestras de suelo

No.	Color	Latitud	Longitud	Altitud
1	Amarillo	3,2211611111111114	79,03801944444444	3359 m
2	Rosado Jaspeado	3,329044444444444	79,1703638888889	3071 m
3	Marrón	3,339455555555556	79,1769305555556	3014 m
4	Rosado	3,3394639	79,1770194	3016 m
5	Violeta	3,376719444444444	79,1926694444445	2966 m
6	Rojo	3,3784694	79,18915	2904 m
7	Crema	3,3782472	79,1886361	2899 m
8	Verde Oliva	3,3840778	79,1821472	2832 m
9	Blanco	3,420530555555556	79,2269166666667	2790 m
10	Verde Gañal	3,4271917	79,2348611	2715 m
11	Verde Putushío	702380,8480	9615740,4776	2718 m

Fuente: Proyecto Tierras de Colores

En un estudio realizado con anterioridad “La tierra de Oña: color, técnica y Patrimonio”, Rosales & Salazar (2017), autores del mencionado estudio trabajaron con estas muestras de suelo y describieron sus características de manera superficial según el punto de extracción que se resumen en lo siguiente:

- La muestra de tierra 1 corresponde a un suelo limoso.
- Muestras de tierra con denominaciones: 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 corresponden a suelo arcilloso con una coloración rojiza o pardo rojiza.
- Muestras de tierra 9 y 10 pertenecen a arcillas duras, en una zona de suelos erosionados.
- Finalmente, la muestra de tierra 11, corresponde a una arcilla “original” y se ubica en una zona de alta erosión.

3.1.2 Caracterización de muestras de suelo

La caracterización tiene como objetivo identificar las propiedades y características propias de cada muestra, comparar y relacionar su similitud para de ellas escoger las muestras que serán utilizadas en la parte experimental del Proyecto “Tierras de Colores”.

Como parte inicial, se estableció realizar unos ensayos que sirvieron como exploración preliminar para obtener una primera aproximación de la cantidad de agua y pigmento a



usar cuando se realice la disgregación mecánica. Además, de establecer las condiciones apropiadas para la selección de las muestras de suelo a utilizarse dentro de esta investigación.

3.1.3 Primera dispersión (preparación del pigmento)

Las muestras de suelo, al ser recolectados directamente de las canteras se presentan en forma de rocas pequeñas o aglomerados, por lo que para utilizarlos en condiciones de homogeneidad y estabilidad es necesario desagregarlos y dispersarlos utilizando herramientas mecánicas como el denominado Disco Cowles que consiste en un disco aserrado con los bordes alternados montados en un eje de alta rotación (Cardoso, 2015).



Figura 3-2. Disco Cowles adaptado

Fuente: (Cardoso, 2015)

El proceso de preparación inicia con la adición de agua a las muestras de tierra hasta cubrir las, para disgregarlas se utilizó un agitador mecánico “Cowles” adaptado a un taladro de 3000 rpm por un tiempo de 30 minutos, esta dispersión mecánica tiene por objeto destruir los aglomerados hasta obtener una mezcla homogénea.

El material obtenido fue pasado por un tamiz N° 80 ASTM (apertura 180 micras), utilizando brochas para facilitar el proceso.



Se dejó decantar por un tiempo aproximado de 12 horas, luego del cual se eliminó el exceso de agua con la ayuda de una manguera cuidando que no se genere turbulencia y evitando así que se elimine el sólido.

3.1.4 Viscosidad y pH de suspensiones acuosas de pigmentos minerales

El pH es una medida de acidez o alcalinidad, en el suelo, puede variar en función de la vegetación, clima, topografía, materia orgánica, actividad biológica, etc. Suelos que se encuentran bajo bosques húmedos y subhúmedos hasta zonas de matorral semiárido tienen valores de pH comprendidos entre 4,0 y 8,0; valores por encima indican un exceso de sales de Ca^{2+} y Na^{+} , en tanto que, valores por debajo de este rango se deben a un exceso de iones H^{+} y Al^{3+} en la solución del suelo. Entre los elementos disponibles, en el rango normal de pH, se encuentran: Fe, Al, Mn, Mb, B, Cu, Cd y otros (Millares, 2006).

El uso de pigmentos minerales en la producción de pinturas y su contacto con diversos componentes de los aglutinantes de pH ácido o básico suponen una variación del pH en estos materiales, además este parámetro tiene relación directa con el contenido de agua a usarse en la suspensión, lo que influye a su vez en la viscosidad, se inicia el trabajo preparando suspensiones de pigmento que tengan la viscosidad recomendada por estudios anteriores para este tipo de pinturas y determinando en ellas el pH.

a) Determinación de la viscosidad

La viscosidad es la resistencia que presenta un líquido a la fuerza externa que tiende a hacerlo fluir (INEN 997, 1983).

Fundamento: este método sirve para determinar la consistencia de pinturas, barnices, lacas y productos con flujo newtoniano.

Se llena el viscosímetro Ford hasta el engrase con el producto que se va a ensayar y se mide el tiempo que tarda en cortarse el flujo del líquido. El resultado se expresa en segundos y se registra el orificio usado en la determinación (INEN 1013, 2015).

Procedimiento:

- En la suspensión que atravesó el tamiz determinar el tiempo de escurrido en la copa Ford N° 4.
- Para determinar la viscosidad poner la suspensión en la copa, tapando con el dedo el agujero inferior de la copa, llenarla hasta el tope sobrepasando ligeramente el borde superior, enrasar con una placa de vidrio el líquido en exceso. Determinar inmediatamente el tiempo de escurrido con un cronómetro.

En caso de ser necesario, se agregó sólido o agua hasta llegar a la viscosidad requerida, tiempo de escurrido entre 11-13 s. Para ello se hicieron pruebas en volúmenes de 500 ml para luego reproducirlos en la mezcla total.

Una vez que se obtenga la viscosidad especificada, agitar el material contenido en el recipiente y trasvasar aproximadamente 100 ml en un tomamuestras limpio y seco, rotulado con el nombre de la muestra para la determinación del pH.

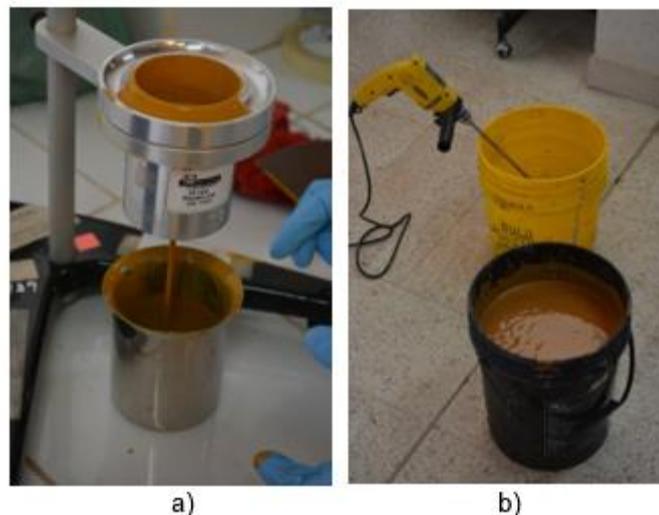


Figura 3-3. a) Determinación de la viscosidad en la copa Ford, b) Pigmento preparado usando agitador mecánico

Fuente: Los autores

De la muestra original se tomó una alícuota de 500 ml para realizar la medición de la viscosidad en la copa Ford orificio # 4, si la viscosidad no se encontraba en el rango de 11-13 s, se agregó agua, se agitó por cinco minutos y se procedió a leer de nuevo la viscosidad. Una vez logrado el rango indicado anteriormente, se hace el cálculo de la cantidad de agua que se debe agregar a la mezcla total.

Autores: Danny Salto
Patricia Zhagüi



Como ejemplo se tomó a la muestra 1, el procedimiento será análogo para el resto de muestras.

Tabla 3-2. Datos de viscosidad para el pigmento 1

	Viscosidad (s)			
	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Promedio
Mezcla inicial	17,9	---	---	---
500 ml de alícuota				
+100ml H ₂ O	13,56	---	---	---
+25ml H ₂ O	12,47	12,41	12,68	12,52

Fuente: Los autores

Una vez alcanzada la viscosidad dentro del rango, se realizó el cálculo para la mezcla original, cabe recalcar que los valores obtenidos del volumen de agua a adicionar serán aproximados ya que por lo general se requiere agregar un poco más de la cantidad calculada.

Para agregar agua a la mezcla original se procede la de siguiente manera:

Volumen total de la mezcla original (pigmento preparado): 2400ml

Mezcla (ml)	Agua (ml)
500 alícuota	125
2400	X=600

Se agregó 600 ml de agua a la muestra original dando una viscosidad con tiempo de escurrido de 13,58 s; se procedió a agregar más agua a la muestra original, hasta llegar al rango de viscosidad requerido.

Tabla 3-3. Datos de viscosidad en la mezcla total para la muestra 1

	Viscosidad (s)			
	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Promedio
+ 50ml H ₂ O	13,55	---	---	----
+100ml H ₂ O	12,78	12,37	12,56	12,57

Fuente: Los autores

Por lo tanto, se tiene:

Agua total agregada: 125 ml+600ml+50ml+100ml=875ml

Mezcla total: 875 ml H₂O + 2400ml mezcla= 3275ml de mezcla total



Manejando la misma metodología se obtuvieron las siguientes viscosidades para todas las muestras detalladas en la **Tabla 3-4**.

Tabla 3-4. Viscosidades obtenidas para los pigmentos preparados

Pigmento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Viscosidad (s)	12,57	12,68	11,73	12,27	12,53	11,76	12,84	12,29	12,10	12,62	12,67

Fuente: Los autores

Es necesario resaltar que las muestras se prepararon con un exceso de agua, se decantó por 12 horas y se eliminó el exceso de líquido, lo que no ocurrió para la muestra correspondiente al punto 11, ésta no decantó. Además, a diferencia del resto de muestras al momento de tamizar, la mezcla pasó en su mayoría, esto indica su alto contenido de material arcilloso, razón por la cual se mantuvo la suspensión por más tiempo.

b) Determinación del pH

La determinación se realizó por el método Potenciométrico.

Procedimiento

- Lavar cuidadosamente el electrodo con agua destilada hasta eliminar toda la solución ácida en la que se mantiene y secarlo.
- Agitar con una varilla el contenido del tomamuestras con el pigmento e introducir el electrodo. Esperar hasta que se estabilice y registrar el valor obtenido.

Tabla 3-5. Valores de pH de las muestras de pigmento

N° Muestra	pH
1	4,555
2	4,735
3	4,873
4	4,632
5	4,684
6	4,774
7	4,942
8	4,600
9	5,336
10	5,430
11	8,830

Fuente: Los autores

3.1.5 Poder de cobertura

Es una de las características de gran importancia que definen a los pigmentos; Villarquide Jenevois, (2004) en su libro “La pintura sobre tela”, lo define como la capacidad de ocultar la capa subyacente, lo cual dependerá de la concentración del pigmento.

El poder de cobertura de las mezclas de pigmento fue determinado pintando una placa cerámica utilizando su superficie no esmaltada, con el fin de escoger los tres pigmentos con los que se va a trabajar. Para ello, se empleó una brocha húmeda introduciéndola hasta su límite, aplicando una sola capa.

Es recomendable que esta prueba la realice una sola persona para mantener las mismas condiciones de aplicación.

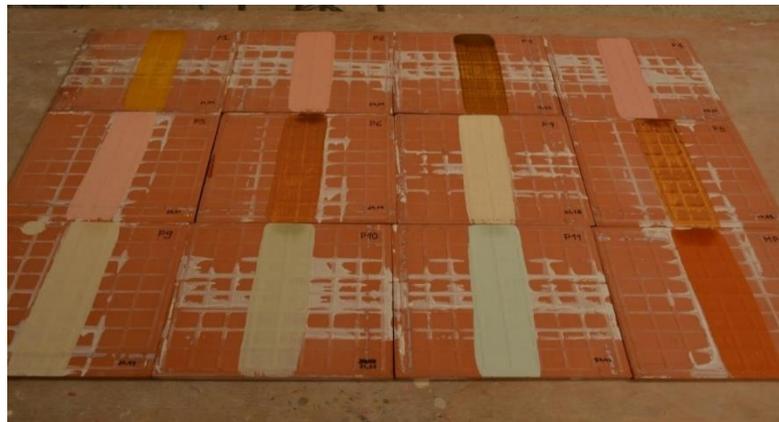


Figura 3-4. Pigmentos aplicados sobre la superficie no esmaltada de una baldosa cerámica
Fuente: Los autores.

3.1.6 Determinación del porcentaje de contenido de sólidos

El ensayo se fundamenta en secar la muestra a una temperatura de $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta masa constante, la fracción remanente corresponde al contenido de sólidos totales y la fracción evaporada, al contenido de agua (Zagal & Sadzawka, 2007).

El tiempo de secado puede ser de 12 a 24 horas. Los resultados obtenidos se encuentran en el **Anexo 1** y su resumen se indica en la **Tabla 3-6**.

Tabla 3-6. Porcentaje de sólidos de los pigmentos

Pigmento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
% Sólidos	21,54	24,05	15,92	29,27	27,31	23,06	32,78	13,88	26,47	21,56	50,41

Fuente: Proyecto Tierra de Colores



Figura 3-5. Muestras de pigmentos sometidos a secado en la estufa a $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$
Fuente: Proyecto Tierras de Colores

3.1.7 Análisis y discusión de resultados

Analizando el poder de cobertura y contenido de sólidos de cada pigmento (**Tabla 3-6**) se observó que las muestras correspondientes a los pigmentos 4, 7 y 11 presentaron los mayores porcentajes, con un contenido del 29,27%; 32,78% y 50,41% respectivamente, además fueron los que mejor cobertura presentaron pues con una capa no dejaban ver color de base cerámica. Por consiguiente y su diferencia de colores estos pigmentos fueron los seleccionados para proseguir con el trabajo de investigación.



Figura 3-6. Pigmentos seleccionados con mayor contenido de sólidos y poder de cobertura
Fuente: Proyecto Tierras de Colores

Nota: De cada pigmento seleccionado se tomó 50g de muestra desecada para realizar un análisis químico y determinar los minerales existentes en cada uno de ellos. Estas muestras fueron llevadas a Brasil por el asesor del proyecto.



3.2 Definición de los otros componentes

Además de las muestras seleccionadas de suelo que son el pigmento de las pinturas, es necesario definir los otros componentes de la mezcla.

3.2.1 Selección de los aglutinantes

Diversas propiedades como poder de teñido, cobertura, dureza, resistencia a la abrasión, entre otras pueden verse fuertemente afectadas por el uso de diferentes tipos de ligantes, por lo que para su elección debe tomarse en cuenta aquellos que garanticen las mejores condiciones para el proceso de dispersión de los pigmentos que componen la pintura. Así, representan uno de los factores limitantes en cuanto a la durabilidad de la pintura y el costo final de la misma.

La selección de los aglutinantes para el desarrollo de este trabajo está enmarcada al uso de dos productos naturales y uno de tipo industrial. Entonces, se ha determinado tres aglutinantes por diferentes razones de uso:

- **Mucílago de tuna**

Las provincias del Azuay y Loja contienen la mayor diversidad de especies de cactáceas en el Ecuador, 14% y 21% respectivamente. En el caso de la provincia del Azuay, la presencia de este tipo de plantas se encuentra principalmente en algunos valles secos como el de Yunguilla en Santa Isabel y el valle de Susudel en el cantón Oña (Loaiza, Aguirre, & Jadán, n.d.)

Debido a que la producción de pintura en base a tierras de color ha sido llevada a cabo de manera empírica, utilizando materiales propios de la región se vio como un factor incidente en la elección de la planta de nopal como uno de los aglutinantes para la elaboración de las pinturas por su disponibilidad en los alrededores de la zona de estudio.

- **Cola animal**

En la actualidad se ha visto reducido su uso en oficios artesanales. A pesar de ello, todavía es posible encontrar cola de pez en el mercado. Se decidió emplear este tipo



de aglutinante debido a la experiencia obtenida en estudios similares como “Estudio y propuestas de color para la arquitectura del Centro Histórico de Cuenca-Ecuador” (M. C. Achig, Paredes, & Barsallo, 2016)

- **Cola Blanca (Poliacetato de vinilo)**

Es un producto industrial, ampliamente usado por sus propiedades adhesivas, sirve para pegar materiales como madera, cartón, papel, entre otros. Se ha utilizado como aglutinante de pinturas industriales y artísticas. Presenta buena resistencia al envejecimiento y es estable a la luz.

Debido a la variedad de marcas existentes en el mercado se consideraron dos de ellas, las más frecuentes en el mercado local, para realizar ensayos de secado con el objetivo de elegir la más adecuada.

Las marcas seleccionadas fueron Cola Plástica Adheplast y Cola Blanca Bioplast, mismas que fueron sometidas a ensayos de humedad, realizados en el Laboratorio del Cesemín de la Universidad de Cuenca. Los resultados obtenidos permitieron determinar el contenido de sólidos, de esta manera la Cola Adheplast tuvo 37,05% y la Cola Bioplast 23,64%.

Analizando los resultados obtenidos en ambas muestras, se observa que Adheplast tiene un mayor contenido de sólidos, además que en las especificaciones técnicas indicaba que era más resistente y que podía aplicarse en exteriores en tanto que Bioplast no cumplía con este último requisito.

3.2.2 Solvente

Juega un papel muy importante en el rendimiento de una pintura, una mala selección puede comprometer significativamente las propiedades del sistema. El agua es uno de los solventes más empleados como unificador de mezcla y no requiere de características especiales para su uso, por este motivo se ha definido usarlo para la elaboración de las pinturas de tierra.



3.3 Proceso de producción (ensayo preliminar)

Con el objetivo de evaluar el comportamiento de una pintura en una condición extrema, se escogió el pigmento correspondiente a la muestra 8 (**Ver figura 3-1**), por poseer el valor más bajo en contenido de sólidos tomando como referencia **Tabla 3-6**. Este ensayo permitió establecer parámetros de trabajo con los 3 pigmentos seleccionados anteriormente. Los aglutinantes utilizados fueron: cola blanca, mucílago de tuna y cola animal en diferentes proporciones, este último requirió de preparación para poder ser adicionado, no así los otros dos que se pesan directamente.

- **Preparación del aglutinante cola animal**

Se prepararon soluciones de cola animal en proporciones del 1%; 2,5% y 5% en relación P/V valores recomendados por el asesor del proyecto. Las láminas de cola animal junto con el agua fueron sometidos a baño María para que se disuelvan, agitando de vez en cuando para evitar que se adhiera al fondo del recipiente.

- **Preparación de la pintura para la muestra del pigmento 8:**

- Se tomó un volumen de 400 ml del pigmento preparado, se pesó y se colocó en un recipiente.
- Se calculó el contenido de sólidos del pigmento.
- Para agregar el aglutinante se tomó el porcentaje establecido de aglutinante en relación al contenido de sólidos del pigmento.

Las proporciones de adición de los aglutinantes, se definen de la siguiente manera:

Tabla 3-7. Concentraciones de los aglutinantes a adicionar en las pinturas

Aglutinante	Concentraciones		
Cola animal*	30% de (1%	2,5%	5%)
Mucilago de tuna	10%	15%	20%
Cola Blanca	7%	14%	21%

* Se preparan soluciones de cola animal (1%; 2,5% y 5%) y su porcentaje de adición como aglutinante es del 30% con respecto a los sólidos presentes en el pigmento.

Fuente: Los autores



A continuación, se presenta las cantidades de pigmento y aglutinante que se utilizaron para la preparación del pigmento 8.

Tabla 3-8. Datos para elaborar la pintura del pigmento 8

Pintura	Volumen (ml)	p ₁ (g)	p ₂ (g)	p ₃ (g)
P8-CA	400	439,43	60,99	18,30

Fuente: Los autores

Donde:

Código	Peso (g)
p₁	Peso de la muestra pigmento preparado
p₂	Peso de los sólidos en la muestra de pigmento
p₃	Peso aglutinante a adicionar

A modo de ejemplo se desarrolla los cálculos necesarios para la preparación de la pintura con cola animal.

- Cálculo del contenido de sólidos en el pigmento.

$$\text{contenido de sólidos} = \text{peso muestra} * \% \text{ sólidos} = 439,43\text{g} (0,1388) = 60,99\text{g}$$

Nota: Porcentaje de contenido de sólidos para la muestra del pigmento 8. Ver **Tabla 3-6**.

- Cálculo del aglutinante.

$$\begin{aligned} \text{Aglutinante} &= \text{contenido de sólidos} * \% \text{ de adición de aglutinate} \\ &= 60,99\text{g} * (0,3) = 18,30 \text{ g} \end{aligned}$$

Una vez adicionado el aglutinante, se agitó con el disco Cowles por 5 minutos. Se aplicó la pintura preparada sobre una baldosa cerámica en su superficie no esmaltada. La siguiente tabla muestra las cantidades utilizadas de pigmento con los tres aglutinantes a diferentes concentraciones.



Tabla 3-9. Cantidades de sólidos, aglutinantes en la preparación de las pinturas (Volumen de pigmento 400ml)

Pintura	p ₁ (g)	p ₂ (g)	p ₃ (g)
P8-01-CA	431,40	59,88	17,96
P8-2,5-CA	438,63	60,88	18,26
P8-05-CA	439,63	60,99	18,30
P8-10-MT	440,86	61,19	6,12
P8-15-MT	439,40	60,99	9,15
P8-20-MT	439,55	61,01	12,20
P8-07-CB	438,87	60,92	4,26
P8-14-CB	439,88	61,05	8,55
P8-21-CB	442,10	61,36	12,89

P₁= Peso de la muestra pigmento preparado, P₂=Peso de los sólidos en la muestra de pigmento, P₃=Peso del aglutinante a adicionar.

Nota: El porcentaje de adición de la cola animal es del 30% de las soluciones preparadas de 1%; 2,5% y 5%.

Fuente: Los autores.

- **Análisis del comportamiento de las pinturas (pigmento 8)**

El comportamiento de las pinturas una vez aplicadas, permitió evaluar el desempeño de los aglutinantes utilizados. Se consideró que las concentraciones de la cola animal deberían aumentarse y se estableció trabajar con 5%, 10% y 15%. Para el caso del mucílago de tuna, también fue necesario subir las concentraciones a 15%, 20% y 25%; en tanto que para la cola blanca las concentraciones se mantuvieron.

Se llegó a estas conclusiones luego de evaluar el desempeño de las pinturas elaboradas con el pigmento 8, al considerarse de condiciones extremas (menor contenido de sólidos) permitió asumir que los pigmentos seleccionados (muestras 4, 7 y 11) trabajarían de manera adecuada en esos niveles de concentración de cada aglutinante.

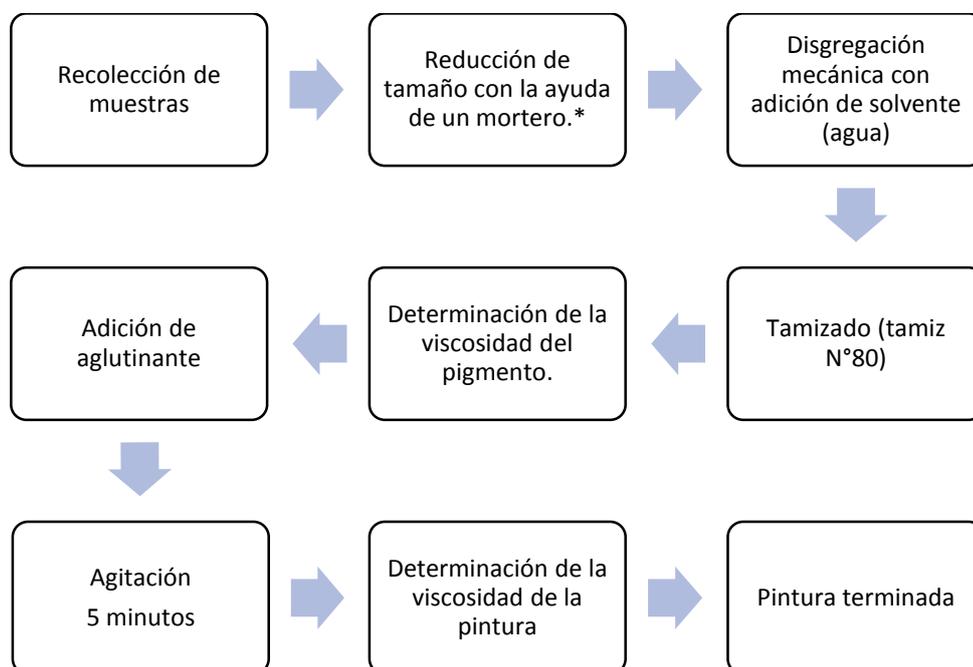
Se estableció preparar nueve pinturas para cada aglutinante, es decir que cada pigmento tendrá tres niveles de concentración de aglutinante. Es necesario al momento de preparar las pinturas que se tenga un blanco de los pigmentos, esto con el fin de observar como varía la viscosidad, el porcentaje de sólidos, la resistencia y el poder de cobertura solo con el pigmento sin el aglutinante.



3.4 Ensayos preliminares de los pigmentos escogidos

Con el objetivo de evaluar el comportamiento de los pigmentos seleccionados para el desarrollo de este trabajo de investigación, se realizaron nuevos ensayos con las diferentes concentraciones de aglutinantes establecidas en la etapa anterior (Apartado 3.3 **Proceso de Producción-Ensayo preliminar**).

Para la preparación de las nuevas pinturas se procedió de la manera ya indicada. A modo de resumen, el proceso se esquematiza de la siguiente forma:



*En caso de ser necesario (muestra 11).

Figura 3-7. Diagrama de proceso de producción de pinturas

Fuente: Los autores

3.4.1 Proceso de producción de las pinturas

La adición del solvente, en este caso el agua, es de gran importancia para llegar a la viscosidad adecuada del pigmento preparado. A continuación, se presentan las viscosidades de partida de los pigmentos 4, 7 y 11:



Tabla 3-10. Viscosidades obtenidas para los pigmentos preparados

Pigmento	4	7	11
Viscosidad (s)	12,00	12,19	12,69

Fuente: Los autores

- **Preparación del aglutinante (cola animal)**

- Se prepararon soluciones de cola animal en proporciones del 5%, 10% y 15% en relación P/V, las láminas de cola animal fueron sometidas a baño María hasta completa disolución.
- Una vez frías, las soluciones preparadas, fueron transferidas a un recipiente previamente pesado y se determinó el agua evaporada por diferencia de pesos.
- Se adicionó agua hasta obtener la concentración requerida.

Tabla 3-11. Soluciones de cola animal preparadas.

Solución	Agua (ml)	Cola animal (g)
5% Cola animal	500	25
10% Cola animal	500	50
15% Cola animal	500	75

Fuente: Los autores

- **Producción de las pinturas**

Se adiciona de acuerdo a las concentraciones establecidas para cada uno de los aglutinantes en función del contenido de sólidos (Véase **Tabla 3-6**). A continuación, la **Tabla 3-12** resume los niveles de concentración de cada uno:

Tabla 3-12. Concentraciones de los aglutinantes

Aglutinante	Concentraciones			
Cola animal*	30%	(5%	10%	15%)
Mucilago de tuna		15%	20%	25%
Cola Blanca		7%	14%	21%

* Se preparan soluciones de cola animal (5%, 10% y 15%) y su porcentaje de adición como aglutinante es del 30% con respecto al contenido de sólidos en el pigmento.

Fuente: Los autores



a) Pinturas elaboradas con los tres aglutinantes

De la cantidad preparada de pigmento se tomó 810ml aproximadamente y se procedió a la determinación de la cantidad de aglutinante a adicionar en función del contenido de sólidos del pigmento. La viscosidad planteada para la producción de pinturas es de 11-15 s, valor definido por experiencia de ensayos anteriores.

Tabla 3-13. Cantidades ocupadas en la preparación de pinturas con cola animal a diferentes niveles de concentración

Pintura	p ₁ (g)	p ₂ (g)	p ₃ (g)	P ₄ (g)
P4-05-CA	820,97	240,30	72,09	0
P4-10-CA	821,46	240,44	72,13	75
P4-15-CA	842,23	246,52	73,96	0
P7-05-CA	991,39	324,98	97,49	125
P7-10-CA	985,62	323,09	96,93	75
P7-15-CA	983,85	322,51	96,75	50
P11-05-CA	1140,12	574,73	172,42	1200
P11-10-CA	1144,63	577,01	173,10	1100
P11-15-CA	1140,12	574,73	172,42	850

P₁= Peso de la muestra pigmento preparado, P₂=Peso de los sólidos en la muestra de pigmento, P₃=Peso del aglutinante a adicionar, P₄= peso de agua añadida para alcanzar la viscosidad requerida (11-15 s).

Fuente: Los autores

Tabla 3-14. Cantidades ocupadas en la preparación de pinturas con cola blanca a diferentes niveles de concentración

Pintura	p ₁ (g)	p ₂ (g)	p ₃ (g)	P ₄ (g)
P4-07-CB	832,48	243,67	17,06	0
P4-14-CB	830,3	243,03	34,02	0
P4-21-CB	830,07	242,96	51,02	0
P7-07-CB	989,48	324,35	22,70	0
P7-14-CB	988,45	324,01	45,36	0
P7-21-CB	986,77	323,46	67,93	0
P11-07-CB	1139,03	574,19	40,19	600
P11-14-CB	1153,32	581,39	81,39	1100
P11-21-CB	1143,32	576,35	121,03	1200

P₁= Peso de la muestra pigmento preparado, P₂=Peso de los sólidos en la muestra de pigmento, P₃=Peso del aglutinante a adicionar, P₄= peso de agua añadida para alcanzar la viscosidad requerida (11-15 s).

Fuente: Los autores



Tabla 3-15. Cantidades ocupadas en la preparación de pinturas con mucílago de tuna a diferentes niveles de concentración

Pintura	p ₁ (g)	p ₂ (g)	p ₃ (g)	P ₄ (g)
P4-15-MT	724,21	211,98	31,80	0
P4-20-MT	716,18	209,63	41,93	0
P4-25-MT	718,47	210,30	52,57	0
P7-15-MT	990,84	324,80	48,72	0
P7-20-MT	997,06	326,84	65,37	0
P7-25-MT	991,42	324,99	81,25	0
P11-15-MT	1141,37	575,36	86,30	950
P11-20-MT	1145,03	577,21	115,44	975
P11-25-MT	1145,56	577,48	144,37	1000

P₁= Peso de la muestra pigmento preparado, P₂=Peso de los sólidos en la muestra de pigmento, P₃=Peso del aglutinante a adicionar, P₄= peso de agua añadida para alcanzar la viscosidad requerida (11-15 s).

Fuente: Los autores

b) Determinación de la viscosidad y pH de las pinturas

La viscosidad es un parámetro importante a controlar en las pinturas, pues una viscosidad alta provoca capas gruesas en el proceso de pintado, mientras que una baja no cubre en su totalidad la superficie del soporte donde serán aplicadas. En las pinturas elaboradas con los pigmentos 4 y 7 en algunos casos no se necesitó adicionar agua.

En el pigmento 11 al momento de adicionar los aglutinantes se formó una pasta, por lo que fue necesario adicionar una gran cantidad de agua para llegar a la viscosidad planteada que es entre 11-15 segundos. El pH se determina con el fin de observar la variación con respecto al pigmento preparado, pues como los aglutinantes tienen un pH ácido lo más común es que el pH del pigmento descienda al momento de preparar las pinturas. Las lecturas de las viscosidades fueron tomadas tres veces para luego sacar un promedio y obtener la viscosidad final.

Tabla 3-16. Viscosidades y pH de las pinturas

Pintura	Viscosidad (s)	pH
P4-05-CA	14,95	4,562
P4-10-CA	12,10	4,397
P4-15-CA	13,70	4,341
P7-05-CA	13,57	4,648
P7-10-CA	13,39	4,575
P7-15-CA	12,66	4,583
P11-05-CA	13,86	7,252
P11-10-CA	13,79	6,982

P11-15-CA	13,99	6,809
P4-07-CB	12,69	4,434
P4-14-CB	11,86	4,292
P4-21-CB	12,36	4,283
P7-07-CB	12,87	7,781
P7-14-CB	11,87	4,606
P7-21-CB	12,63	4,525
P11-07-CB	13,75	7,963
P11-14-CB	13,60	7,788
P11-21-CB	14,34	7,704
P4-15-MT	11,51	4,083
P4-20-MT	11,47	4,034
P4-25-MT	11,72	4,059
P7-15-MT	11,85	4,379
P7-20-MT	11,50	4,375
P7-25-MT	12,16	4,287
P11-15-MT	14,11	6,725
P11-20-MT	13,90	6,489
P11-25-MT	14,46	6,456

Fuente: Los autores

Las pinturas P4-07-CB, P4-21-CB, P7-14-CB y P7-21-CB generaron espuma al momento de agitar, ya que se hizo a una velocidad alta pues el equipo trabajaba a 3000 rpm.

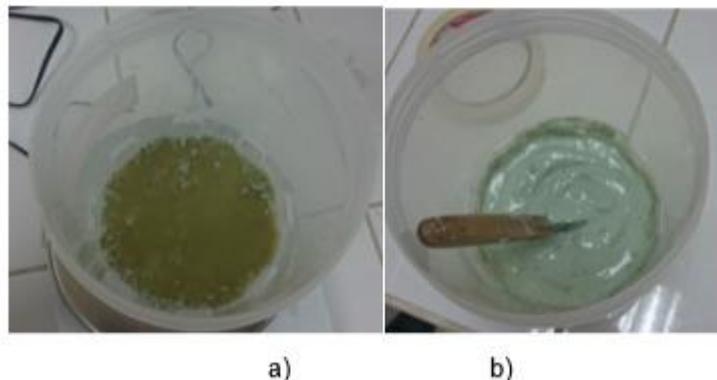


Figura 3-8. Pigmento 11. a) Adición de cola animal b) Formación de una mezcla pastosa con la cola animal

Fuente: Los autores

c) Aplicación de las pinturas a los soportes

Soporte: Es la superficie sobre la cual se va a aplicar la capa de pintura.

Para la aplicación de las pinturas, la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca entregó 60 soportes de los cuales se escogieron 30 que

presentaban una superficie regular, los soportes estaban colocados en bastidores cuyas dimensiones son de 150 mm x 400 mm y un espesor de 40 mm dando un volumen de 2400 mm³, en la parte central del bastidor se colocó una malla para minimizar la formación de fisuras en los soportes y en los laterales se colocó clavos para que el soporte no se salga del bastidor. Los componentes de los soportes son la arena, cal viva (CaO), agua y cabuya, siendo su dosificación por soporte la siguiente.

Tabla 3-17. Dosificación para la elaboración de un soporte

Arena	Cal	Agua	Cabuya*
1620 g	972 g	1000 g	35,95 g

*La cabuya representa el 1% de la mezcla total (arena + cal + agua).

Fuente: Proyecto Tierra de Colores



Figura 3-9. Elaboración de soportes
Fuente: Proyecto Tierras de Colores

Se lijó la superficie del soporte con el objetivo de que ésta sea lo más regular posible y se aplicaron tres capas de pintura, cada capa se aplicó después de haberse secado la capa anterior en un tiempo mínimo de dos horas entre cada pintado, la aplicación se hizo siguiendo un solo sentido.

Se rotuló cada soporte de acuerdo a la codificación establecida para cada pintura. Los soportes fueron colocados en la terraza de un edificio de la FAUC-UC, sin ningún tipo de protección, orientados hacia el Este para recibir la mayor radiación durante todo el día. Los soportes fueron sometidos a condiciones ambientales de intemperismo para evaluar su desempeño.



Figura 3-10. Soportes expuestos a condiciones ambientales de intemperismo
Fuente: Los autores

3.4.2 Monitoreo y resultados

- **Monitoreo:**

El monitoreo se realizó tres veces a la semana (lunes, miércoles y viernes en lo posible a la misma hora) durante 45 días, tiempo necesario para evidenciar cualquier cambio. Se elaboraron fichas de control en donde se registraron los cambios de cada muestra como: craquelado, desprendimiento, fisuras, cambios de tonalidad; además de llevar un registro fotográfico de cada soporte.

Una vez culminado el tiempo de control de las muestras de pintura aplicadas a la superficie de los soportes, se realizaron pruebas sencillas que permitan determinar las características de resistencia de cada pintura, entre ellas tenemos:

- *Absorción de agua:* hace referencia a la capacidad de la pintura de retener moléculas de agua, se utilizó un spray realizando una aplicación sobre la muestra.
- *Abrasión:* permite determinar si la pintura es resistente al restregado, esta prueba se realizó utilizando un cepillo común de lavar la ropa de fibra plástica, ejerciendo presión similar en un área de cada muestra. Este ensayo permitió determinar si hubo o no desprendimiento de la capa de pintura.



- *Rayado*: permite evaluar la resistencia de la pintura a la acción de un material metálico, en este caso se utilizó un pedazo de alambre galvanizado N° 18 ejerciendo una presión similar sobre cada muestra. Se determinó si hay o no desprendimiento de la capa de pintura.

Cabe recalcar que las pruebas se realizaron en días distintos, para el caso de las dos primeras las condiciones climáticas fueron favorables no así en la última, resistencia al rayado, que fue realizada después de días de intensa lluvia por lo que las pinturas se encontraban húmedas lo que pudo afectar en los resultados de esta prueba. El detalle general de desempeño de las pinturas se indica en el **Anexo 2**.

- **Resultados:**

Debido a la naturaleza orgánica de los aglutinantes mucílago de tuna y cola animal, existe una mayor tendencia a la degradación de las pinturas que los utilizan, en las pruebas de abrasión y rayado se percibe que en casi todas las pinturas producidas con estos aglutinantes hay desprendimiento. Para el caso de la cola blanca se tuvo un buen desempeño.

En las pinturas que hubo fisuración o craquelado se considera que la viscosidad de estas pinturas está alta, de este modo se producen capas gruesas que se secan rápidamente en la superficie y lentamente en la parte interna, lo que causa la fisuración.

La presencia de burbujas creadas en la mezcla final generó fisuraciones en las pinturas.

- **Influencia de las condiciones ambientales en el comportamiento de las pinturas**

Las condiciones ambientales fueron monitoreadas diariamente por la estación meteorológica del PROMAS (**Ver Anexo 3**). En la **Tabla 3-18** se resumen los valores máximos de temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, precipitación y radiación solar, condiciones consideradas como las más relevantes registradas durante las 7 semanas de monitoreo.



Tabla 3-18. Condiciones ambientales a las que fueron sometidos los soportes

Semana	1	2	3	4	5	6	7
Temperatura (°C)	24,8	23,9	24,6	24,8	25,2	22,3	24,9
Humedad Relativa %	86	88	90	80	84	89	88
Velocidad del viento m/s	1,53	1,28	1,25	2,04	1,39	1,19	1,35
Precipitación mm	0,40	6	8,8	0	10,2	3,4	3,20
Radiación Solar W/m ²	318,15	297,92	255,42	310,00	309,21	212,25	274,86

Fuente: PROMAS

Los valores de temperatura se registraron normales para la época de verano con poca variabilidad. La humedad relativa presenta su máximo valor a la sexta semana y valores muy cercanos en las dos últimas semanas. Los niveles de precipitación se registran elevados durante la segunda, tercera y quinta semana. Finalmente, la radiación solar presenta valores altos en la primera, cuarta y quinta semana de control.

Evaluando el desempeño de las pinturas a condiciones de intemperismo se puede deducir que los cambios más relevantes se dan luego de precipitaciones registradas en el lugar. La variación de temperatura, los fenómenos de contracción y dilatación generados en las pinturas traen como consecuencia el agrietamiento y desprendimiento de estas de los soportes.

3.5 Propuesta

De acuerdo a los resultados obtenidos de las pruebas preliminares, se plantea las siguientes propuestas:

- Aumentar las concentraciones de los aglutinantes cola animal y mucílago de tuna para las pinturas respectivas, lo que nos permitirá entender dos cosas: primero, si el aumento causa proliferación de microorganismos, debido a la cantidad de material orgánico expuesto; segundo si se incrementa la resistencia.
- Para las pinturas producidas con cola blanca, se considera bajar las concentraciones del aglutinante por presentar buen desempeño en gran parte de las pinturas.



-
- Encontrar una viscosidad óptima para cada pintura que trabaje de manera adecuada en todas las proporciones de aglutinante.
 - La mezcla final debe trabajarse a velocidad baja para evitar la formación de burbujas causantes de fisuración en las pinturas.



CAPÍTULO IV: DOSIFICACIÓN DE PINTURAS Y MONITOREO DE DESEMPEÑO

Para esta etapa se incorporó un equipo de desintegración mecánica (IKA EUROSTAR que permitió mejorar la disgregación mecánica y agitación de las mezclas.



Figura 4-1. Equipo: IKA EUROSTAR 20 digital

Fuente: Los autores

De acuerdo a las pruebas preliminares fue necesario variar la proporción empleada de cada aglutinante donde se propuso trabajar con 3 niveles de concentración, para eso se generó un matriz simple de diseño experimental proporcionada por el Software Minitab 17. La **tabla 4-1** resume las proporciones de aglutinante a emplear en la producción de pinturas.

Tabla 4-1. Proporciones de aglutinante a emplear en la producción de pinturas generadas por el Minitab

Parámetro	Aglutinante		
	Cola animal	Cola blanca	Mucílago de tuna
Variación de la proporción de aglutinante	15-30%	5-15%	25-40%
Proporciones generadas por el Software	15%; 22,5% y 30%	5%; 10% y 15%	25%; 32,5% y 40%

Fuente: Los autores



4.1 Niveles óptimos de viscosidad

De acuerdo a lo indicado en el capítulo anterior se consideró encontrar una viscosidad específica de la pintura que permita trabajar con todos los niveles de los aglutinantes usados.

Para la obtención de la pintura se procedió de la misma manera como en las pruebas preliminares. Los ensayos que se realizaron fueron probados con los niveles superior e inferior de la concentración del aglutinante (cola blanca, mucílago de tuna y cola animal), ver **tabla 4-1**.

El pigmento mineral utilizado corresponde a las muestras 4, 7 y 11 seleccionados anteriormente bajo parámetros establecidos.

4.1.1 Dosificación de pinturas

Para la producción de las pinturas de esta etapa se siguió el mismo proceso descrito en el Capítulo 3-Pruebas preliminares. (Ver **Figura 3-7**). Sin embargo, fue necesario hacer algunas consideraciones:

- Para la viscosidad de partida se tomó como referencia los datos obtenidos de las pruebas preliminares.
- En pruebas anteriores, la adición del aglutinante al pigmento preparado provocó que las mezclas finales tuvieran comportamientos diferentes, así, la viscosidad subió o bajó por lo que se decidió determinar una viscosidad promedio para la mezcla resultante del pigmento preparado y su aglutinante correspondiente, el cual funcione con todos los niveles de concentración planteados en el diseño experimental.

4.1.1.1 Primera dispersión (preparación del pigmento)

El proceso de disgregación de las muestras de suelo se realizó con el equipo IKA EUROSTAR 20 digital, para ello se adicionó agua y se agitó por 30 minutos a una velocidad de 4000 rpm, velocidad propuesta por el asesor del proyecto, el material resultante se pasó por el tamiz N° 80 ASTM y se determinó su viscosidad hasta llegar a la requerida. (**Ver apartado 3.1.4 literal a**)

Las viscosidades de partida se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 4-2. Viscosidades de partida de los pigmentos preparados

Pigmento	4	7	11
Viscosidad (s)	15,09	12,12	15,39

Fuente: Los autores

4.1.1.2 Proceso de producción de las pinturas

Para esta etapa, la adición de aglutinante al pigmento preparado se realizó en función de los niveles extremos (nivel superior e inferior) planteados en el diseño experimental. Se determinó dos viscosidades de la pintura para cada extremo de aglutinante, posteriormente se aplicó en 2 capas a un soporte previamente acondicionado para su uso con la finalidad de comparar los resultados luego de la aplicación. El nivel óptimo de viscosidad resulta del promedio de las viscosidades que mostraron mejor desempeño tomando este valor como referencia para de allí plantear un rango de viscosidad dependiendo del comportamiento de cada pintura.

Es necesario recalcar que, para la elaboración de las pinturas se tomaron volúmenes cercanos a los 400 ml de mezcla de pigmento mineral más agua. El aglutinante, cola animal fue el único que requirió preparación y se hicieron dos soluciones de 500 ml al 15% y 30% P/V, en este caso a diferencia de veces anteriores la cola animal se dejó hidratar por una noche para facilitar su disolución.



Figura 4-2. Preparación de la cola animal
Fuente: Los autores

Como ejemplo de lo anteriormente descrito, se muestra a continuación el detalle para hallar el rango de viscosidad óptima de una pintura.

Ejemplo: Pintura P4-CB (Nivel óptimo de viscosidad)

De la viscosidad de partida 15,09 s (**Tabla 4-2**) para el pigmento 4, se le adicionó el correspondiente 5% y 15% P/P de cola blanca en función del contenido de sólidos del pigmento, se determinó su viscosidad (1). Debido a que presentó capas gruesas al aplicar al soporte, se añadió agua y se midió nuevamente la viscosidad (2).

Tabla 4-3. Viscosidades para determinación de rango de viscosidad óptima

Código	P4-05-CB	P4-15-CB
Viscosidad 1 (s)	13,53	13,70
Viscosidad 2 (s)	11,43*	11,25*

* Valores medidos con la adición de agua. (Ver Anexo 5)

Fuente: Los autores



Figura 4-3. Aplicación de la pintura P4-CB con mínima y máxima concentración de aglutinante a diferentes viscosidades

Fuente: Los autores

En la figura 4-4 se observa que la viscosidad 1 (izquierda) para P4-05-CB1 y P4-15-CB1 genera capas gruesas, además existe la presencia de craquelado por el exceso de pintura que queda en el soporte, esto se genera por la alta viscosidad. Por tal motivo, se adicionó agua y se obtuvo una viscosidad 2 (derecha) de P4-05-CB2 y P4-15-CB2, los problemas anteriores se ven reducidos notablemente. Por lo tanto, se vio conveniente realizar un promedio de las viscosidades que mejor desempeño tuvieron, el resultado obtenido solo es considerado como un punto referencial ya que en función de este se estableció un rango de viscosidad óptima.

$$\text{viscosidad de referencia (s)} = \frac{\bar{\mu}_{P4-05-CB} + \bar{\mu}_{P4-15-CB}}{2}$$

$$\text{viscosidad de referencia} = 11,43 \text{ s} + 11,25 \text{ s}$$

$$\text{viscosidad de referencia} = 11,34 \text{ s}$$



De acuerdo a la viscosidad de referencia, se planteó un intervalo de viscosidad óptima de 11-11,5 segundos, considerado válido en la preparación de pinturas P4-CB.

El resto de pinturas se desarrollaron de manera similar al ejemplo descrito, en la mayoría de los casos se tuvo que bajar la viscosidad de la primera pintura hasta obtener buenos resultados y en otros fue necesario la adición de gran cantidad de agua antes de elaborar la primera pintura y cumplir con una cobertura adecuada. Las viscosidades que mejor desempeño tuvieron en las pinturas y la determinación del rango de viscosidad óptima se muestran en el **Anexo 5**.

A continuación, la **Tabla 4-4** indica el rango de viscosidades óptimas para las pinturas, mismas que se pretende funcionen con todos los niveles de aglutinante.

Tabla 4-4. Rango de viscosidades óptimas para las pinturas

Aglutinante	Código pintura	Rango de viscosidad óptima de trabajo (s)
Cola blanca	P4-CB	11,0-11,5
	P7-CB	12,5-13,0
	P11-CB	13,0-13,5
Cola Animal	P4-CA	11,5-11,7
	P7-CA	11,6-12,0
	P11-CA	13,0-13,5
Mucílago de tuna	P4-MT	11,0-11,5
	P7-MT	11,5-12,0
	P11-MT	13,0-13,2

Fuente: Los autores

Es necesario resaltar que la velocidad de agitación es un parámetro fundamental en el desarrollo de las pinturas, por ello para un mejor tamizado del pigmento, la disgregación del pigmento debe ser realizado a una alta velocidad, la recomendada es de 4000rpm. De la misma manera, este parámetro influye directamente en el desempeño de la pintura al momento de mezclarlas con el aglutinante. Así, la P4-CB debe trabajar a una velocidad de 500 rpm para evitar formación de burbujas. En el caso de las P11, las velocidades de agitación pueden variar entre 700 a 900 rpm. La **Tabla 4-5** indica las velocidades de agitación recomendadas para las diferentes pinturas.



Tabla 4-5. Velocidades de agitación de las pinturas dependiendo del aglutinante utilizado

Aglutinante	Muestra de pintura	Velocidad de agitación rpm)
Cola blanca	P4	500
	P7	700
	P11	900
Cola Animal	P4	500
	P7	500
	P11	700
Mucílago de tuna	P4	700
	P7	800
	P11	900

Fuente: Los autores

4.2 Desarrollo de dosificaciones de pinturas planteadas en el diseño experimental con niveles óptimos de viscosidad

El proceso de producción de las pinturas se realiza de manera similar a las descritas en pruebas anteriores. Los valores arrojados de esta etapa y los ensayos realizados se describen a continuación:

4.2.1 Preparación del pigmento y caracterización

Las condiciones de disgregación de las muestras de suelo y preparación del pigmento fueron las mismas que se indican en el apartado de niveles óptimos de viscosidad. Sin embargo, es necesario resaltar la importancia de la adición de agua en este proceso pues influye de manera significativa para llegar a las viscosidades adecuadas.

- **Caracterización:**

Una vez obtenidos los pigmentos se midió su viscosidad y se determinó el porcentaje de sólidos y pH con la finalidad de observar la variación de estos parámetros con la adición del aglutinante y solvente al momento de elaborar las pinturas.

A continuación, se exponen los datos determinados de viscosidad, porcentaje de sólidos y pH para cada pigmento.



Tabla 4-6. Viscosidades, % Sólidos y pH para los pigmentos 4, 7 y 11

Pigmento	4	7	11
Viscosidad (segundos)	13,67	13,85	12,19
% Sólidos	29,60	31,75	46,42
pH	4,54	5,10	8,52

Fuente: Los autores

4.2.2 Preparación de aglutinantes

Todos los aglutinantes empleados a excepción de la cola blanca tuvieron que ser preparados con anterioridad.

- *Cola animal*: se prepararon soluciones en proporciones del 15%, 22,5% y 30% (datos generados en el Software Minitab 17) en relación P/V.
- *Mucílago de tuna*: una vez obtenido el material mucilaginoso de las hojas de las cactáceas con la ayuda de agua, se hizo una caracterización de pH, humedad y el contenido de sólidos, el primer ensayo se realizó por triplicado y los dos últimos por duplicado.

Tabla 4-7. Caracterización del mucílago de tuna

Mucílago de tuna	pH	% Humedad	% Sólidos
	5,021	99	1

Fuente: Los autores.

4.2.3 Producción de pinturas

Este proceso inicia con la adición de aglutinante en función del contenido de sólidos de cada pigmento. Las concentraciones de cada aglutinante a emplearse se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 4-8. Concentraciones de los aglutinantes a adicionar en las pinturas

Aglutinante	Concentraciones		
Cola animal	30% de (15	22,5	30) *
Mucilago de tuna	25%	32,5%	40%
Cola Blanca	5%	10%	15%

* Se preparan soluciones de cola animal (15%, 22,5% y 30%) y su porcentaje de adición como aglutinante es del 30% con respecto a los sólidos presentes en el pigmento.

Fuente: Los autores



Para la preparación de las pinturas:

- Se tomó un determinado volumen de los pigmentos.
- Se calculó el contenido de sólidos en dicho volumen y la cantidad de aglutinante que se va a adicionar.

Las siguientes tablas muestran las cantidades ocupadas de los componentes de las pinturas con los tres aglutinantes empleados.

Tabla 4-9. Cantidades ocupadas en la preparación de pinturas con cola animal a diferentes niveles de concentración

Pintura	Volumen (ml)	p₁(g)	p₂(g)	p₃(g)	P₄(g)
P4-CA-m1	800	981,8	290,61	87,18	125
P4-CA-m2	800	981,8	290,61	87,18	0
P4-CA-m3	800	981,8	290,61	87,18	15
P7-CA-m1	600	747,7	237,39	71,22	185
P7-CA-m2	600	747,7	237,39	71,22	100
P7-CA-m3	600	747,7	237,39	71,22	50
P11-CA-m1	600	844,6	392,91	117,87	225
P11-CA-m2	600	844,8	393,00	117,90	350
P11-CA-m3	600	844,6	392,91	117,87	480

P₁= Peso de la muestra pigmento preparado, P₂=Peso de los sólidos en la muestra de pigmento, P₃=Peso del aglutinante a adicionar, P₄= peso de agua añadida para alcanzar la viscosidad requerida.

Fuente: Los autores

Tabla 4-10. Cantidades ocupadas en la preparación de pinturas con cola blanca a diferentes niveles de concentración

Pintura	Volumen (ml)	p₁(g)	p₂(g)	p₃(g)	P₄(g)
P4-CB-m1	800	981,7	290,58	14,53	100
P4-CB-m2	800	981,8	290,61	29,06	80
P4-CB-m3	800	981,5	290,52	43,58	125
P7-CB-m1	800	1003,8	318,71	15,94	40
P7-CB-m2	800	1003,3	318,55	31,85	0
P7-CB-m3	800	1003,6	318,64	47,80	0
P11-CB-m1	700	988,2	459,71	22,98	400
P11-CB-m2	400	661,9	307,92	30,79	545
P11-CB-m3	400	665,9	309,78	46,47	625

P₁= Peso de la muestra pigmento preparado, P₂=Peso de los sólidos en la muestra de pigmento, P₃=Peso del aglutinante a adicionar, P₄= peso de agua añadida para alcanzar la viscosidad requerida.

Fuente: Los autores



Tabla 4-11. Cantidades ocupadas en la preparación de pinturas con mucílago de tuna a diferentes niveles de concentración

Pintura	Volumen (ml)	p ₁ (g)	p ₂ (g)	p ₃ (g)	P ₄ (g)
P4-MT-m1	800	981,8	290,61	72,65	30
P4-MT-m2	800	981,8	290,61	94,45	30
P4-MT-m3	800	981,8	290,61	116,25	0
P7-MT-m1	700	870,3	276,32	69,08	70
P7-MT-m2	700	870,3	276,32	89,80	50
P7-MT-m3	700	870,3	276,32	110,53	40
P11-MT-m1	400	540,1	251,25	62,81	325
P11-MT-m2	400	540,2	251,30	81,67	400
P11-MT-m3	400	540,1	251,25	100,50	400

P₁= Peso de la muestra pigmento preparado, P₂=Peso de los sólidos en la muestra de pigmento, P₃=Peso del aglutinante a adicionar, P₄= peso de agua añadida para alcanzar la viscosidad requerida.

Fuente: Los autores

4.2.4 Determinación de viscosidad, pH y porcentaje de contenido de sólidos

Es necesario conocer la viscosidad y el contenido de sólidos para que los datos sean reproducibles. La adición del aglutinante influye de manera significativa en el comportamiento de las pinturas, a pH ácidos la viscosidad tiende a bajar, a pH alcalinos se incrementa y en algunos casos se dio lugar a la formación de una pasta, por lo que se requirió que se adicione agua para llegar al rango de viscosidad planteado.

Los resultados de los ensayos realizados de las pinturas se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 4-12. Viscosidad, pH y % Sólidos de las pinturas elaboradas con cola animal

Muestra	Viscosidad (s)	pH	% Sólidos
P4-CA-m1	11,55	4,494	24,9
P4-CA-m2	11,63	4,422	27,4
P4-CA-m3	11,53	4,459	26,2
P7-CA-m1	11,68	4,721	24,4
P7-CA-m2	11,67	4,766	27,9
P7-CA-m3	11,67	4,766	28,7
P11-CA-m1	13,52	7,914	33,0
P11-CA-m2	13,59	7,755	30,2
P11-CA-m3	13,52	7,794	27,8

Fuente: Los autores



Tabla 4-13. Viscosidad, pH y % Sólidos de las pinturas elaboradas con cola blanca

Muestra	Viscosidad (s)	pH	% Sólidos
P4-CB-m1	11,3	4,396	26,8
P4-CB-m2	11,39	4,401	27,1
P4-CB-m3	11,43	4,382	26,5
P7-CB-m1	12,45	4,978	30,8
P7-CB-m2	12,55	4,845	32,3
P7-CB-m3	12,75	4,706	31,6
P11-CB-m1	13,34	8,503	32,6
P11-CB-m2	13,34	8,478	23,4
P11-CB-m3	13,23	8,416	22,9

Fuente: Los autores

Tabla 4-14. Viscosidad, pH y % sólidos de las pinturas elaboradas mucílago de tuna

Muestra	Viscosidad (s)	pH	% Sólidos
P4-MT-m1	11,29	4,265	26,5
P4-MT-m2	11,21	4,237	26,6
P4-MT-m3	11,23	4,173	26,4
P7-MT-m1	11,75	4,575	28,7
P7-MT-m2	11,82	4,468	28,7
P7-MT-m3	11,77	4,386	28,7
P11-MT-m1	12,95	7,129	23,8
P11-MT-m2	13,02	7,052	22,3
P11-MT-m3	12,95	6,968	21,3

Fuente: Los autores

4.2.5 Aplicación de pinturas a soportes

Para la aplicación de las pinturas, se elaboraron soportes con el apoyo de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca, con la misma dosificación que las pruebas preliminares. La manera de proceder para el pintado de los soportes fue la misma que se realizó en dichas pruebas, así como la exposición al intemperismo.

4.2.6 Rendimiento de las muestras de suelo en la preparación del pigmento

Rendimiento: Se refiere al producto o la utilidad que rinde un determinado material. Poniéndolo en términos matemáticos, el rendimiento sería la proporción entre el resultado que se obtiene y los medios que se emplearon para alcanzar el producto deseado.



En el desarrollo de esta investigación se calculó el rendimiento de las muestras de suelo que se emplearon para obtener el pigmento necesario para la preparación de las pinturas, este parámetro está relacionado con el tamaño de partícula, pues pasan al pigmento las partículas menores a 180 micras dependiendo de la composición de la tierra (arenas 2-0,02mm; limos 20-2 micras y arcillas 2 micras), además que es importante para calcular costos de producción en caso de requerirse. La determinación de este parámetro requiere que se trabaje en pesos netos de muestras de suelo por lo que fue necesario determinar la humedad, con el fin de conocer el contenido de agua presente en cada una de ellas. La **Tabla 4-16** indica el contenido de humedad de las muestras de suelo.

Tabla 4-15. Humedad obtenida para cada muestra de suelo

Muestra de suelo.	4	7	11
% Humedad	31,15	15,95	5,15

Fuente: Los autores

El cálculo realizado en la determinación del rendimiento se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 4-16. Cálculo del rendimiento de las muestras de suelo en la preparación del pigmento

Muestra de suelo	Peso neto (g)	Humedad muestra de suelo (%)	Peso bruto(g)	Agua añadida (ml)	Volumen obtenido de pigmento (ml)
P4	500	31,15	726,20	750	950
P7	500	15,95	594,90	875	900
P11	500	5,15	527,15	525	650

Muestra	Peso pigmento (g)	Viscosidad de trabajo (s)	% Sólidos	Sólidos en el pigmento(g)	RENDIMIENTO (%)
P4	1165,89	13,67	29,60	345,10	69,02
P7	1121,55	13,85	31,75	356,09	71,22
P11	914,98	12,19	46,52	425,65	85,13

Fuente: Los autores

El detalle del cálculo del rendimiento se encuentra en el **Anexo 6**.

4.2.7 Monitoreo y control

El proceso de monitoreo se llevó a cabo con las mismas condiciones de las pruebas preliminares: tres veces por semana durante 45 días. En primer lugar, se realizó un

Autores: Danny Salto

Patricia Zhagüi

registro fotográfico y se elaboraron fichas de control en donde se registraron los cambios de cada muestra como: craquelado, desprendimiento, fisuras, cambios de tonalidad y lavado.

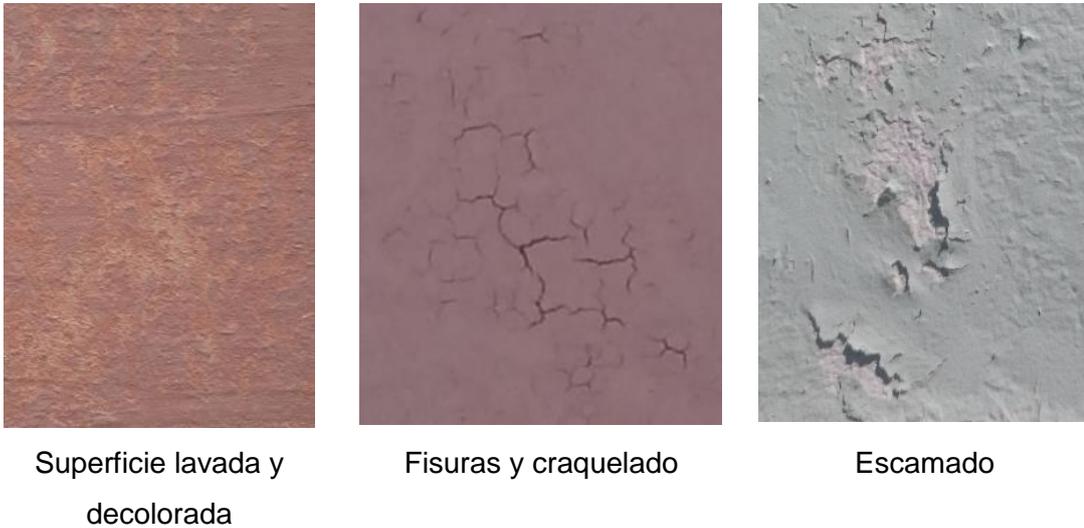


Figura 4-4. Principales alteraciones que sufren las pinturas

Fuente: Los autores

Los datos de las condiciones ambientales fueron proporcionados por el departamento del PROMAS, que tiene una estación meteorológica ubicada en la terraza donde se lleva a cabo el monitoreo. Los datos de las condiciones ambientales se presentan en el **Anexo 7** y el resultado de la evaluación de las pinturas frente a condiciones de intemperismo se encuentra en el **Anexo 8**.

En función de los cambios registrados (lavado, fisuras, craquelado, escamado y decoloración) se realizó una matriz de evaluación de las pinturas frente a las condiciones ambientales, dando una valoración de la siguiente manera:

Tabla 4-17. Valoración de las alteraciones de las pinturas en condiciones de intemperismo

Escala	Porcentaje de alteración en la pintura
1	0-20%
2	21-40%
3	41-60%
4	61-80%
5	81-100%

Fuente: Los autores

Al igual que en la etapa de pruebas preliminares, una vez culminado el tiempo de control, se realizaron pruebas sencillas de calidad para evaluar la resistencia de las pinturas



aplicadas a los soportes utilizando las mismas condiciones. Los parámetros de evaluación para cada prueba de detallan a continuación:

- *Resistencia a la abrasión:*

Tabla 4-18. Parámetros de evaluación de la resistencia a la abrasión

Escala	Desprendimiento de las capas de pintura	Resistencia
3	Alto	Baja
2	Medio	Media
1	Bajo	Alta

Fuente: Los autores

- *Resistencia al rayado:*

Tabla 4-19. Parámetros de evaluación de la resistencia al rayado

Escala	Grosor de la línea producida en la capa de pintura	Resistencia
3	Gruesa ($> 1 \text{ mm}$)	Baja
2	Media (1 mm)	Media
1	Fina ($< 1 \text{ mm}$)	Alta

Fuente: Los autores

- *Absorción de agua:*

Tabla 4-20. Parámetros de evaluación de absorción de agua

Escala	Capacidad de absorción
3	Alta
2	Media
1	Baja

Fuente: Los autores

Las matrices con la información completa se detallan en el **Anexo 9** y **Anexo 10**.



CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Análisis estadístico de los datos

El análisis estadístico de los datos se realizó con la finalidad de evaluar la influencia de los aglutinantes y la proporción de éstos empleada en el proceso de obtención de pintura y determinar cuáles de ellas tuvieron mejor comportamiento frente al intemperismo y parámetros de desempeño.

El método estadístico empleado para la interpretación de datos fue el análisis Cluster, que se fundamenta en la Estadística Multivariable.

5.1.1 Análisis Cluster

La finalidad de este método estadístico es analizar simultáneamente diversas variables para cada individuo u objeto sobre el cual se investiga. Si un análisis se realiza de forma simultánea con más de dos variables se puede considerar como un análisis multivariante. Una de las ventajas de este método es obtener información que los métodos estadísticos univariantes y bivariantes no pueden obtener. Dentro de este método tenemos el análisis de cluster, que se trata de un método estadístico cualitativo que crea agrupamientos en función de la similitud entre las variables, considerando la mayor homogeneidad de cada grupo y la mayor diferencia entre los grupos (Manzano, 1995).

El análisis Cluster Peña D.(2002) tiene dos categorías de métodos: jerárquicos y no jerárquicos.

- *Método jerárquico*: parte una matriz de distancia o similitud, si todas las variables son continuas la distancia más utilizada es la distancia euclidiana entre las variables estandarizadas. Este método se subdivide en aglomerativos y disociados. El primero analiza tantos grupos como individuos haya en el estudio, a partir de ahí se van formando grupos ascendentes hasta que al final se engloban en un mismo conglomerado. El método disociado empieza con un cluster que asocia a todos los individuos de estudio, para luego ir formando divisiones cada vez más pequeñas.



- *Método no jerárquico*: conocido también como de optimización, este realiza una sola partición de los individuos de estudio, implicando que el investigador indique los grupos a formar.

Para un correcto análisis de Cluster Peña D.(2002) plantea la siguiente manera:

- Obtener la información del objeto y sus variables a ser estudiadas.
- Establecer un indicador que nos indique en qué medida cada par de observaciones se parece entre sí (distancia o similitud)
- Crear grupos de acuerdo a la medida de distancia o similitud.
- Se describen los grupos obtenidos y se comparan unos con otros.
- Validación del análisis.

Dentro del análisis de Cluster tenemos el dendrograma o árbol jerárquico, siendo una representación gráfica del resultado del agrupamiento. El dendrograma se construye de la siguiente manera.

- En la parte inferior del gráfico se dispone los n elementos iniciales.
- Las uniones entre elementos se representan por líneas que al final se une para formar grupos de similitud.
- El proceso se repite hasta que todos los elementos estén conectados.

Debido a que el análisis Cluster es un método estadístico cualitativo que crea agrupamientos en función de la similitud entre parámetros se vio la necesidad de crear combinaciones entre los parámetros de intrínsecos de la pintura y los de desempeño.

- a) pH vs Resistencia a abrasión
- b) pH vs Absorción de agua
- c) % de sólidos vs Resistencia a abrasión
- d) % de sólidos vs Absorción de agua
- e) Viscosidad vs Resistencia a abrasión
- f) Viscosidad vs Absorción de agua
- g) Resistencia a abrasión vs Absorción de agua

Las combinaciones permiten generar un gráfico conocido como *Dendrograma* que agrupa los parámetros evaluados por similitud.



5.1.2 Interpretación de dendrogramas

Para la identificación de los clusters se planteó una medida de similitud del 80%, valor que se considera aceptable para el análisis de los grupos formados. Además, se evalúa cada dendrograma conjuntamente con el desempeño de cada pintura al intemperismo para contar con la información completa. El método de vinculación utilizado fue el de promedio, para llegar a esta decisión se probó la robustez del método haciendo combinaciones entre el método de vinculación y la medición de la distancia dándonos dendrogramas muy similares, además de ser el más común dentro del análisis estadístico multivariable. En los métodos jerárquicos la medición de la distancia más utilizada es la euclidiana, motivo por el cual se decidió trabajar con este parámetro.

Las combinaciones de las variables estandarizadas en el Software Minitab 17, son las siguientes:

- Método de vinculación (Enlace de promedio) vs distancia (euclidiana)
- Método de vinculación (Enlace de centroides) vs distancia (euclidiana)
- Método de vinculación (Enlace de centroides) vs distancia (Manhattan)
- Método de vinculación (Enlace de medias) vs distancia (euclidiana cuadrada)
- Método de vinculación (Enlace completo) vs distancia (Pearson)

Es necesario recalcar que para llevar a cabo este análisis se descartaron varias pinturas por presentar un alto grado de deterioro superior al 60% en su superficie, los principales cambios que presentaron fueron: lavado y escamado, por esta razón en ellas no se realizaron las pruebas de desempeño, pues no tienen calidad para uso. En la **Tabla 5-1** se detallan las pinturas eliminadas.

Tabla 5-1. Pinturas descartadas para el análisis Cluster por presentar alto grado de deterioro

Aglutinante	Pintura
Ninguno (corresponden a los blancos)	P4-B, P7-B, P11-B
Cola animal	P11-CA-m2, P11-CA-m3
Cola blanca	P11-CB-m1, P11-CB-m2, P11-CB-m3
Mucílago de tuna	P4-MT-m1, P4-MT-m2, P4-MT-m3
	P7-MT-m1, P7-MT-m2, P7-MT-m3
	P11-MT-m1, P11-MT-m2, P11-MT-m3

Fuente: Los autores

Con las pinturas restantes, es decir, las que se consideraron aptas para el estudio se realizó el análisis estadístico.



a) pH vs resistencia a la abrasión

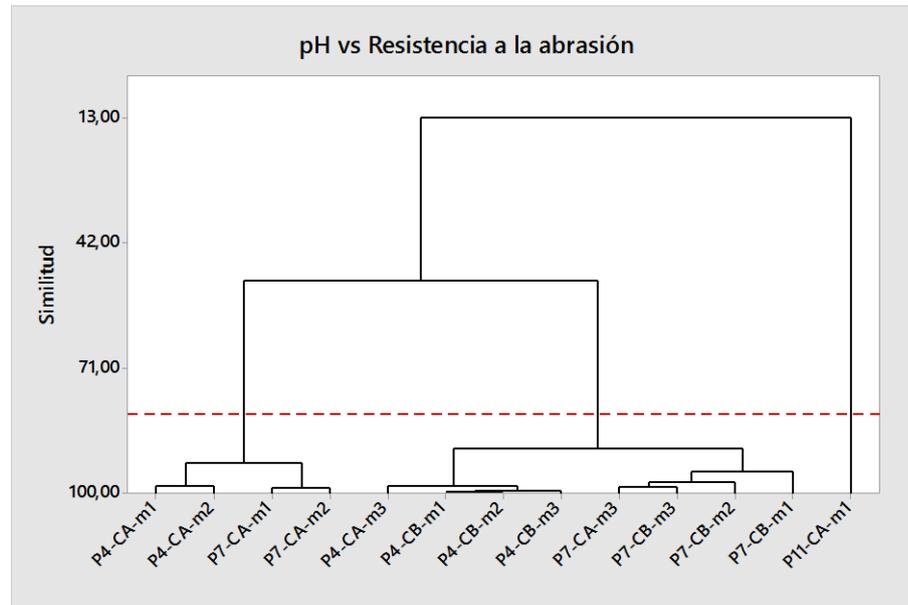


Gráfico 5-1. Dendrograma pH vs resistencia a la abrasión
Fuente: Los autores

Tabla 5-2. Pinturas componentes del dendrograma pH vs resistencia a la abrasión

Grupo	Código de pintura	pH	Resistencia a la abrasión
1	P4-CA-m1	4,494	2
	P4-CA-m2	4,422	2
	P7-CA-m1	4,721	2
	P7-CA-m2	4,766	2
2	P4-CA-m3	4,459	1
	P4-CB-m1	4,396	1
	P4-CB-m2	4,401	1
	P4-CB-m3	4,382	1
	P7-CA-m3	4,766	1
	P7-CB-m3	4,706	1
	P7-CB-m2	4,845	1
3	P7-CB-m1	4,978	1
	P11-CA-m1	7,914	1

Fuente: Los autores

- Cluster 1: Formado por pinturas de pigmento 4 y 7 elaboradas con cola animal como aglutinante en concentraciones baja y media, tienen pH ácido y presentan una resistencia media a la abrasión. Las pinturas de este grupo presentan buen comportamiento a las condiciones de intemperismo a excepción de la PA-CA-m2 con más del 40% de fisuras.



2. Cluster 2: Formado por pinturas de pigmentos 4 y 7 elaboradas con cola blanca en sus tres niveles de concentración y pinturas con cola animal de concentración alta, tienen pH ácido y presentan una alta resistencia a la abrasión. Su comportamiento frente a condiciones de intemperismo es bueno, excepto la P7-CA-m3 con más del 60% de su superficie fisurada y decolorada.
3. Cluster 3: Formado por la pintura P11-CA-m1 de pH alcalino, tiene alta resistencia a la abrasión, sin embargo, presenta más del 80% de su superficie craquelada.

Conclusión: Pinturas de pH ácido elaboradas con cola blanca presentan mejor resistencia a la abrasión que las elaboradas con cola animal. A pH alcalino se produce buena resistencia a la abrasión, pero no a las condiciones de intemperismo.

b) pH vs absorción de agua

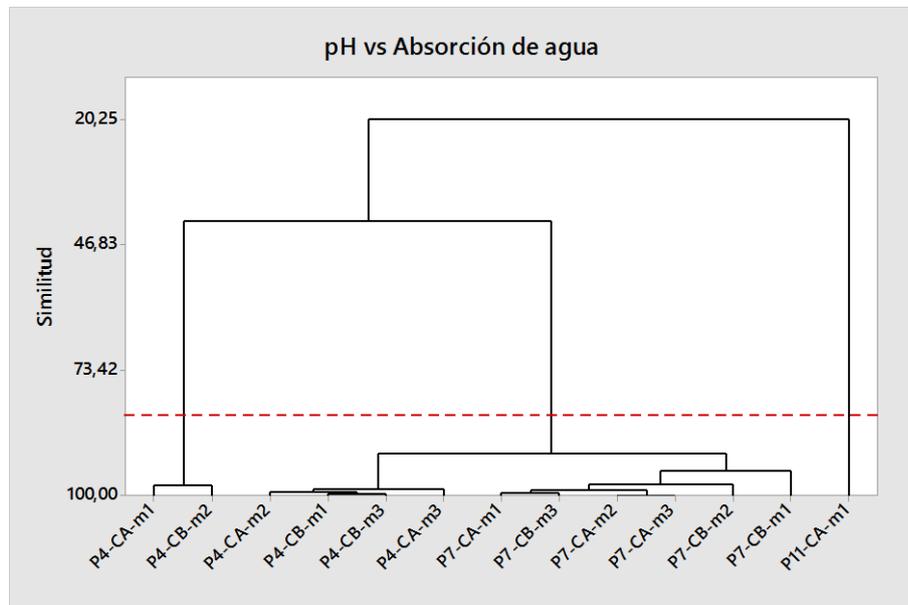


Gráfico 5-2. Dendrograma pH vs absorción de agua

Fuente: Los autores

Tabla 5-3. Pinturas componentes del dendrograma pH vs absorción de agua

Grupo	Código de pintura	pH	Absorción de agua
1	P4-CA-m1	4,494	2
	P4-CB-m2	4,401	2
2	P4-CA-m2	4,422	3
	P4-CB-m1	4,396	3
	P4-CB-m3	4,382	3
	P4-CA-m3	4,459	3
	P7-CA-m1	4,721	3



	P7-CB-m3	4,706	3
	P7-CA-m2	4,766	3
	P7-CA-m3	4,766	3
	P7-CB-m2	4,845	3
	P7-CB-m1	4,978	3
3	P11-CA-m1	7,914	3

Fuente: Los autores

1. Cluster 1: Formado por pinturas P4-CA-m1 y P4-CB-m2, ambas de pH ácido con una buena capacidad media de absorción. Presentan buen comportamiento a las condiciones de intemperismo.
2. Cluster 2: Formado por pinturas de pigmento 4 y 7 elaboradas con cola blanca y cola animal, todas de pH ácido, presentan una alta capacidad de absorción. Su comportamiento a condiciones ambientales es bueno, sin embargo, la P4-CA-m2 y P7-CA-m3 tienen más del 40% de su superficie fisurada.
3. Cluster 3: Formado por la pintura P11-CA-m1 de pH alcalino, tiene alta capacidad de absorción, a pesar de ello, presenta más del 80% de su superficie craquelada.

Conclusión: las pinturas ya sean de pH ácido o alcalino tienen una capacidad de absorción de media a alta mostrando en su mayoría buen comportamiento a las condiciones de intemperismo.

c) % Sólidos vs resistencia a la abrasión

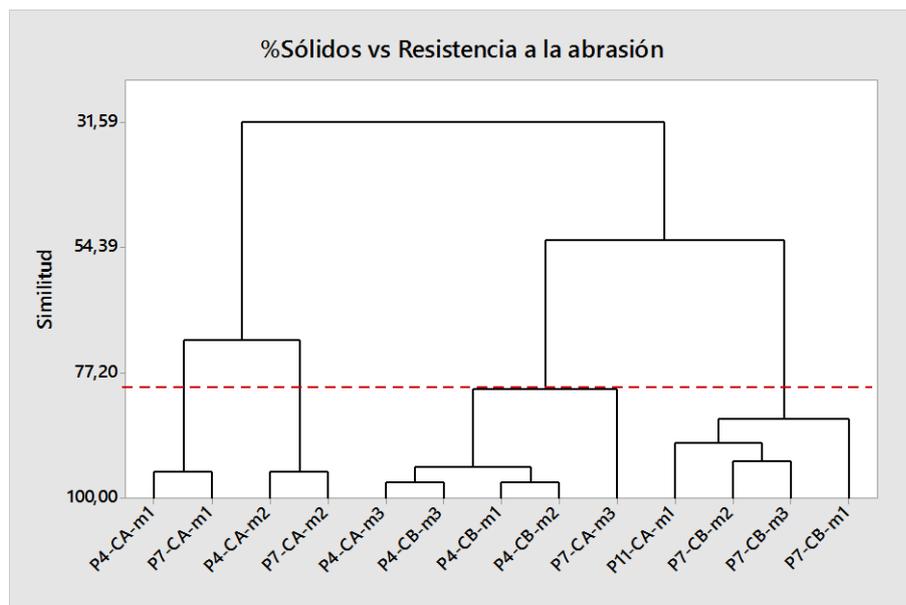


Gráfico 5-3. Dendrograma %Sólidos vs resistencia a la abrasión

Fuente: Los autores



Tabla 5-4. Pinturas componentes del dendrograma %Sólidos vs resistencia a la abrasión

Grupo	Código de pintura	% Sólidos	Resistencia a la abrasión
1	P4-CA-m1	24,9	2
	P7-CA-m1	24,4	2
2	P4-CA-m2	27,4	2
	P7-CA-m2	27,9	2
3	P4-CA-m3	26,2	1
	P4-CB-m3	26,5	1
	P4-CB-m1	26,8	1
	P4-CB-m2	27,1	1
	P7-CA-m3	28,7	1
	P11-CA-m1	33,0	1
	P7-CB-m2	32,3	1
4	P7-CB-m3	31,6	1
	P7-CB-m1	30,8	1

Fuente: Los autores

1. Cluster 1. Las pinturas de este grupo tienen una resistencia media a la abrasión, un porcentaje de sólidos similar, además presentan un buen comportamiento al intemperismo.
2. Cluster 2. Se agrupan los pigmentos 4 y 7 elaborados con cola animal con una concentración del 22,5%, similar contenido de sólidos y con una resistencia media a la abrasión.
3. Cluster 3. Pinturas del pigmento 4 elaboradas con cola blanca en todas sus concentraciones, además que se agrupan el pigmento 4 y 7 elaborados con cola animal en una concentración del 30%, todas las pinturas tienen una resistencia alta a la abrasión, su porcentaje de sólidos tiene una diferencia máxima de 2% entre ellas. Presentan un buen comportamiento similar a las condiciones de intemperismo.
4. Cluster 4. Se conglomeran todas las pinturas del pigmento 7 elaboradas con cola blanca. La pintura P11-CA-m1 es la que mejor desempeño tuvo del pigmento 11, pero presentan una superficie craquelada. Todas las pinturas de este grupo presentan un porcentaje de sólidos superior al 30%.

Conclusión: todas las pinturas presentaron un buen comportamiento ante las condiciones de intemperismo, y una resistencia a la abrasión en un rango de media a alta.



d) % Sólidos vs absorción de agua

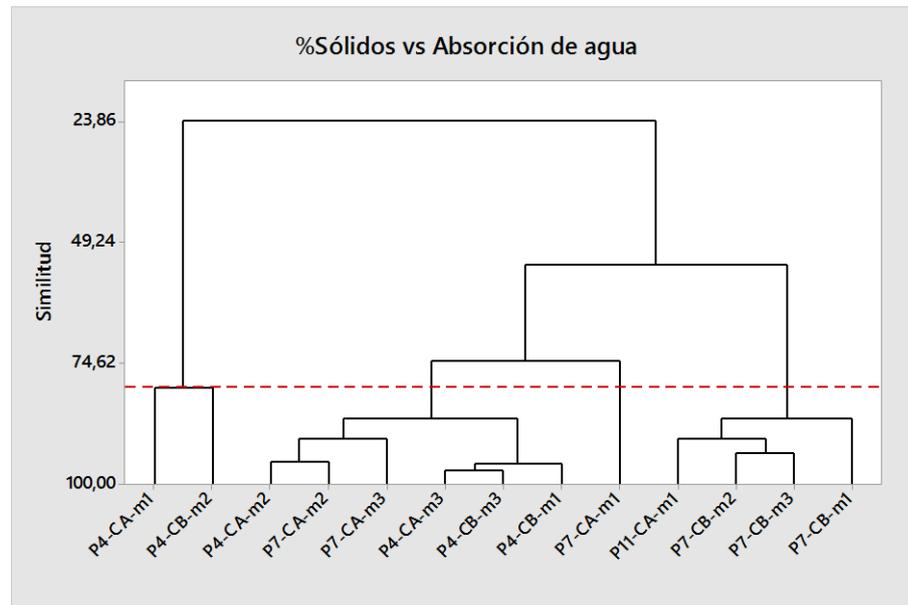


Gráfico 5-4. Dendrograma %Sólidos vs absorción de agua
Fuente: Los autores

Tabla 5-5. Pinturas componentes del dendrograma %Sólidos vs absorción agua

Grupo	Código de pintura	% Sólidos	Absorción de agua
1	P4-CA-m1	24,9	2
	P4-CB-m2	27,1	2
2	P4-CA-m2	27,4	3
	P7-CA-m2	27,9	3
	P7-CA-m3	28,7	3
	P4-CA-m3	26,2	3
	P4-CB-m3	26,5	3
	P4-CB-m1	26,8	3
	P7-CA-m1	24,4	3
4	P11-CA-m1	33,0	3
	P7-CB-m2	32,3	3
	P7-CB-m3	31,6	3
	P7-CB-m1	30,8	3

Fuente: Los autores

- Cluster 1. El porcentaje de sólidos está un poco distante entre sí, la capacidad de absorción de agua es media, dejando chorrear un poco de agua.
- Cluster 2. El porcentaje de sólidos no hay mucha diferencia. Con respecto a la capacidad de absorción de agua es alta.
- Cluster 3. Se agrupa la pintura que tiene el menor porcentaje de sólidos, su capacidad de absorción es alta.



4. Cluster 4. Todas las pinturas de este grupo tienen un porcentaje de sólidos superior al 30%, su capacidad de absorción de agua es alta.

Conclusión: todas las pinturas presentan un buen comportamiento al intemperismo, en la mayoría al aumentar el porcentaje de sólidos aumenta la capacidad de absorción de agua excepto en la pintura P7-CA-m1, que con un porcentaje de sólidos bajo la absorción de agua es alta.

e) Viscosidad vs resistencia a la abrasión.

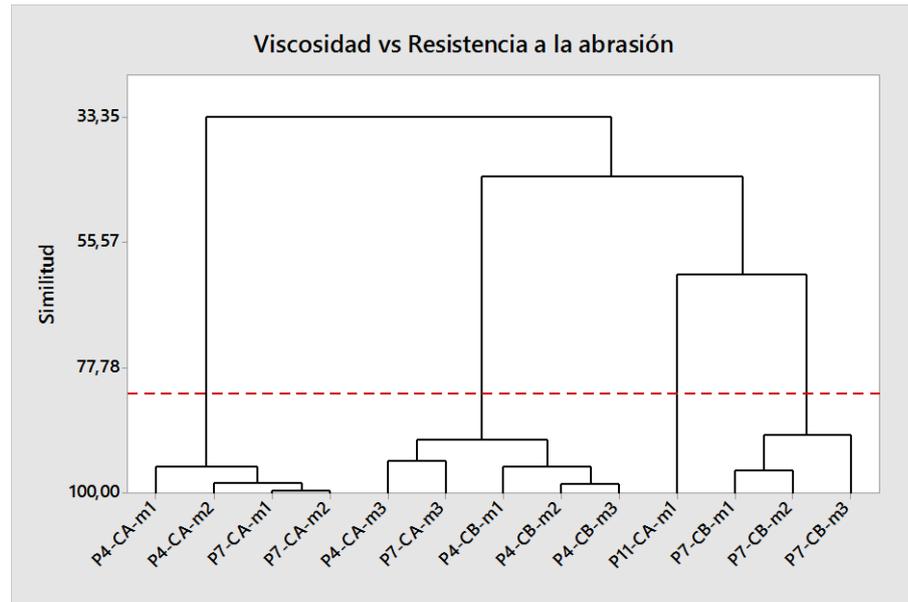


Gráfico 5-5. Dendrograma viscosidad vs resistencia a la abrasión.
Fuente: Los autores

Tabla 5-6. Pinturas componentes del dendrograma viscosidad vs resistencia a la abrasión.

Grupo	Código de pintura	Viscosidad (s)	Resistencia a la abrasión
1	P4-CA-m1	11,55	2
	P4-CA-m2	11,63	2
	P7-CA-m1	11,68	2
	P7-CA-m2	11,67	2
2	P4-CA-m3	11,53	1
	P7-CA-m3	11,67	1
	P4-CB-m1	11,30	1
	P4-CB-m2	11,39	1
	P4-CB-m3	11,43	1
3	P11-CA-m1	13,52	1
4	P7-CB-m1	12,45	1
	P7-CB-m2	12,55	1
	P7-CB-m3	12,75	1

Fuente: Los autores



1. Cluster 1. Poca diferencia en la viscosidad del grupo, tienen un desprendimiento medio lo que significa que la resistencia a la abrasión es media.
2. Cluster 2. La resistencia a la abrasión es alta, con respecto al porcentaje de sólidos están en un rango de 11,30 a 11,67 segundos.
3. Cluster 3. Se agrupa la pintura P11-CA-m1, tiene la viscosidad más alta, hay poco desprendimiento de pintura, por lo que la resistencia a la abrasión es alta.
4. Cluster 4. Se agrupan el pigmento 7 elaboradas con la aglutinante cola blanca, la viscosidad es superior a 12,45 segundos y tienen una alta resistencia a la abrasión.

Conclusión: la resistencia a la abrasión en algunas pinturas aumenta al incrementar la viscosidad, pero en otras a viscosidades inferiores a 12 segundos tenemos también una alta resistencia a la abrasión.

f) Viscosidad vs absorción de agua.

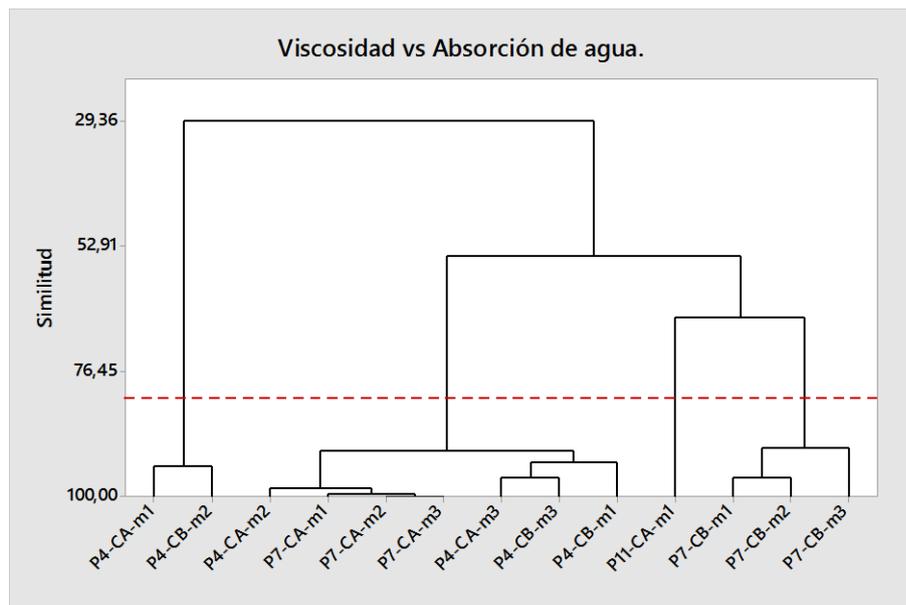


Gráfico 5-6. Dendrograma viscosidad vs absorción de agua.
Fuente: Los autores

Tabla 5-7. Pinturas componentes del dendrograma viscosidad vs absorción de agua.

Grupo	Código de pintura	Viscosidad (s)	Absorción de agua
1	P4-CA-m1	11,55	2
	P4-CB-m2	11,39	2
2	P4-CA-m2	11,63	3
	P7-CA-m1	11,68	3
	P7-CA-m2	11,67	3



	P7-CA-m3	11,67	3
	P4-CA-m3	11,53	3
	P4-CB-m3	11,43	3
	P4-CB-m1	11,3	3
3	P11-CA-m1	13,52	3
	P7-CB-m1	12,45	3
4	P7-CB-m2	12,55	3
	P7-CB-m3	12,75	3

Fuente: Los autores

1. Cluster 1. Tiene una capacidad de absorción media, con respecto a la viscosidad están muy cercanas.
2. Cluster 2. La mayoría están elaborada con cola animal, su viscosidad está en el rango de 11,30 a 11,68 segundos, tiene una alta capacidad de absorción de agua.
3. Cluster 3. Se agrupa la pintura P11-CA-m1, tiene la viscosidad más alta de todas las pinturas, posee una alta capacidad de absorción de agua.
4. Cluster 4. Se agrupan el pigmento 7 elaborado con cola blanca, tienen una alta capacidad de absorción de agua.

Conclusión: todas las pinturas presentan un buen comportamiento al intemperismo, en la mayoría de las pinturas al aumentar la viscosidad se incrementa la capacidad de absorción de agua.

g) Resistencia a la abrasión vs absorción de agua

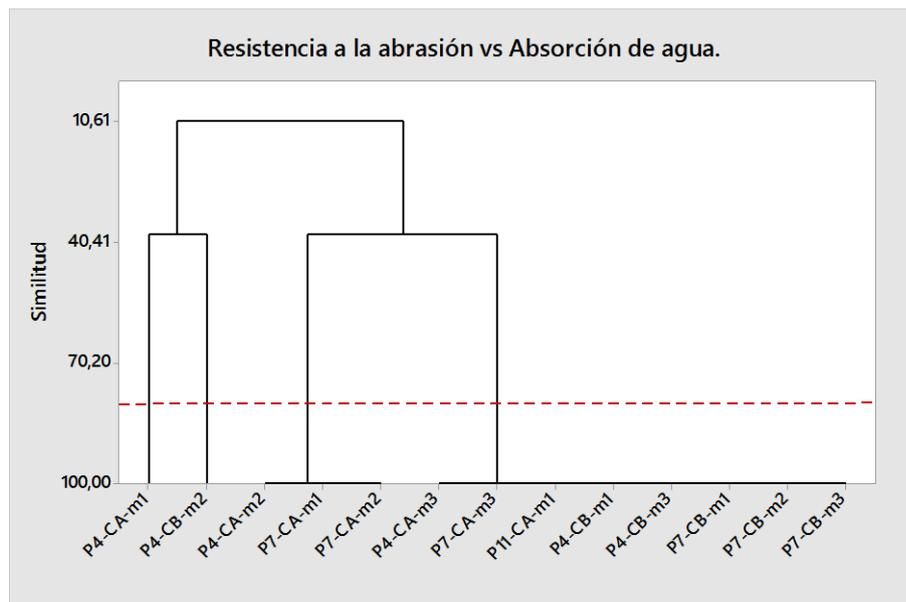


Gráfico 5-7. Dendrograma resistencia a la abrasión vs absorción de agua

Fuente: Los autores



Tabla 5-8. Pinturas componentes del dendrograma resistencia a la abrasión vs absorción de agua

Grupo	Código de pintura	Resistencia a la abrasión	Absorción de agua
1	P4-CA-m1	2	2
2	P4-CB-m2	1	2
3	P4-CA-m2	2	3
	P7-CA-m1	2	3
	P7-CA-m2	2	3
4	P4-CA-m3	1	3
	P7-CA-m3	1	3
	P11-CA-m1	1	3
	P4-CB-m1	1	3
	P4-CB-m3	1	3
	P7-CB-m1	1	3
	P7-CB-m2	1	3
	P7-CB-m3	1	3

Fuente: Los autores

1. Cluster 1: Formado por la pintura P4-CA-m1, presenta una resistencia media a la abrasión y una capacidad media a la absorción. Su comportamiento a condiciones ambientales es bueno.
2. Cluster 2: Formado por la pintura P4-CB-m2, presenta una resistencia alta a la abrasión y capacidad media de absorción. Tiene buen comportamiento a condiciones ambientales.
3. Cluster 3: Formado por pinturas de pigmentos 4 y 7, elaboradas con cola animal Tienen una resistencia media a la abrasión y alta capacidad de absorción.
4. Cluster 4: Formado por pinturas hechas con los tres pigmentos, la mayor parte de este grupo fueron hechas con cola blanca. Tienen alta resistencia a la abrasión y alta capacidad de absorción. La mayoría, excepto la P11-CA-m1 presentan comportamientos buenos a condiciones de intemperismo.

Conclusión: Pinturas del cluster 4 son las que mejor desempeño presentaron, elaboradas con cola blanca tienen mejor resistencia a la abrasión y gran capacidad de absorción.



5.2 Influencia de las condiciones meteorológicas en el desenvolvimiento de las pinturas

La estación meteorológica del PROMAS registró diariamente valores mínimos, medios y máximos de las condiciones ambientales. En la **tabla 5.13** se resumen los valores máximos de temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, precipitación y radiación solar, condiciones consideradas como las más relevantes registradas durante las 7 semanas de monitoreo.

Tabla 5-9. Condiciones ambientales a las que fueron sometidos los soportes

Semana	1	2	3	4	5	6	7
Temperatura (°C)	23,3	24,7	24,6	24,6	NE	23,4	23
Humedad Relativa %	84	87	76	87	NE	92	89
Velocidad del viento m/s	1,04	1,59	1,37	1,39	NE	2,08	1,45
Precipitación mm	8,8	6,4	2,2	8,2	7,2	13,6	1,2
Radiación Solar W/m²	227,96	253,94	259,17	265,48	NE	251,40	249,04

Fuente: PROMAS

Los valores de temperatura se registraron normales dentro de los establecidos para la época de verano en la Ciudad de Cuenca (12-25°C). Sin embargo, se registraron temperaturas bajas (consideradas extremas) en la mañana. La humedad relativa presenta su máximo valor a la sexta semana coincidiendo con la alta precipitación en esa misma semana. La velocidad del viento alcanza altos valores a la segunda y sexta semana; finalmente la radiación solar se incrementa considerablemente a partir de la segunda semana hasta finalizar el monitoreo.

Es evidente que el desempeño de las pinturas está fuertemente relacionado con las condiciones de intemperismo, así, los cambios más perceptibles como superficies lavadas, craqueladas y escamadas se producen en las semanas con mayor precipitación. La influencia de temperaturas bajas por la mañana y altas en el día provocaron que se diera una dilatación y contracción en las películas de pintura, consecuencia de ello se dio la aparición de fisuras.



5.3 Composición química del pigmento y su comportamiento en función del pH

De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis químico realizado a las muestras de pigmento (**Ver Anexo 4**), se observa que el P4 y P7 tienen pH ácido por presencia de cationes Al^{+3} e H^{+} . Por el contrario, el pigmento 11 contiene cationes Ca^{+2} , Na^{+} , K^{+} y P^{+4} que le confieren el pH alcalino.

5.4 Relación pigmento-aglutinante

El contacto de los pigmentos P4 y P7 de pH ácido con los aglutinantes también de pH ácido no influye de manera significativa en las propiedades reológicas como la viscosidad, es decir, no existe un incremento brusco al momento de ser adicionado. Esta condición resulta ventajosa en el proceso de elaboración de pinturas debido a que se requiere adicionar menor cantidad de agua para llegar al rango de viscosidad requerida; consecuencia de ello el porcentaje de sólidos de las pinturas no presenta mayor variación con respecto al pigmento, manteniendo la capacidad de cobertura del pigmento mineral. Por otra parte, el pigmento 11 de pH alcalino, al contacto con los aglutinantes tiene un comportamiento diferente a los otros dos pigmentos debido a que forma mezclas pastosas lo que involucra la adición de grandes volúmenes de agua para llegar a la viscosidad adecuada, esta condición se ve reflejada en la disminución del porcentaje de sólidos en más de un 50% disminuyendo por ende su poder de cobertura.

5.5 Relación pinturas-soporte

La naturaleza del soporte tiene una influencia significativa en el desempeño de las pinturas. El caso más evidente se da en las pinturas elaboradas con el P11 empleando cola blanca (poliacetato de vinilo) como aglutinante, mismas que presentaron baja adherencia lo que provocó el desprendimiento casi en su totalidad de las películas de pintura. Lo antes mencionado se sustenta en el fenómeno de saponificación, en donde la alcalinidad del soporte saponifica los ésteres que se encuentran en las cadenas laterales del polímero formándose alcohol polivinílico y ácido acético, sustancias solubles en agua lo que hace que las pinturas pierdan su consistencia y comiencen a descascararse. (Schweigge, 2005).



5.6 Influencia del mucílago de tuna como aglutinante en el desempeño de las pinturas

La formulación de pinturas usando mucílago de tuna como aglutinante no presenta resistencia al intemperismo, al estar compuesto en su mayoría por agua (superior al 90%) no confiere adherencia a las partículas del pigmento por lo que al contacto con la lluvia son más susceptibles a ser lavadas.



CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Con el desarrollo de este trabajo, se logró obtener pinturas a base de pigmentos minerales procedentes de las comunidades de Oña, Susudel y sus alrededores, rescatando técnicas patrimoniales propias de la zona.
- De las formulaciones obtenidas en el diseño experimental, las pinturas con mejor comportamiento en las condiciones ambientales fueron: para el pigmento 4 elaboradas con cola blanca en las concentraciones 5,10 y 15%, con cola animal en las concentraciones 15 y 22,5%; para el pigmento 7 con cola blanca de concentración 5% y cola animal a una concentración del 15% que cumplen las expectativas de calidad como adherencia, alto contenido de sólidos, niveles bajos de alteración al intemperismo; finalmente para el pigmento 11 con cola animal con una concentración del 15%, considerando que esta última presenta alrededor del 80% de su superficie craquelada, a pesar de ello resulta superior a todas las pinturas elaboradas con este pigmento.
- El aumento de las concentraciones de cola animal incrementó considerablemente la resistencia a las condiciones de intemperismo sobre todo en los pigmentos 4 y 7.
- El uso del mucílago de tuna como aglutinante no es recomendado debido a su baja capacidad de resistencia a condiciones de intemperismo. A pesar que su porcentaje de adición se incrementó con respeto a las pruebas preliminares, esto no significó un mejor desempeño.
- Las pinturas elaboradas con pigmentos de pH alcalino sufren mayor deterioro al ser sometidas a condiciones de intemperismo que las elaboradas con pigmentos de pH ácido por su poca afinidad con la naturaleza alcalina del soporte lo que disminuye la adherencia de la pintura.
- La velocidad de agitación en la elaboración de pinturas es un parámetro que debe ser controlado, generalmente en las pinturas elaboradas con los pigmentos 4 y 7 velocidades muy superiores a los 500 rpm generan burbujas que al momento de la aplicación da lugar a la formación de cráteres y posteriormente la aparición de fisuras. Por el contrario, velocidades muy inferiores a los 500 rpm no permite una correcta homogenización de los componentes de la pintura afectando a parámetros como viscosidad y poder de cobertura. Para el caso de



las pinturas elaboradas con el pigmento 11 su velocidad de agitación puede elevarse hasta 900 rpm.

- La viscosidad es una propiedad de la pintura que influye en el proceso de aplicación, viscosidades bajas dan lugar a una disminución del poder de cobertura y escurridos, por el contrario, viscosidades altas generan dificultad de aplicación dejando visibles las marcas de la brocha, capas gruesas y por consiguiente la formación de piel de naranja o la aparición de fisuras.

6.2 RECOMENDACIONES

Para incrementar el poder de cobertura de la pintura P11 elaborada con cola animal en una concentración del 15% (la que mejor desempeño tuvo en este estudio con respecto a las demás pinturas elaboradas con el pigmento 11) se recomienda aplicar más de dos capas para cubrir correctamente la superficie del soporte. Además, es necesario recalcar que antes de aplicar la segunda capa y posteriores se debe agitar nuevamente la pintura con la finalidad de mantener la misma viscosidad.

Para evaluar el desempeño de las pinturas a condiciones ambientales, se sugiere no colocar una cubierta (alero) a la estructura donde se exponen los soportes aplicados ya que por el tiempo de monitoreo (45 días) los cambios no varían drásticamente debido a que no están sometidas directamente a condiciones meteorológicas lo que puede llevar a dar conclusiones erróneas en cuanto a la decisión de la formulación final.

Las pinturas de pigmento mineral deben ser elaboradas en un periodo cercano a la aplicación, para de esta manera evitar el aumento de la viscosidad por la evaporación del solvente (agua). Por tanto, se recomienda para futuras investigaciones probar la adición de un defloculante que ayude a mantener las partículas del pigmento en suspensión y la homogeneidad de las pinturas.

Para la fabricación de los soportes se recomienda trabajar con una cal de alta pureza que sea normalizada y con agregados finos.

Con la finalidad de expandir el uso de pinturas a base de tierra utilizando aglutinantes naturales, se ve la necesidad de implicar nuevos materiales con la capacidad de adherencia para este fin, tales como aceite de linaza, albúmina (clara de huevo), caseína (leche) entre otras para observar el comportamiento y desempeño de las pinturas.

Se recomienda probar las pinturas del pigmento 11 con otras superficies de soporte.



BIBLIOGRAFÍA

- Achig, M. C., Paredes, M. C., & Barsallo, M. G. (2016). Architecture of the historic center of Cuenca – Ecuador: colour study and proposals. *Estoa*, 5(8), 81–91. <https://doi.org/10.18537/est.v005.n008.08>
- Achig, M., Zúñiga, M., Van Balen, K., & Abad, L. (2013). Sistema de registro de daños para determinar el estado constructivo en muros de adobe. *Maskana*, 4(2), 71–84. Retrieved from http://diuc.ucuenca.edu.ec/jdownloads/InformacionInformation/Contenidos de RevistaJournal contents/Vol. 4 N 2 Diciembre 2013/maskana_4206.pdf
- Alegre, E., Perla, A., & López, J. (2016). *La Materia del Arte: Técnicas y medios*. (E. C. de E. R. A. S. Estudios, Ed.). Madrid. Retrieved from https://books.google.com.ec/books?id=JK40DQAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Almeida, C. E. (2011). *Estudio del comportamiento de sistemas de pinturas alquídicas con pigmentos nanoparticulados de óxido de zinc y dióxido de titanio en atmósferas urbanas e industriales de la ciudad de Quito*. Escuela Politécnica Nacional. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/28674/1/Trabajo de Titulación.pdf>
- Alonso, J. V. (2013). Pinturas , barnices y afines : Composición , Formulación y Caracterización, 43.
- Álvarez Romero, C. (2012). Los pigmentos en la Prehistoria: proyecto de experimentación térmica con óxidos e hidróxidos de hierro. *Boletín de Arqueología Experimental*, 9, 25–42.
- Bailach Bartra, C., Fuster López, L., Yusa Marco, D. J., Talens Oliag, P., & Vicente Palomino, S. (2011). Gelatinas y colas para el uso en tratamientos de restauración. Estado de la cuestión. *Arché*, (6), 17–22.
- Billmeyer, F. W. (2004). *Ciencia de los polimeros* . Barcelona-España : Reverté.
- Calvo Carbonell, J. (2011). *Pinturas y recubrimientos.: Introducción a su tecnología* Ediciones Díaz de Santos, 4-27.



- Cardoso, F. D. P. (2015). *Desenvolvimento de processos de produção e avaliação do desempenho de tintas para a construção civil manufaturadas com pigmentos de solos*. Universidade Federal de Viçosa.
- Cervantes, M. (n.d.). *Los nopales (opuntia spp.) como recurso*. Universidad Autónoma de México. Retrieved from http://fenix.cichcu.unam.mx/libroe_2006/0965822/09_c05.pdf
- Cuadrón, R. S. (n.d.). *Toxicología de los Materiales Pictóricos*, 240.
- Gabaldón, J. (2004). *Formulación de pinturas y aplicaciones*. Retrieved from http://www.academia.edu/9075265/Formulación_de_Pinturas_y_Aplicaciones
- García, A., & Armiñana, J. (n.d.). *Procedimientos y técnicas pictóricas*. Universidad de Murcia. Retrieved from <http://ocw.um.es/artes-1/procedimientos-y-tecnicas-pictoricas/material-de-clase-1/espanol/u.t.-7.-aglutinantes-pictoricos-y-sustancias-coadyuvantes.pdf>
- Garrett, C. M. (2008). *Biochemistry. Chemistry*, 1059.
- León Martínez, F. M. (2010). *Secado por aspersion del mucilago del nopal (opuntia ficus indica) y su efecto en las propiedades reológicas de los polvos reconstituidos*. Instituto Politécnico Nacional-Centro Interdisciplinario de Investigación para el desarrollo integral regional Unidad Oaxaca. Retrieved from <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/12330/secadoCIIDIROAX.pdf?sequence=1>
- Loaiza, C., Aguirre, Z., & Jadán, O. (n.d.). *Estado del conocimiento actual de la familia de Cactaceae en el Ecuador*. Retrieved from http://www.academia.edu/1481871/Conocimiento_de_las_Cactáceas_en_el_Ecuador
- Luzuriaga, J. (2012). *Experimentación con pigmentos alternativos aplicables al diseño interior*. Universidad del Azuay. Retrieved from <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/144/1/09086.pdf>
- Lynn, W., & Pearson, M. (2000). *Exploring the chemistry of soil color*. Retrieved from http://static.nsta.org/files/tst0005_20.pdf
- Matteini, M., & Moles, A. (2001). *Pigmentos y colorantes*. (Editorial NEREA, Ed.), *La química en la restauración: los materiales del arte pictórico* (Ilustrada), 25-43.
- Mayer, R. (1992). *Materiales y técnicas del arte*. (Ediciones AKAL, Ed.) (Ilustrada).



Madrid, 27-28.

- Medina-Torres, L., Brito-De La Fuente, E., Torrestiana-Sanchez, B., & Katthain, R. (2000). Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus indica*). *Food Hydrocolloids*, 14(5), 417–424. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(00\)00015-1](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(00)00015-1)
- Millares, I. (2006). *Calidad de suelos en ambientes calizos mediterráneos: Parque Natural de Sierra María Los Vélez*. Universidad de Granada. Retrieved from <https://hera.ugr.es/tesisugr/1644677x.pdf>
- Neves, C. M., Faria, O., Rotondaro, R., Cevallos, P., & Hoffman, M. (2009). Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra. Retrieved from <http://www.redproterra.org>.
- NTE INEN. Pinturas. Determinación de la viscosidad, Pub. L. No. 1013 (2015).
- NTE INEN 997. Pinturas y productos afines. Definiciones (1983).
- Ornelas Núñez, J. L. (2011). *Mejoramiento del método de extracción del mucílago de nopal *Opuntia ficus indica* y evaluación de sus propiedades de viscosidad*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Palacios, M. (2006). *Características y ensayos de corrosión de pinturas modificadas con polímeros conductores*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona. Retrieved from <http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/3162>
- Palet, A. (2002). *Tratado de pintura: color, pigmentos y ensayo*. (E. U. de Barcelona, Ed.) (Ilustrada).
- Parrilla Alvarado, P. E. (2011). *Pinturas y revestimientos*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Retrieved from http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/02/02_2967.pdf
- Peña, A., Arroyo, Á., Armando, G., & Tapia, R. (2004). *Bioquímica*. México: Editorial Limusa, S. A.
- Peña, D. (2002). *Análisis de datos multivariantes*. Madrid : Source .
- plantasen.blogspot.com*. (02 de Abril de 2013). Retrieved from <http://plantasen.blogspot.com/2013/01/nopal-opuntia-ficus-indica.html>
- Manzano, J. A. (1995). El análisis multivariable. . *N.d* , 23.
- Ministerio de Cultura y Patrimonio (n.d.). Oña y Susudel son patrimonios del Ecuador. Retrieved from <http://www.culturaypatrimonio.gob.ec/ona-y-susudel-son-patrimonios-del-ecuador/>
- Autores: Danny Salto
Patricia Zhagüi



- Ramírez, O. (2017). Poliacetato de vinilo, Apuntes de Química Molecular. Retrieved from <https://www.docsity.com/es/poliacetato-de-vinilo/2001575/>
- Roche, A. (2003). *Comportement Mécanique Des Peintures Sur Toile : Dégradation et Prévention*, nd, 126.
- Rodríguez-González, S., Martínez-Flores, H. E., Órnelas-Nuñez, J. L., & Garnica-Romo, M. G. (2011). Optimización de la extracción del mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*). *XIV Congreso Nacional de Biotecnología Y Bioingeniería*, (2004), 58240.
- Rosales, V., & Salazar, I. (2017). La Tierra de Oña. Color, técnica y patrimonio.
- Saragoza, N. G. (nd de enero de 2010). *Los pigmentos y su evolución en la artes plásticas*. Retrieved from <http://www.eduinnova.es/ene2010/pigmentos.pdf>
- Schellman, N. (2009). Animal Glues – their adhesive properties , longevity and suggested use for repairing taxidermy specimens.
- Schweigger, E. (2005). *Manual de pinturas y recubrimientos plásticos*. (E. D. de Santos, Ed.).
- Villarquide Jenevois, A. (2004). *La pintura sobre tela: historiografía, técnicas y materiales, Volumen 1*. (E. NEREA, Ed.).
- Vissac, A., Bourgès, A., Gandreau, D., Anger, R., & Fontaine, L. (2017). Argiles & Biopolymères.
- Zagal, E., & Sadzawka, A. (2007). *Protocolo de Métodos de análisis para suelos y lodos*. Chile. Retrieved from http://www.cofes.org.ar/descargas/relas/4_jornada/Protocolos_suelos_y_lodos_Sadzawka.pdf



ANEXOS

Anexo 1. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE SÓLIDOS DE LAS MUESTRAS DE TIERRA-SECTOR OÑA Y SUSUDEL

Muestra	P _V	P _V + P _{MH}	P _{MH}	P _V + P _{MS}	P _{H2O}	% Humedad	% Sólidos	Promedio % Sólidos
Punto 1A	64,39	85,61	21,22	68,91	16,7	78,70	21,30	21,54
Punto 1B	43,06	64,6	21,54	47,75	16,85	78,23	21,77	
Punto 2A	71,87	91,88	20,01	76,13	15,75	78,71	21,29	24,05
Punto 2B	50,98	71,01	20,03	56,35	14,66	73,19	26,81	
Punto 3A	44,31	64,43	20,12	47,46	16,97	84,34	15,66	15,92
Punto 3B	54,04	74,19	20,15	57,3	16,89	83,82	16,18	
Punto 4A	49,55	69,68	20,13	55,4	14,28	70,94	29,06	29,27
Punto 4B	60,78	80,15	19,37	66,49	13,66	70,52	29,48	
Punto 5A	51,02	71,74	20,72	56,36	15,38	74,23	25,77	27,31
Punto 5B	51,53	71,6	20,07	57,32	14,28	71,15	28,85	
Punto 6A	44,84	64,85	20,01	49,45	15,4	76,96	23,04	23,06
Punto 6B	49,57	69,89	20,32	54,26	15,63	76,92	23,08	
Punto 7A	59,33	79,38	20,05	65,92	13,46	67,13	32,87	32,78
Punto 7B	57,65	77,69	20,04	64,2	13,49	67,32	32,68	
Punto 8A	43,88	64,05	20,17	46,68	17,37	86,12	13,88	13,88
Punto 8B	43,84	64,1	20,26	46,65	17,45	86,13	13,87	
Punto 9A	49,91	69,97	20,06	55,22	14,75	73,53	26,47	26,47
Punto 9B	58,89	79,06	20,17	64,23	14,83	73,53	26,47	
Punto 10A	42,65	62,85	20,2	47,01	15,84	78,42	21,58	21,56
Punto 10B	53,76	74,14	20,38	58,15	15,99	78,46	21,54	
Punto 11A	49,64	71,65	22,01	60,74	10,91	49,57	50,43	50,41
Punto 11B	50,08	70,5	20,42	60,37	10,13	49,61	50,39	

P_V = Peso del vaso P_{MH} = Peso muestra húmeda P_{MS} = Peso muestra seca P_{H2O} = Peso del agua
Fuente: Proyecto Tierras de Colores



Anexo 2. FICHA DE REGISTRO DE PRUEBAS DE DESEMPEÑO

Código	Resistencia a la abrasión	Resistencia al rayado	Absorción de agua
P4-07-CB	Ligero desprendimiento	Ligero desprendimiento	Absorbe
P4-14-CB	No hay desprendimiento	Ligero desprendimiento	Absorbe
P4-21-CB	No hay desprendimiento	Ligero desprendimiento	Absorbe
P4-05-CA	Desprendimiento	Desprendimiento	Absorbe
P4-10-CA	Desprendimiento	Desprendimiento	Absorbe
P4-15-CA	Poco desprendimiento	Desprendimiento	Absorbe
P4-15-MT	Desprendimiento	Desprendimiento	Absorbe
P4-20-MT	Poco desprendimiento	Desprendimiento	Absorbe
P4-25-MT	Mínimo desprendimiento	Ligero desprendimiento	No absorbe
P4-B	Poco desprendimiento	Desprendimiento	Absorbe
P7-07-CB	Poco desprendimiento	Mínimo desprendimiento	Absorbe
P7-14-CB	No hay desprendimiento	Ligero desprendimiento	Absorbe
P7-21-CB	Desprendimiento	Desprendimiento	Absorbe
P7-05-CA	Desprendimiento	Desprendimiento	Absorbe
P7-10-CA	Gran desprendimiento	Desprendimiento	Absorbe
P7-15-CA	Desprendimiento	Desprendimiento	Absorbe
P7-15-MT	Desprendimiento	Desprendimiento	Absorbe
P7-20-MT	Poco desprendimiento	Desprendimiento	Absorbe
P7-25-MT	Gran desprendimiento	Desprendimiento	Absorbe
P7-B	Gran desprendimiento	Desprendimiento	Absorbe
P11-07-CB	Ligero desprendimiento	Desprendimiento	No absorbe
P11-14-CB	No hay desprendimiento	Mínimo desprendimiento	Absorbe poco
P11-21-CB	No hay desprendimiento	Mínimo desprendimiento	Absorbe
P11-05-CA	No hay desprendimiento	Poco desprendimiento	No absorbe
P11-10-CA	No hay desprendimiento	Poco desprendimiento	Absorbe poco
P11-15-CA	No hay desprendimiento	Ligero desprendimiento	Absorbe
P11-15-MT	Ligero desprendimiento	Poco desprendimiento	Absorbe
P11-20-MT	No hay desprendimiento	Ligero desprendimiento	No absorbe.
P11-25-MT	No hay desprendimiento	Mínimo desprendimiento	No absorbe
P11-B	Mínimo desprendimiento	Ligero desprendimiento	Absorbe poco

Fuente: Los autores



Anexo 3. DATOS DE ESTACIÓN METEOROLÓGICA-PRUEBAS PRELIMINARES

DATOS UNIVERSIDAD DE CUENCA												
Date	Temperatura			Hum Rel			Punto	Vel	Presion	Precip	Solar	Tem
	Med °C	Max °C	Min °C	Med %	Max %	Min %	Rocio °C	Viento m/s	Bar milibar	mm	Rad. W/m ²	P Rocio °C
26/10/2016	14,49	24,8	7,2	61,23	83	18	6,13	1,46	748,79	0	318,15	8,93
27/10/2016	14,03	24,6	5,4	51,35	78	24	3,22	1,27	749,88	0	295,03	6,49
28/10/2016	12,67	21,8	8,9	53,79	72	42	3,43	0,86	750,48	0,4	249,56	5,93
29/10/2016	14,92	20,3	10,5	61,13	86	41	7,12	1,53	750,68	0,2	238,38	8,28
30/10/2016	14,96	23,8	6,8	59,92	79	38	6,77	0,89	750,48	0	272,25	7,83
31/10/2016	14,04	23,6	7,3	66,46	81	37	7,42	0,93	748,92	4,8	228,67	8,99
01/11/2016	14,66	23,7	7,9	63,83	83	40	7,30	1,25	749,29	0	264,13	8,93
02/11/2016	15,80	23,9	9,6	57,17	76	36	6,88	1,28	748,81	0	297,92	8,24
03/11/2016	15,33	22,4	11,6	67,13	84	47	8,99	0,82	748,45	1,2	155,33	9,32
04/11/2016	15,09	19,5	11,1	71,04	83	52	9,67	1,11	751,46	0	133,92	9,95
05/11/2016	15,31	19,1	13,7	74,54	82	60	10,74	0,77	751,29	6	107,75	10,71
06/11/2016	14,79	18,6	12,3	74,13	88	56	10,05	0,29	751,25	2,8	108,29	10,38
07/11/2016	14,65	19,9	10,3	71,63	86	49	9,31	0,95	750,51	2	148,38	10,42
08/11/2016	15,55	23,1	10,7	70,46	87	42	9,77	1,05	749,53	0	224,38	11,06
09/11/2016	17,56	23,1	12,3	66,75	84	44	10,86	1,17	747,25	0	213,54	11,75
10/11/2016	16,25	23,1	13,1	75,00	90	45	11,45	0,99	747,41	8,8	196,58	12,68
11/11/2016	15,47	20,8	13	79,54	90	54	11,77	0,52	749,02	1,2	140,25	12,93
12/11/2016	16,46	24,6	13	72,08	84	43	11,07	1,04	748,01	0	251,88	12,23
13/11/2016	16,23	22,9	13,5	69,67	82	43	10,42	1,25	747,24	0	255,42	11,75
14/11/2016	15,44	22,5	10,7	67,08	80	43	9,12	1,32	746,40	0	255,50	11,07
15/11/2016	14,66	21,1	9,6	65,75	80	44	8,04	1,45	747,68	0	280,29	10,06
16/11/2016	14,80	23,9	5,9	50,46	76	19	3,48	1,27	748,58	0	310,00	6,53
17/11/2016	14,37	24,8	4,8	45,88	70	19	1,83	1,24	748,17	0	307,79	4,49
18/11/2016	15,69	23,7	8,4	54,67	69	34	6,16	1,20	748,27	0	258,54	7,18
19/11/2016	15,69	24,2	10,2	65,25	79	38	8,71	1,17	747,42	0	254,25	9,12
20/11/2016	12,15	22,3	3,7	56,54	79	21	2,56	2,04	750,33	0	309,71	5,18
21/11/2016	12,27	24,2	1,7	46,17	69	13	-0,72	1,33	751,52	0	309,21	2,25
22/11/2016	13,76	25,2	3,7	46,79	63	23	1,83	1,29	749,86	0	298,75	3,84
23/11/2016	16,98	22,4	12,1	55,13	71	45	7,74	1,21	747,41	0	221,17	8,07
24/11/2016	16,88	22,9	13,9	58,75	82	34	8,19	1,39	746,25	0	196,92	9,79
25/11/2016	15,48	22,8	11,2	53,63	76	36	5,75	1,08	748,86	4,8	199,71	7,29
26/11/2016	15,64	21,9	10,6	65,67	84	51	8,91	1,01	749,21	0,4	226,75	9,28
27/11/2016	16,37	25,2	12,1	67,33	83	41	9,93	1,00	747,32	10,2	228,96	10,27
28/11/2016	16,66	22,3	11,3	69,48	84	46	10,83	0,97	745,47	0	53,87	11,25
29/11/2016	15,55	18,9	13,7	74,19	82	60	10,92	1,01	748,41	3,4	137,33	11,64
30/11/2016	15,86	20,2	13,1	70,11	88	49	10,13	1,19	749,21	0	137,75	11,16
01/12/2016	15,86	19,7	13,2	68,83	83	53	9,96	0,97	749,15	0	104,65	10,81
02/12/2016	15,26	19,7	12	72,83	83	55	10,29	0,71	748,88	0,2	129,74	11,18
03/12/2016	15,31	22	12,2	74,59	88	46	10,53	0,91	749,70	1,8	173,68	11,21
04/12/2016	15,69	22	11,3	71,92	89	45	10,27	1,02	749,22	0	212,25	11,01
05/12/2016	16,65	23,6	12,9	69,46	84	42	10,57	1,28	747,59	0,4	218,91	11,57
06/12/2016	16,34	23,8	13,7	72,50	88	40	11,05	1,11	747,90	3,2	216,15	11,99
07/12/2016	16,56	24,5	13	70,27	86	36	10,72	1,15	748,07	0	274,86	12,01
08/12/2016	15,73	23,8	11,6	68,87	82	40	9,74	1,09	747,92	0,2	211,91	11,30
09/12/2016	14,48	22,4	9,4	67,22	78	40	8,23	1,22	748,07	0	193,50	10,42

Fuente: PROMAS



Anexo 4. RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELO



Universidade Federal de Viçosa

Departamento de Solos
Av. Peter Henry Rolfs s/n - Campus Universitário
CEP: 36.570-900 - Viçosa - MG
Telefone/Fax: (31) 3899-1064/3899-2637



Laboratório de Análise de Solo, Tecido Vegetal e Fertilizante

Solicitação Nº: 27/2017 Entrada: 02/02/2017 Saída: 23/02/2017
 Cliente: Fernando de Paula Cardoso Endereço: Rua José Ubaldo de Paiva, 39 Apto. 407 Bairro: Ramos
 Cidade: Viçosa - MG CEP: 36570-000 Município:
 Telefone: (31)99814-1381 Valor: 57,00 Identificação:

Resultados de Análise Química de Solo

Nº Laboratório	Referência do Cliente	pH H ₂ O	pH KCl	pH CaCl ₂	P	K	Na	Ca ²⁺
					mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	cmol _c /dm ³
74	Punto 4	4,87	3,67	-	1,2	4	7,9	0,51
75	Punto 7	5,23	3,52	-	1,8	176	27,9	6,65
76	Punto 11	9,71	7,60	-	106,9	171	398,8	6,83
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-

Nº Laboratório	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	t	T	V	m	ISNa	MO	P-Rem
	cmol _c /dm ³	%	%	%	dag/kg	mg/L					
74	0,10	4,90	6,1	0,65	5,55	6,75	9,6	88,3	0,51	-	8,9
75	3,04	7,10	9,2	10,26	17,36	19,46	52,7	40,9	0,62	-	9,1
76	2,89	0,00	0,2	11,89	11,89	12,09	98,3	0,0	14,34	-	49,5
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Nº Laboratório	S	B	N	Cu	Mn	Fe	Zn	Cr	Ni	Cd	Pb
	mg/dm ³	mg/dm ³	dag/kg	mg/dm ³							
74	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

pH em água, KCl e CaCl₂ - Relação 1:2,5

Ca²⁺ - Mg²⁺ - Al³⁺ - Extrator: KCl - 1 mol/L

SB = Soma de Bases Trocáveis

T - Capacidade de Troca Catiónica a pH 7,0

m = Índice de Saturação por Alumínio

MO (Mat. Orgânica) = C.Org x 1,724 - Walkley-Black

S - Extrator - Fosfato monocalcico em ácido acético

N - N total - Digestão sulfúrica - Destilação Kjeldhal

P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Cd - Pb - Ni - Cr - Extrator Mehlich-1

H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5mol/L - pH 7,0

t - Capacidade de Troca Catiónica Efetiva

V = Índice de Saturação por Bases

ISNa - Índice de Saturação por Sódio

P-rem = Fósforo Remanescente

B - Extrator água quente

OBS.: As amostras são mantidas por 60 dias para contraprova. A amostragem e as informações a respeito das amostras são de responsabilidade do cliente.

Reinaldo Bertola Cantarutti

B4-B7-38-EF-66-66-53-A5-05-7D-75-B5-A0-C6-41-5

Para autenticar o laudo, acesse o site www.silas.ufv.br



Fuente : Proyecto Tierras de Colores

Autores: Danny Salto
Patricia Zhagüi

Anexo 5. DOSIFICACIONES DE PINTURAS CON TRES AGLUTINANTES: COLA BLANCA (CB), MUCÍLAGO DE TUNA (MT) Y COLA ANIMAL (CA)

Muestra	μ_0	Pintura	p_1	p_2	p_3	p_4	Adición (agua ml)	μ_1	Adición (agua ml)	μ_2	$\mu_{ref.}$	Rango viscosidad óptima
P4	15,09	P4-05-CB	186,18	458,18	134,11	6,71	0	13,53	50	11,43	11,34	11-11,5
		P4-15-CB	186,22	500,5	146,5	21,97	0	13,7	50	11,25		
P7	12,12	P7-05-CB	102,89	522,02	171,12	8,56	0	13,77	50	10,99	13,02	12,5-13
		P7-15-CB	102,6	514,77	168,74	25,31	0	12,26	0	0		
P11	15,39	P11-05-CB	103,03	538,28	271,35	13,57	250	13,32	50	12,46	13,57	13-13,5
		P11-15-CB	102,92	532,58	268,47	40,27	350	13,81	50	12,45		

Muestra	μ_0	Pintura	p_1	p_2	p_3	p_4	Adición (agua ml)	μ_1	Adición (agua ml)	μ_2	$\mu_{ref.}$	Rango viscosidad óptima
P4	15,09	P4-25-MT	103,19	538,84	157,72	39,43	0	11,82	50	11,07	11,11	11-11,5
		P4-40-MT	103,02	573,06	167,73	67,09	0	12,1	50	11,14		
P7	12,12	P7-25-MT	102,97	488,93	160,27	40,07	0	11,59	0	0	11,63	11,5-12
		P7-40-MT	101,92	490,23	160,27	64,28	0	11,66	0	0		
P11	15,39	P11-25-MT	102,97	573,43	289,07	72,27	200	13,26	0	0	12,95	13-13,2
		P11-40-MT	101,95	572,94	288,82	115,53	200	13,41	100	12,64		

Muestra	μ_0	Pintura	p_1	p_2	p_3	p_4	Adición (agua ml)	μ_1	Adición (agua ml)	μ_2	$\mu_{ref.}$	Rango viscosidad óptima
P4	15,09	P4-15-CA	102,13	500,16	146,4	43,92	0	17,8	100	11,74	11,55	11,5-11,7
		P4-30-CA	102,84	506	148,11	44,43	0	12,36	50	11,35		
P7	12,12	P7-15-CA	103,01	486,82	159,58	47,87	0	11,65	50	11,08	11,91	11,6-12
		P7-30-CA	101,98	486,1	159,34	47,8	0	12,16	0	0		
P11	15,39	P11-15-CA	102,29	543,18	273,82	82,15	200	13,93	50	13,19	13,54	13-13,5
		P11-30-CA	102,91	637,91	321,4	96,42	200	15,13	50	13,88		

Simbología:

p_1 =Peso del recipiente (g)
 p_2 =Peso de la muestra (g)
 p_3 =Peso sólidos (g)
 p_4 =Peso aglutinante (g)
 μ_0 =Viscosidad del pigmento (s)
 μ_1 =Primera viscosidad de la pintura (s)
 μ_2 =Segunda viscosidad de la pintura (s)
 μ_{ref} =Viscosidad de referencia de la pintura (s), resulta del promedio de las pinturas con mejor desempeño.

 Pinturas que mostraron mejor desempeño a esa viscosidad.

Fuente: Los autores



Anexo 6. CÁLCULO DEL RENDIMIENTO PIGMENTO 4

- Plantear un peso neto.
- Con el peso neto calcular el peso bruto de la muestra.

$$\begin{array}{ll} 500 \text{ g} & 100 \% \text{ sólido} \\ X= & 68,85 \% \text{ sólido}^* \end{array}$$

*Los 68,85% es la diferencia del 100% menos la humedad de la muestra del suelo (31,15%)

- Aplicamos una regla de tres inversas: $x = \frac{500 \text{ g} \cdot 100}{68,85} = 726,2 \text{ g}$
- Adicionar agua para desintegrar y luego tamizar.
- Corregir la viscosidad ya sea añadiendo agua o sólido.
- Pesar el pigmento obtenido.
- Dejar secar una muestra por 12h a $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ y determinar el porcentaje de sólidos.
- Calcular el contenido de sólidos en el pigmento.

Cálculo del contenido de sólidos:

$$\text{contenido de sólidos} = \text{peso de la mezcla} * \% \text{ sólidos}$$

$$\text{contenido de sólidos} = 1165,89 \text{ g} * 0,296 = 345,10\text{g}$$

$$\text{contenido de sólidos} = 345,10\text{g}$$

Cálculo del rendimiento:

Pigmento P4	%
500 (peso neto)	100
345,10(c. sólidos)	X=69,02%

Por lo tanto, el rendimiento con respecto a la mezcla inicial es de 69,02%.

Este proceso se realizó de igual manera para los demás pigmentos.



Anexo 7. DATOS DE ESTACIÓN METEREOLÓGICA

ESTACION UNIVERSIDAD DE CUENCA												
Date	Temperatura			Hum Rel			Punto	Vel	Presion	Precip	Solar	T Rocio
	Med °C	Max °C	Min °C	Med %	Max %	Min %	Rocio °C	Viento m/s	Bar milibar	mm	Rad. W/m²	°C
25/10/2017	16.55	23.3	12.4	71.06	84	44	10.96	1.04	746.94	0.2	227.96	11.79
26/10/2017	15.81	22.6	12.1	72.04	84	47	10.38	0.62	746.33	0	182.41	11.81
27/10/2017										1.2		11.41
28/10/2017										8.8		11.64
29/10/2017										0		10.29
30/10/2017										0		9.00
31/10/2017	15.93	20.5	14.6	62.56	70	42	8.60	0.54	746.45	0.2	14.94	8.43
01/11/2017	15.00	24.7	10.2	72.29	87	42	9.74	0.90	745.68	6.4	206.41	10.51
02/11/2017	14.48	23.4	10.7	75.57	87	44	9.92	0.77	745.25	1	215.43	10.66
03/11/2017	15.61	23.3	10.9	68.44	82	43	9.46	1.38	746.17	0	253.94	10.91
04/11/2017	13.52	23.3	6.6	63.52	85	28	5.88	1.59	744.42	0	244.31	8.01
05/11/2017	14.01	24.7	6.7	58.71	79	22	5.26	1.26	744.83	0	245.56	7.03
06/11/2017	15.61	21.9	11	62.67	75	48	8.31	1.21	746.17	0	195.56	9.02
07/11/2017	16.43	23.8	11.9	61.45	76	41	8.51	1.26	746.83	0	259.17	9.61
08/11/2017	15.52	24.4	8.7	57.67	79	32	6.58	1.37	746.07	0	256.19	8.41
09/11/2017	15.29	24.6	8.7	52.46	76	36	5.00	1.19	745.88	0	235.75	7.15
10/11/2017	16.37	24.6	11.5	55.27	89	37	6.96	1.05	746.78	2.2	249.88	7.87
11/11/2017	15.57	21.9	10.1	67.88	87	48	9.28	1.14	746.14	0.2	187.63	9.83
12/11/2017	17.19	22.7	13.2	60.65	76	43	9.20	1.18	747.45	0	206.79	9.78
13/11/2017	17.42	24.6	13.8	66.44	85	39	10.66	1.39	747.63	1.4	249.40	10.91
14/11/2017	15.47	21.8	13.5	77.25	87	49	11.35	0.52	746.08	8.2	113.96	11.82
15/11/2017	15.72	20.2	12.7	73.71	86	54	10.89	0.72	746.28	0.2	139.73	11.70
16/11/2017	15.29	22.8	9.6	63.69	84	38	8.06	1.37	745.90	0	252.06	9.94
17/11/2017	15.28	22.8	11	60.54	75	36	7.34	1.38	745.90	0	204.65	8.79
18/11/2017	14.11	23.7	6.9	61.71	76	33	6.27	1.25	744.91	0	265.48	7.80
19/11/2017	9.22	14.3	6.8	73.79	80	58	4.72	0.31	740.89	0.2	124.20	8.21
20/11/2017										0		9.28
21/11/2017										0.6		10.08
22/11/2017										0		10.13
23/11/2017										7.2		10.82
24/11/2017										0		10.15
25/11/2017										0		9.93
26/11/2017										0		10.74
27/11/2017	17.79	19.4	15.8	58.86	66	53	9.58	2.08	747.96	0	141.32	10.48
28/11/2017	16.34	19.8	13.3	69.58	84	57	10.63	1.11	746.79	0.2	134.67	10.91
29/11/2017	15.73	18.2	13.9	71.33	82	58	10.45	0.96	746.29	0	97.75	11.01
30/11/2017	15.02	23.3	9.2	73.15	89	44	9.88	0.99	745.68	0	226.02	11.12
01/12/2017	16.34	23.4	13.6	72.96	86	43	11.18	0.99	746.77	2.4	251.40	11.84
02/12/2017	14.95	20.2	12.7	80.35	92	57	11.45	0.68	745.65	13.6	128.63	11.88
03/12/2017	15.95	20	13	74.14	91	53	11.09	0.78	745.65	0	148.26	11.51
04/12/2017	16.21	20.5	12.3	72.10	88	52	10.83	1.19	746.66	1.2	180.83	11.48
05/12/2017	15.89	19.7	12.3	69.71	89	49	10.05	1.32	746.42	0.4	191.98	11.03
06/12/2017	15.38	19.4	9.2	65.10	81	49	8.65	1.40	745.99	0	179.88	9.92
07/12/2017	17.40	22.8	12.7	61.35	82	40	9.47	1.45	747.63	0	249.04	10.01
08/12/2017	16.01	23	11.3	69.38	85	42	10.05	1.16	746.50	0	207.65	10.73

Fuente: PROMAS

Anexo 8. FICHA DE REGISTRO- DIAGNÓSTICO GENERAL DEL ESTADO DE LAS PINTURAS A LOS 45 DÍAS DE EXPOSICIÓN

PARÁMETROS A CONTROLAR							
CÓDIGO	LAVADO	FISURAS	CRAQUELADO	DECOLORACIÓN	ESCAMADO	OBSERVACIONES	
P7-B	50% (superficie visible)	2% en bordes	15%	2% de la inicial	0%	-Textura grumosa por lavado y exceso de pintura.	
P4-B	70% primera capa	5% en bordes	5% en los bordes	50% primera capa por lavado	0%	-Color amarillento. -Textura grumosa -Visible el sentido del pintado.	
P11-B	90%	2% (del 10% restante)	2% (del 10% restante)	10% de la inicial	NC	-Piel de naranja en soporte.	
P4-CB-m1	1%	1%	0%	2% de la inicial	0%	-Piel de naranja	
P4-CB-m2	0%	5%	5%	2% de la inicial	0%	-Muchas burbujas	
P4-CB-m3	0%	0%	0%	2%	0%	-Piel de naranja mitad derecha. -Orificios muy pequeños (40%).	
P7-CB-m1	0%	10% fisuras pequeñas	5% en bordes	2% de la inicial	0%	-Pocos orificios pequeños. -Sentido del pintado visible	
P7-CB-m2	0%	20% fisuras pequeñas	15%	2% de la inicial	0%	-Piel de naranja y pequeños agujeros.	
P7-CB-m3	0%	10%	10% en bordes	2% de la inicial	0%	-Muchas burbujas	

NC: No Controlable

FICHA DE REGISTRO- DIAGNÓSTICO GENERAL DEL ESTADO DE LAS PINTURAS A LOS 45 DÍAS DE EXPOSICIÓN

PARÁMETROS A CONTROLAR							
CÓDIGO	LAVADO	FISURAS	CRAQUELADO	DECOLORACIÓN	ESCAMADO	OBSERVACIONES	
P11-CB-m1	40% superficie visible	15% NC	20% NC	5% de la inicial, tiende a amarillo	10% NC		
P11-CB-m2	20%	NC	NC	5% de la inicial	NC		
P11-CB-m3	0%	NC	NC	5% de la inicial, color tiende a amarillo	80%	-Soporte sin pintura	
P4-CA-m1	0%	5% en bordes	2%	2 de la inicial	0%	-Caída de P11	
P4-CA-m2	0%	50% muy pequeñas en el sentido del pintado.	5% ligeramente en los bordes	20% (color pálido)	0%	-5% pequeñas burbujas. -Piel de naranja	
P4-CA-m3	10%	20%	15%	20%	5% (caída de pintura)	-Piel de naranja y ojo de pez.	

NC: No Controlable

FICHA DE REGISTRO- DIAGNÓSTICO GENERAL DEL ESTADO DE LAS PINTURAS A LOS 45 DÍAS DE EXPOSICIÓN

PARÁMETROS A CONTROLAR							
CÓDIGO	LAVADO	FISURAS	CRAQUELADO	DECOLORACIÓN	ESCAMADO	OBSERVACIONES	
P7-CA-m1	0%	4%	2%	3%	0%	-Sentido del pintado visible.	
P7-CA-m2	0%	5% en bordes	5% en bordes	2% de la inicial	0%	-Caída de pintura (1%)	
P7-CA-m3	0%	70%	60%	80% Color amarillento	3%	-Piel de naranja y ojo de pez	
P11-CA-m1	0%	90%	90%	5% de la inicial	50% caída y levantamiento de pintura		
P11-CA-m2	0%	100%	100%	10%	60% (caída y levantamiento)	-Caída de pintura.	
P11-CA-m3	NC	NC	NC	NC	100%	-Soporte sin pintura (98%)	

NC: No Controlable

FICHA DE REGISTRO- DIAGNÓSTICO GENERAL DEL ESTADO DE LAS PINTURAS A LOS 45 DÍAS DE EXPOSICIÓN

	PARÁMETROS A CONTROLAR						
	CÓDIGO	LAVADO	FISURAS	CRAQUELADO	DECOLORACIÓN	ESCAMADO	OBSERVACIONES
	P4-MT-m1	90% primera capa	0%	2% en los bordes por exceso de pintura	80% (deja ver la superficie del soporte) Color amarillo-rojizo	0%	-Textura grumosa
	P4-MT-m2	50% superficie visible (1ra capa)	20% en sentido del pintado	10% NC	10% color rojizo	0%	-Sentido del pintado visible.
	P4-MT-m3	90% primera capa	2% en bordes	1% en el sentido del pintado	80% deja ver superficie del soporte, color amarillo-rojizo	0%	-Textura grumosa.
	P7-MT-m1	80% superficie visible	NC	NC	5% de la inicial	0% (lavado)	
	P7-MT-m2	30% superficie visible	10% en sentido del pintado	2% en bordes	5% de la inicial	0%	Pequeños orificios.
	P7-MT-m3	30% (superficie visible)	5%	5% en bordes	10% (coloración café)	0%	Burbujas pequeñas

NC: No Controlable

FICHA DE REGISTRO- DIAGNÓSTICO GENERAL DEL ESTADO DE LAS PINTURAS A LOS 45 DÍAS DE EXPOSICIÓN

PARÁMETROS A CONTROLAR							
CÓDIGO	LAVADO	FISURAS	CRAQUELADO	DECOLORACIÓN	ESCAMADO	OBSERVACIONES	
P11-MT-m1	98%	NC	NC	Tendencia a amarillarse	NC	Soporte sin pintura (98%)	
P11-MT-m2	40% (superficie visible).	2%	NC	5% de la inicial	0%		
P11-MT-m3	90% superficie visible	NC	NC	Coloración amarillenta	NC		

NC: No Controlable



Anexo 9. MATRIZ DE EVALUCIÓN DE LAS PINTURAS FRENTE A CONDICIONES DE INTEMPERISMO

CÓDIGO	MATRIZ VALORES CUANTITATIVOS				
	LAVADO	FISURAS	CRAQUELADO	DECOLORACIÓN	ESCAMADO
P7-B	3	1	1	1	1
P4-B	4	1	1	3	1
P11-B	5	1	1	1	5
P4-CB-m1	1	1	1	1	1
P4-CB-m2	1	1	1	1	1
P4-CB-m3	1	1	1	1	1
P7-CB-m1	1	1	1	1	1
P7-CB-m2	1	1	1	1	1
P7-CB-m3	1	1	1	1	1
P11-CB-m1	2	1	1	1	1
P11-CB-m2	1	5	5	1	5
P11-CB-m3	1	5	5	1	4
P4-CA-m1	1	1	1	1	1
P4-CA-m2	1	3	1	1	1
P4-CA-m3	1	1	1	1	1
P7-CA-m1	1	1	1	1	1
P7-CA-m2	1	1	1	1	1
P7-CA-m3	1	4	3	4	1
P11-CA-m1	1	5	5	1	3
P11-CA-m2	1	5	5	1	5
P11-CA-m3	5	5	5	5	5
P4-MT-m1	5	1	1	4	1
P4-MT-m2	3	1	1	1	1
P4-MT-m3	5	1	1	4	1
P7-MT-m1	4	5	5	1	1
P7-MT-m2	2	1	1	1	1
P7-MT-m3	2	1	1	1	1
P11-MT-m1	5	5	5	1	5
P11-MT-m2	2	1	5	1	1
P11-MT-m3	5	5	5	1	5

Escala de valoración	Porcentaje de alteración en la pintura
1	0-20%
2	21-40%
3	41-60%
4	61-80%
5	81-100%

Autores: Danny Salto
Patricia Zhagüi



Anexo 10. MATRIZ DE EVALUACIÓN DE LAS PINTURAS FRENTE A CONDICIONES DE DESEMPEÑO

Código	Resistencia a la abrasión	Resistencia al rayado	Absorción de agua
P4-CB-m1	1	2	3
P4-CB-m2	1	1	2
P4-CB-m3	1	1	3
P7-CB-m1	1	2	3
P7-CB-m2	1	1	3
P7-CB-m3	1	1	3
P4-CA-m1	2	2	2
P4-CA-m2	2	2	3
P4-CA-m3	1	2	3
P7-CA-m1	2	2	3
P7-CA-m2	2	2	3
P7-CA-m3	1	2	3
P11-CA-m1	1	1	3

ABRASIÓN	Escala	Desprendimiento de las capas de pintura	Resistencia
	3	Alto	Baja
	2	Medio	Media
	1	Bajo	Alta
RAYADO	Escala	Grosor de la línea producida en la capa de pintura	Resistencia
	3	Guesa (> 1 mm)	Baja
	2	Media (1 mm)	Media
	1	Fina (< 1 mm)	Alta
ABSORCIÓN	Escala	Capacidad de absorción	
	3	Alta	
	2	Media	
	1	Baja	