



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA
CAMPO DE CONOCIMIENTO: TECNOLOGÍA

La pintura con pigmentos vegetales como herramienta de fortalecimiento del tejido social en un esquema de autoconstrucción asistida.

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRA EN ARQUITECTURA

PRESENTA:
REBECA IVON CRUZ CHANG

Directora de Tesis:
Dra. Nora Ariadna Pérez Castellanos
Coordinación Nacional de Conservación de Patrimonio Cultural- INAH

Comité Tutor:
Mtro. Fernando Macedo Chagolla (FES Aragón)
Dr. Luis Fernando Guerrero Baca (UAM Xochimilco)
Mtro. Sergio Martínez González (FES Aragón)
Dr. Alberto Muciño Vélez (CIAUP, Facultad de Arquitectura UNAM)

Ciudad Nezahualcóyotl, Edo. de México, Noviembre 2017.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNAM- Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, serán exclusivamente para fines educativos e informativos y deberán citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Universidad Nacional Autónoma de México



Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura



Resumen

La presente investigación es resultado del diseño, elaboración y evaluación de una pintura a la que se incorporaron especias (cúrcuma, pimentón y paprika) como pigmentos, para monitorear el cambio cromático. Dicha pintura se utilizó como herramienta para formar parte de una segunda etapa de autoconstrucción de los habitantes de la localidad de San Sebastián Villanueva, del municipio de Acatzingo, Puebla. En la que se retoman los procesos organizacionales fortalecedores del tejido social al pintar una vivienda.

Palabras clave

Pintura, pigmento vegetal, autoconstrucción, vivienda progresiva, tejido social.

Dedicatoria y Agradecimientos

Primeramente, a todos los participantes de la localidad de San Sebastián Villanueva, a los líderes de la comunidad, porque gracias a ustedes esto fue posible.

A mi hermana y mi madre, por creer siempre en mí, porque todo lo que soy es gracias a ella.

A mi tutora, maestra y compañera en esta travesía, Dra. Nora Pérez, gracias por compartir sus conocimientos conmigo, pero sobre todo por creer en este proyecto.

A mi maestra y amiga Mtra. Sofía Chávez, gracias por su apoyo incondicional y por todas las enseñanzas que aplico no solo en la profesión sino en la vida diaria.

A Néstor, por apoyarme siempre e impulsarme a seguir y estar a mi lado para avanzar juntos.

A Vale, por echarme porras siempre en la tesis y ofrecerme su amistad.

A todos mis compañeros de la maestría, por ser parte de esta etapa de mi vida.

Agradecimientos Técnicos

Al Laboratorio de Conservación, Diagnóstico y Caracterización Espectroscópica de Materiales de la Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural-INAH que me apoyó a través del proyecto CONACyT INFRA-225845 y Proyecto INAH 11852.

Al Laboratorio de Cristalofísica y Materiales Naturales del Instituto de Física de la UNAM que me apoyó a través del proyecto CONACyT CB-211/167624.

A CONACyT por la beca de maestría.

Contenido

<i>Dedicatoria y Agradecimientos</i>	7
<i>Agradecimientos Técnicos</i>	7
<i>Introducción</i>	11
<i>Antecedentes</i>	13
<i>Planteamiento del problema</i>	15
<i>Justificación</i>	16
<i>Objetivos</i>	17
<i>Hipótesis</i>	18
1. La vivienda progresiva como instrumento fortalecedor de tejido social.	19
<i>1.1 Factores de cambio de los procesos de los sistemas constructivos en las viviendas autoconstruidas en México en la segunda mitad del siglo XX.</i>	24
<i>1.2 La pérdida de la continuidad de los procesos organizativos en las viviendas progresivas.</i> ...	27
<i>1.3 La pintura como herramienta para la recuperación de los procesos organizativos.</i>	29
2. La percepción del color: La complejidad de la intangibilidad.	30
<i>2.1 El color como fenómeno</i>	31
<i>2.2 El color como reflejo de la evolución de la sociedad y su impacto en el desarrollo económico-cultural.</i>	36
<i>2.3 El espacio del color: Una percepción analítica del fenómeno.</i>	42
<i>Los espacios del color</i>	44
<i>El uso del espacio de color CIE Lab y CIE Lch como sistema de medición del color en pinturas.</i>	50
3. El concepto de pintura con pigmentos vegetales basado en materiales empleados en las técnicas pictóricas.	55
<i>3.1 Los componentes de la pintura: tres enfoques.</i>	56
<i>Cennini y Doerner: La pintura en el arte, material y técnica</i>	56
<i>Bentley y Turner: La química de los materiales de la pintura</i>	61
<i>Carbonell: La industria de la pintura y los procesos tecnificados</i>	64
<i>3.2 Clasificación de las características de la pintura del tema de investigación.</i>	66

3.3 Las técnicas de pintura mesoamericana y el uso de especies vegetales como pigmentos y aditivos: el caso del azul maya.	68
3.4 Las especias, un uso paralelo al culinario.	74
4. Metodología: elaboración de probetas y aplicación en campo.	78
4.1 Propuesta de formulación	80
4.1.1. Materiales a utilizar: Definición y características.	80
Cal	80
Arena	80
Cúrcuma (<i>Curcuma longa</i>)	80
Pimentón (<i>Capsicum annum</i>) y Paprika (<i>Capsicum</i>)	80
Mucílago de Nopal	81
4.1.2 Variables consideradas: Las condiciones climáticas del entorno	82
4.2 Elaboración, aplicación y evaluación previa de la pintura	84
4.2.1 Dimensionamiento y elaboración de la tablilla	85
4.2.2 Elaboración del enlucido fino	90
4.2.3 Sellado de la superficie	98
4.2.4 Elaboración y aplicación de la pintura en la superficie preparada	98
4.2.5 Corrección de la fórmula	102
4.3 Sellado final de la superficie	103
4.4.1 Colorimetría	104
4.4.2 Microscopía óptica	106
4.4.3 Resistencia al rayado	107
4.4.4 Permeabilidad	108
4.4.5 Adhesión de la capa pictórica	109
4.5.6 Rendimiento de la aplicación y costos	111
4.5.7 Trabajo con la comunidad	111
4.5.8 Selección de fórmulas a aplicar en campo	112
4.5 Evaluación de probetas en campo	113
5. Resultados	117
Conclusiones	165
Anexo	167
Fuentes	182
Índice de tablas	189

Introducción

La presente investigación presenta la metodología estructurada para el diseño, elaboración y aplicación de una pintura con pigmentos vegetales para ser utilizada como herramienta de fortalecimiento del tejido social.

La investigación se deriva de la observación durante tres años del ejercicio profesional en actividades de Producción Social de Vivienda bajo un esquema financiero de ahorro-financiamiento-subsidio en el Sur de México, en donde el fenómeno observado fue que los participantes de los programa de Producción Social de Vivienda, además de no darle continuidad a la segunda etapa de construcción de la vivienda, la fortaleza del tejido social disminuía.

De la misma manera, también al aprovechar los recursos materiales y humanos con los que cuenta la población, al conjuntarlos con los recursos tecnológicos provistos por el programa de la maestría, la pintura no solamente contribuye a la sustentabilidad desde el punto de vista ambiental, si no que representa una opción para abordar el desafío la sustentabilidad social. Mediante un proceso de elaboración de la pintura, el cual sea inclusivo y equitativo, y en condiciones en que la población pueda aportar materia prima, represente un ingreso económico para el fortalecimiento de la economía local.

En el primer capítulo se presenta el posicionamiento de la investigación a partir de la concepción de la vivienda, y los tipos de producción para contextualizar las condiciones en las que se realizó la investigación y tener los parámetros de evaluación cualitativa de la metodología.

En el segundo capítulo se hace mención de la concepción del color y la evolución de los estudios para el uso de los modelos de color que formarán parte de las técnicas para evaluar cuantitativamente la metodología desarrollada.

En el tercer capítulo se señala el uso de las especies vegetales utilizadas en el pasado, señalando las especies y las razones por las cuales algunas continúan vigente y otras cayeron en el desuso.

A partir del cuarto capítulo se presenta todo el desarrollo de la metodología desarrollada en laboratorio y en campo, seguido de la discusión de resultados y conclusiones de la investigación.

Antecedentes

La vivienda muestra a través de sus características no solo los procesos constructivos, ni los recursos utilizados. También muestra a la sociedad que la construye y con ella ambas partes se transforman progresivamente por medio de los procesos organizativos cíclicos.

Dentro de los diferentes tipos de construcción en las viviendas, la autoconstrucción asistida de las viviendas progresivas bajo un esquema financiero de ahorro-financiamiento-subsidio, del programa de fomento a la vivienda “Esta es tu casa”, promovido por la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI) a partir del sexenio del 2006-2012, y que tiene como finalidad el “apoyar a personas con bajos ingresos para adquirir una vivienda digna y decorosa con un subsidio para vivienda con recursos del gobierno federal” (CONAVI, 2014), el cual va dirigido a la población no derechohabiente, ni factible de ser sujetas a un crédito hipotecario y que tienen ingresos menores a 5 SMGV¹,

Para poder ser integrante de este programa de vivienda en 2012, el solicitante del subsidio debía cumplir con los siguientes requisitos según CONAVI:

1. Si ganas menos de \$9,474.16, equivalente a 5 veces el salario mínimo
2. Si nunca has recibido un subsidio federal para vivienda.
3. Si cuentas con tu CURP o Matrícula Consular
4. Si NO eres propietario de otra vivienda.
5. Deberás aportar el monto de ahorro previo especificado por la modalidad que sea de tu interés.
6. Deberás contar con un financiamiento autorizado por alguna de las entidades ejecutoras del programa (CONAVI, 2014).

El recurso otorgado, es gestionado por entidades certificadas por la CONAVI (ONG's:² Asociaciones Civiles, Sociedades Civiles, Sociedades Financieras de Objeto Múltiple, Cooperativas y toda aquella figura legal que cuente con recursos materiales, humanos y tecnológicos para realizar las actividades requeridas) para gestionar el subsidio de este programa. Para utilizar los recursos otorgados en llevar a cabo la primera etapa constructiva

¹ Salario Mínimo General Vigente

² Organizaciones No Gubernamentales

de la vivienda³, la cual en esta investigación, se le conoce como aquella dentro de la cual existió todo el procedimiento de gestión de los recursos para obtener el subsidio.

En los últimos tres años, en el ejercicio profesional en los estados de Tabasco⁴, Veracruz⁵ y Puebla⁶, se ha constatado que en la primera etapa de las viviendas autoconstruidas con el esquema financiero ya mencionado, se hace presente la organización de los habitantes de San Sebastián Villanueva, su participación en las reuniones y toma de decisiones de los procesos constructivos que parten de la limpieza del terreno hasta el levantamiento de muros en la que se llega en su mayoría a la obra gris (levantamiento de muros sin aplanados). Estas actividades mencionadas, forman parte de la manifestación del tejido social, el cual se define de la siguiente manera:

“Es todo eso que tenemos en común quienes pertenecemos a una comunidad, es lo que nos une, que nos identifica, nos hace ser lo que somos y sentirnos parte de una misma cultura, de una misma tradición.

Es sinónimo de solidaridad, de protección, de respeto a los derechos y seguridad ante las adversidades. Es saber que podemos contar con nuestros vecinos en caso de una adversidad o saber que podemos compartir nuestra estabilidad ofreciendo un poco de lo que tenemos.

Se refiere a las relaciones significativas que determina formas particulares de ser, producir, interactuar y proyectarse en los ámbitos familiares, comunitarios y laborales.

Podemos decir que el tejido social lo conforma un grupo de personas que se unen para satisfacer necesidades humanas elementales o superiores, como son: alimento, salud, educación seguridad social, cultura, deporte, servicios públicos, transporte y todo lo que represente mejor calidad de vida.” (Habitat para la Humanidad México A.C., 2016)

³ En esta investigación, se le nombra primera etapa, a aquellos procesos constructivos que involucran la limpieza del terreno, trazo y nivelación, excavación, cimentación, estructura y albañilería.

⁴ Experiencia profesional de la Arq. Rebeca Ivon Cruz Chang, en los municipios de Macuspana, Jonuta, Emiliano Zapata y Balancán, en el estado de Tabasco, durante el periodo 2011-2014.

⁵ Experiencia profesional de la Arq. Rebeca Ivon Cruz Chang, en los municipios de Sotepan, Pajapan y Tatahuicapan de Juárez, en el estado de Veracruz, durante el periodo 2011-2014.

⁶ Experiencia profesional de la Arq. Rebeca Ivon Cruz Chang, en el municipio de Zautla, en el estado de Puebla, durante el periodo 2011-2014.

Planteamiento del problema

Una vez concluida la primera etapa del proceso constructivo de la vivienda, los procesos de gestión ya mencionados, pierden continuidad. Esto produce que el tejido social que se consiguió durante la primera etapa del proceso constructivo se abandone gradualmente. Sin embargo, cuando se retoma la segunda etapa de autoconstrucción, la cual incluye en su mayoría, trabajos de aplanados, recubrimientos y pinturas, aunque mediante el uso de otras opciones de financiamiento como son, el uso de un fondo revolvente integrado por aportaciones económicas de los integrantes de las familias participantes del programa de vivienda.

La adquisición de acabados, entre los más comunes se encuentra los aplanados, enlucidos finos, pinturas, recubrimientos cerámicos, carpintería y/o cancelería, representan la inversión de un monto igual o mayor que los utilizados en la etapa de albañilería. En el caso de la pintura, aquellas marcas reconocidas que ofrecen una buena calidad, están fuera del alcance de las familias de bajos ingresos, y cuando se logra acceder a algún tipo de pintura, estas no son de la calidad adecuada.

En el año 2010 la Procuraduría Federal del Consumidor analizó 32 marcas de pinturas, de las cuales, recibieron una evaluación global de *pobre* y agregando en una opinión general “Las de autoservicio no son tan durables” (Consumidor, 2010, pág. 62). Mostrando también que la relación precio-calidad no es proporcional

Justificación

La presente investigación busca representar una opción como herramienta regeneradora del tejido social conseguido en la primera etapa de la autoconstrucción realizado bajo un esquema financiero de ahorro-financiamiento-subsidio, ya que retoma los procesos de mejoramiento y mantenimiento en las viviendas progresivas, en una segunda etapa de autoconstrucción sin la aportación de recursos gubernamentales.

También el proceso de elaboración de los agregados de la pintura como es el mucílago de nopal puede representar una fuente de ingresos no solo para ser utilizado en el proceso de elaboración de la pintura, ya que al elaborarse con una metodología comprobada, este producto es factible de ser utilizado en restauración.

Sin embargo, para que esta pintura pueda ser utilizada con estos fines, se debe desarrollar una metodología que otorgue un rigor científico al desarrollo, aplicación y evaluación de la pintura para poder utilizarse en la comunidad. De esta manera el proceso es factible de repetirse en otras ocasiones, adaptándose a las variables que pueda presentar.

Preguntas de investigación

¿De qué manera se fortalece el tejido social con el uso de la pintura con pigmentos vegetales?

¿Cuál es el comportamiento del color en las pinturas aplicadas en el interior de la vivienda?

¿De qué manera interviene la cal en el proceso de cambio de los pigmentos vegetales en las pinturas?

Objetivos

Objetivo general

- Desarrollar una pintura que por medio de su proceso de elaboración y aplicación fortalezca el tejido social en comunidades de habitantes que autoconstruyen sus viviendas, posterior a un proceso inicial de autoconstrucción bajo un esquema de ahorro-financiamiento-subsidio.

Objetivos particulares

- Utilizar la pintura con pigmentos vegetales como elemento detonador de la organización de los habitantes para la toma de decisiones en las actividades requeridas para la aplicación de la pintura como parte del mejoramiento de sus viviendas.
- Desarrollar una metodología que permita monitorear de manera cualitativa y cuantitativa, las características de elaboración, aplicación, rendimiento y cambio de color de una pintura con pigmentos vegetales.
- Pigmentar una pintura a partir de las especias: Cúrcuma (*Cúrcuma longa*), Pimentón (*Capsicum*) y Papikra (*Capsicum*), para obtener acabados de tonalidades amarillo y rosa.

Hipótesis

Si con el uso de pigmentos vegetales se elaboran pinturas a base de caolín para uso en interiores con mucílago de nopal como sellador. Entonces se obtendrá una pintura factible para ser utilizada como herramienta detonadora para los procesos organizativos de los habitantes de la localidad de San Sebastián Villanueva, integrantes de un grupo de autoconstrucción, y que en el proceso de mejoramiento de sus viviendas autoconstruidas fortalezca el tejido social mediante la toma de decisiones en el proceso de elaboración y aplicación de la pintura.

1. La vivienda progresiva como instrumento fortalecedor de tejido social.

La definición de la vivienda progresiva también contempla a “la vivienda como proceso (...)” (Ortiz, 2012, pág. 30), ya que la vivienda progresiva surge como una solución para los habitantes, cuando se cuentan con recursos limitados, que se adaptan a la dinámica familiar y se desarrolla en varias etapas, para lograr una mayor calidad de vida en un largo plazo.

Según Enrique Ortiz, en la vivienda como proceso:

Responde a la práctica social, a la forma en que la mayor parte de la gente produce su vivienda, de acuerdo con la dinámica de recursos, posibilidades, necesidades y sueños:

Puede partir de soluciones precarias en superficies y acabados pero, si está bien planeada, ofrece mayor calidad de vida en el largo plazo y mayor flexibilidad para adaptarse a la dinámica familiar, a sus posibilidades, necesidades y deseos.

Al concebir la vivienda como proceso permite:

- Atender a más familias
- Lograr producción masiva
- Atender sectores de bajo ingreso
- Estimular la movilización de otros recursos sociales
- Orientar mejor los subsidios y bajar su monto
- Lograr periodos más cortos de recuperación, lo que se adapta mejor a la realidad económica y la dinámica de las familias pobres, atendiendo su necesidad de seguir invirtiendo en la consolidación de la vivienda. (Ortiz, 2012, pág. 29).

La postura de que los procesos que integran a la vivienda progresiva, son factibles de ser utilizados como instrumentos fortalecedores del tejido social, no responde únicamente a resolver un problema de necesidades físicas, constructivas o tecnológicas, sino también psicológicas y sociales, lo cual es proporcional en la medida del grado en que estén involucrados los integrantes en cada proceso. Esta postura parte de la definición de la vivienda progresiva como proceso.

Existen numerosas definiciones para la vivienda, en la que Enrique Ortiz Flores⁷ plantea una clasificación (Ver Figura 1). Partiendo de una visión contrastante de quienes producen vivienda. Ya que al ser un “bien costoso, en razón de la cantidad y diversidad de materiales que insume y del gran esfuerzo humano que implica su producción” (Ortiz, 2012, pág. 21), deriva en una variedad de requerimientos demográficos, tecnológicos, normativos, de políticas públicas y dinámica económica, dependiendo de la población.



Figura 1. La vivienda como. Concepciones contrastantes de a vivienda según los distintos enfoques

De los puntos anteriores, se pueden observar en función de quienes producen vivienda, tres concepciones principales: “como producto, como derecho humano y como proceso”. Dado que como producto que responde a la oferta y demanda del sector inmobiliario, los procesos se enfocan a los recursos financieros en el que sus actores son principalmente desarrolladores inmobiliarios. La vivienda, como derecho humano, al igual que el vestido y sustento, en el que la carencia de alguno de estos como consecuencia de la desigualdad derivada de la

⁷ Arquitecto por la UNAM, Doctor Honoris Causa por la Universidad de Tamaulipas. Fue director de la ONG COPEVI enfocada a asesorar procesos habitacionales populares (1965-1976) responsable de la formulación del primer Programa Nacional de Vivienda, Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, SAHOP (1977-1982); gerente de operación y director del Fondo Nacional de Habitaciones Populares, FONHAPO (1983-1987); secretario general (1988-1998) y presidente internacional (2003-2007) de la Coalición Internacional para el Hábitat, HIC, que agrupa cerca de 350 organizaciones sociales, no gubernamentales y académicas de 110 países. Coordinó el establecimiento de la oficina regional para América Latina de este organismo (2001-2003) donde colabora actualmente en la promoción de la producción social de hábitat y del reconocimiento e impulso del derecho a la ciudad.

dinámica económica del país, vulnera la vida digna y constituye una injusticia social, la cual implica para su solución la intervención del Estado.

La intervención del Estado queda señalada en el artículo 4º constitucional: “Toda familia tiene derecho a disfrutar de una vivienda digna y decorosa. La ley establecerá los instrumentos y apoyos necesarios a fin de alcanzar tal objetivo”. Ya que de acuerdo con el Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales de Naciones Unidas⁸ para satisfacer el derecho a una vivienda adecuada se debe garantizar los siguientes siete puntos:

1. Seguridad jurídica de tenencia.
2. Disponibilidad de servicios, equipamientos e infraestructura.
3. Asequibilidad (gastos viables o soportables).
4. Accesibilidad (no discriminación).
5. Habitabilidad (espacio suficiente, seguridad, privacidad, iluminación y ventilación adecuadas).
6. Lugar adecuado (seguro, ambientalmente sano y accesible a opciones de empleo).
7. Adecuación cultural.

Los puntos anteriores señalan que, el Estado debería ser el proveedor de la vivienda para los habitantes que carezcan de esta. Puesto que esta situación de desigualdad se vio incrementada como resultado del crecimiento exponencial de las ciudades industrializadas⁹ del país al iniciar el siglo XX (García, 2010, pág. 36). De esta manera, el Estado comienza a realizar acciones en materia habitacional en los años cuarenta, mediante la promoción de 53,622 viviendas sociales en alquiler (García, 2010, pág. 38).

Sin embargo, dado que con el paso de los años, la demanda de vivienda incrementó, pero no así, la capacidad del Estado de satisfacer tal demanda. Con esta situación, los desarrolladores inmobiliarios comenzaron a ofrecer vivienda terminada, hecho que transformó el papel del Estado, de *proveedor* a *facilitador* de vivienda, al canalizar subsidios y mecanismos de créditos (Ortiz, 2012, pág. 25).

⁸ Observación general No.4 del Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales de Naciones Unidas, emitida en 1991. Versión electrónica disponible en la página: www.hic-al.org (Sección biblioteca documentos/documentos ONU).

⁹ En la década de 1940, la ciudad de México y Monterrey se encontraban entre las ciudades más grandes del país, para 1950 estas ciudades crecieron 6.1% y 6.2%, respectivamente.

La demanda de vivienda ha sido un factor detonador para las diversas formas de producción de vivienda. La producción de vivienda que se produce como resultado de la oferta y demanda comercial, es la denominada como *interés social*, ya que la Ley Federal de Vivienda definía en ese momento a la vivienda de interés social como aquella que una vez finalizada su construcción, “ (...) no excediera de quince veces el monto del salario mínimo elevado al año (...)” ya que la intención era el precio de la vivienda con el poder adquisitivo de la población (Coulomb, León, Puebla, & Castro, 2009).

La presente investigación, se enfoca en la *producción social*. La cual desde el enfoque que señala a “la vivienda entendida como derecho universal, bien de uso, proceso, producto cultural, bien potencialmente abundante y como acto de habitar, define a la producción social” (Ortiz, 2012, pág. 39). Con esto quedan definidas ambos tipos de producción de vivienda, pero es importante señalar que, no existen formas mixtas de producción de vivienda. Lo que si existen, son modalidades mixtas en la fase de construcción, la cual es definida por quien ejerce el control integral del proceso (Ortiz, 2012, pág. 41), que puede ser el propietario de la vivienda, los familiares del propietario, un constructor o desarrollador inmobiliario.

Según la modalidad de producción de vivienda, esta puede ser *autoproducida* o *producida por terceros*. En la que concierne a esta investigación, abarca la autoproducción, dentro de la cual, puede incluir las siguientes variantes:

- Individual.
- Realizada por grupos u organizaciones sociales sin personalidad jurídica.
- Emergente.
- Comunitaria tradicional.
- Colectiva organizada.

En los conceptos acerca de lo que conlleva la vivienda progresiva, debe tenerse siempre presente la diferencia entre *producción social* y *autoconstrucción*, es que:

La autoconstrucción es la práctica de edificar la vivienda y otros componentes del hábitat por sus propios usuarios y puede realizarse bajo procesos individuales-familiares (autoayuda) o colectivos-solidarios (ayuda mutua). Puede ser la opción constructiva que asume una organización o grupo familiar, pero esta opción solo implica una fase del proceso constructivo y no necesariamente el control integral de mismo. (Ortiz, 2012, pág. 59)

El párrafo anterior señala que la diferencia de *autoconstrucción* con la *autoproducción*, se centra en el lugar que ocupan dentro del control integral del proceso productivo (Ver Figura 2) en sus cinco fases: promoción-integración, planeación, construcción, distribución y uso de la vivienda (Ortiz, 2012, pág. 59).

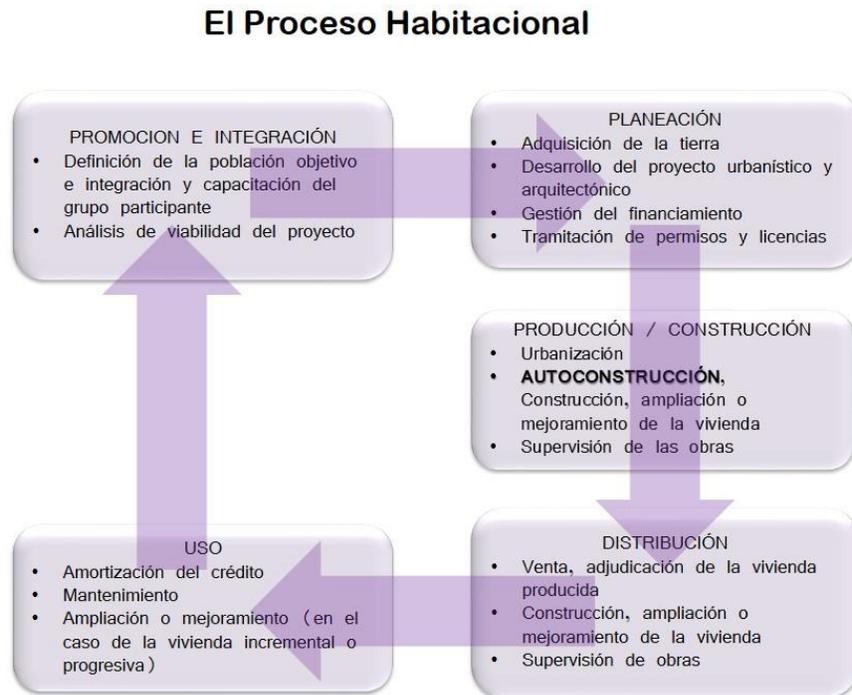


Figura 2. El proceso habitacional. Se observan las cinco etapas del proceso habitacional, comenzando por la promoción e integración.

Es en la etapa de la construcción/producción, en la que la arquitectura se hace presente mediante la asesoría técnica, y que la falta de la asesoría en los procesos de diseño de los espacios habitacionales de estas viviendas, resulta en problemas posteriores de habitabilidad, para lo cual, diversas ONG han integrado a sus programas de producción social de vivienda, la asesoría técnica.

1.1 Factores de cambio de los procesos de los sistemas constructivos en las viviendas autoconstruidas en México en la segunda mitad del siglo XX.

La mayoría de los cambios suscitados en el siglo XX tienen relación con la explosión demográfica del país, al punto de casi septuplicar su población a mediados de siglo (Bazant, 2011, pág. 18). Este incremento poblacional propició una mayor demanda de vivienda, la cual impulsó al sector inmobiliario, quien requería de mano de obra para laborar, lo cual polarizó la migración de habitantes de entornos rurales y semi urbanos a los grandes centros urbanos. Y que a diferencia de los países industrializados, en los que surgió un sector inmobiliario que ofrecía satisfacer las necesidades de vivienda de la clase obrera (García, 2010, pág. 37).

Los trabajadores de la construcción provenientes en un principio, de los estados colindantes de las zonas metropolitanas y que poseían los conocimientos de los sistemas constructivos de sus lugares de origen, como la tierra, madera, piedra, etc., aprendieron nuevas técnicas en las nuevas regiones a las que llegaron “(...) ubicadas principalmente en la frontera norte, algunos capitales regionales y centros turísticos (...)” (Bazant, 2011, pág. 19). Cambiaron cimientos de piedra cuatrapiada por zapatas de concreto armado, muros de madera y tierra por tabiques prefabricados y muros de concreto colado, techumbres vegetales y de madera por losas de concreto. Poco a poco estos sistemas fueron ganando popularidad, impulsados por el volumen de construcción de viviendas demandadas en los centros urbanos.

Mediante el impulso del arrendamiento de vivienda en la década de 1950, como resultado de la presión de la población por la demanda de vivienda, se incrementó la producción de vivienda por parte del estado. De esta manera, la producción de vivienda se incrementó en un 18%, sin embargo la producción estatal representaba el 0.42% (García, 2010, pág. 38).

El fenómeno de urbanización “(...) se concentró principalmente en la Ciudad de México (...)” (García, 2010, pág. 38), comenzaron a abrirse vialidades más grandes para comunicarse con las zonas aledañas y permitir el ingreso de materiales de construcción, y ya

que grandes ciudades requerían de vialidades más grandes, de esta manera “(...) cada obra vial ha provocado cambios urbanos (...)” (Bazant, 2011, pág. 27). Y como todo proceso lineal, nuevas vialidades impulsaban construcciones acotadas a estas, ya sea que se edificaron viviendas o negocios complementarios surgidos para satisfacer la necesidad de la población que en ese momento experimentaba una urbanización exponencial, generalmente sin regulación, puesto que “(...) Los planos de las ciudades siempre rebasados por la realidad en cuanto a sus propuestas de reservas territoriales para crecimiento urbano y de ordenamiento ecológico (...)”. Ante esta situación, comenzaron autoproducirse viviendas, en predios que no contaban con la infraestructura mínima necesaria, pero que sin embargo cumplían con el objetivo de proveer un techo que protegiese a sus habitantes. De aquí del por qué se vincula generalmente a la vivienda autoproducida, con el concepto de vivienda irregular.

La expansión y consolidación de las ciudades es un tema que forma parte de las causas de la problemática estudiada en esta investigación, no es el tema central. Sin embargo, hay que señalar el hecho de que, el proceso de urbanización, planeado o no, “(...) el proceso de expansión y consolidación urbana, es lineal e irreversible; una vez que se inicia no concluye hasta que se satura el territorio (...)” (Bazant, 2011, pág. 33). Ya que todos estos procesos organizativos de autoproducción en las periferias de las ciudades, impulsaban la experimentación en el uso de nuevos sistemas constructivos para los habitantes, una vez que los trabajadores regresaban de sus centros de trabajo, llevaban consigo también, esta nueva concepción de la vivienda y los sistemas constructivos.

Los habitantes de las comunidades, comenzaron a construir poco a poco sus viviendas con esos materiales nuevos, que aunque en un principio solo unos pocos de quienes habían trabajado con estos sistemas, conocían como manipular los materiales y proporciones. Con la introducción de los sistemas constructivos industrializados, en los que se utilizaban principalmente materiales como el concreto armado, los cuales, dotados de un valor cultural que aun en la actualidad, en algunas regiones es utilizado como referente del poder adquisitivo de una familia. Ejemplo claro es que, incluso hasta el día de hoy se puede observar que continúa la tradición de festejar los colados de losas de concreto armado en las viviendas.

Fenómenos sociales como la migración a las grandes ciudades de la república o al país vecino del norte, no solamente han modificado la elección de los sistemas constructivos,

sino también el diseño y distribución de espacios. Este fenómeno migratorio no solo ha impactado socialmente en la estructura familiar, ya que dentro de los procesos de gestión de la producción social de vivienda, la toma de decisiones que en un principio se compartía entre la pareja, en el caso de una familia nuclear, sin embargo esto no asegura que la toma de decisiones sea de una manera equitativa. Ahora recae principalmente en la mujer, quien generalmente ejerce el rol de cabeza de familia, cuyas decisiones son apoyadas por los hijos. Y en el caso de una familia extensiva, las decisiones son tomadas por los integrantes de mayor jerarquía, quienes en su mayoría son las personas mayores de la familia.

En las familias impactadas por el fenómeno migratorio en una comunidad, eran los hombres quienes se dedicaban a las actividades de autoconstrucción con materiales y sistemas propios de la región, y cuyos conocimientos se transmitían en su mayoría de manera oral, la migración modificó estos vínculos, y la autoconstrucción con materiales locales, derivando en la pérdida de conocimientos y habilidades para trabajar los sistemas constructivos regionales, reduciendo la cantidad y calidad de viviendas de este tipo.

Los factores como la globalización de los sistemas constructivos y la dinámica económica de los materiales de construcción, han inclinado la preferencia por sistemas industrializados; que reducen los tiempos de ejecución y movilizan la inversión económica, cuyo requerimiento principal es la mano de obra calificada y la modulación como base del diseño. Caso contrario con los materiales regionales, en los cuales el factor humano y su conocimiento del material, es fundamental para una correcta ejecución de los trabajos, lo cual incrementa los costos de mano de obra, al ser esta especializada.

Todo lo anterior señala que, la pérdida de los conocimientos de construcción tradicionales debido a la falta de mano de obra especializada que transfiera el conocimiento, y la sistematización de los procedimientos constructivos, son una manifestación de la pérdida del tejido social, lo cual ha apuntalado la creciente permeabilidad de los sistemas industrializados en las viviendas autoconstruidas.

1.2 La pérdida de la continuidad de los procesos organizativos en las viviendas progresivas.

Dentro de las concepciones de la vivienda mencionadas al inicio del capítulo uno, se hizo mención de las fases del *proceso habitacional*. Dicho proceso no debe confundirse con el *proceso constructivo*, ya que este se encuentra dentro del *proceso habitacional* (Ver Figura 3).



Figura 3. El proceso habitacional Se observan las cinco etapas del proceso habitacional, comenzando por la promoción e integración.

Dentro de estas etapas, los puntos de control para identificar los inicios y finales de cada etapa, se señalan los siguientes momentos:

- En las fases de control y promoción: se cuenta con la personalidad jurídica de la organización promotora, la tierra, los proyectos, las licencias de construcción y crédito puente.
- En la fase de producción: se terminan y finiquitan las obras.
- En la fase de distribución: se contratan los créditos de largo plazo, individuales o colectivos. Se entrega la vivienda (Ortiz, 2012, pág. 44)

Es importante señalar que la fase de *uso* es fundamental, puesto que es en este punto en donde se le dota a la vivienda de ese valor agregado posterior a la etapa constructiva, ya que

mediante el desarrollo y la convivencia con los demás integrantes de un asentamiento, se fortalecen las actividades comunes. Esto supone el inicio de procesos organizativos que van más allá de la construcción de la vivienda, si no el paso siguiente, que es fortalecer el tejido social existente, que se desarrolló desde la planeación del proceso habitacional.

Desde el punto de vista de las fases del proceso habitacional (promoción-integración, planeación, producción, distribución y uso), el tejido social se desarrolla en la fase de: *planeación, producción y distribución*. Impulsado por ONGs, las cuales asesoran técnicamente a los grupos de vivienda, Enrique Ortiz puntualiza:

La producción social limitada a los aspectos técnicos y financieros, es el caso de algunos productores sociales que, al igual que en la producción mercantil, limitan su interés a las fases de planeación, construcción y distribución, desatendiendo la primera integración y la final de uso (...) Aun tratándose de proyectos impulsados por organizaciones o movimientos sociales reconocidos por su capacidad movilizadora y su compromiso social, este desinterés limita el control efectivo del proceso productivo y es causa de la falta de identidad de las y los participantes del proyecto y de dificultades en cuestiones de convivencia, mantenimiento y gestión comunitaria de su hábitat.

Sin embargo, es importante señalar que, los enfoques, alcances de las acciones¹⁰ y etapas en las que participan las ONG que gestionan la solicitud del subsidio y brindan asesoría técnica y/o financiamiento, están condicionadas por factores como: sus políticas, misión, visión, figura legal, recursos (humanos, económicos y tecnológicos). Por tal motivo, algunas ONG no pueden intervenir por completo en todas las etapas del proceso habitacional.

El factor de que en el proceso habitacional, la participación de las ONG se limita en su mayoría a la construcción de la vivienda, permitiendo que los procesos organizativos no tengan una continuidad. Se pierde la comunicación de los sub grupos formados en las distintas colonias. Puesto que los alcances del programa *Esta es tu casa*, en su mayoría se le da prioridad a la construcción de una mayor cantidad de metros cuadrados (m²), que a los acabados. Esta última etapa de consolidación como la de mantenimiento, corre a cargo de cada integrante del programa. Para el otorgamiento de un segundo financiamiento, ya no existe una organización como en la primera etapa de la autoconstrucción. Es por eso que en

¹⁰ Se conoce como *acción*, a cada uno de los subsidios otorgados por parte de la CONAVI para mejoramiento o autoconstrucción de viviendas en el programa *Esta es tu casa*.

esta investigación desarrolló una pintura, con la cual, se reprodujeran las condiciones de organización que se consiguieron en la primera etapa.

1.3 La pintura como herramienta para la recuperación de los procesos organizativos.

Con el desarrollo de la pintura con pigmentos vegetales bajo un método científico desarrollado en la presente investigación, además de dotarse de rigor científico al diseño metodológico de la pintura con el uso de normas técnicas, y de utilizar la transferencia tecnológica para dotar de un valor social al tener procesos factibles de repetirse en numerosas ocasiones por medio del diseño de la pintura como producto. El contar con la pintura como producto listo para su elaboración refleja la sistematización de los procesos multidisciplinarios. Esto apoya la difusión de proyectos de investigación de carácter científico con fines sociales y que a su vez se reduce la percepción *informalidad* de los distintos procesos sociales inmersos en la *autoproducción* y *autoconstrucción*.

Ya que en este capítulo, se ha definido las características, cualidades y diferencias de los distintos conceptos que rodean a la vivienda progresiva. El cómo se han desarrollado y bajo qué condiciones sociales, económicas e incluso políticas. Así como quienes participan en las distintas modalidades de producción de vivienda y construcción, cualidad que le da nombre y distinción en base a la dinámica de sus recursos.

2. La percepción del color: La complejidad de la intangibilidad.

Hablar de color es hablar del entorno, de cada objeto que lo conforma y de la característica de ellos e intrínsecamente, de algo que nos ayuda identificarlo. Está presente en todo momento y lugar, llegando al hecho de obviarlo al adoptarlo como parte presente de nuestra interacción diaria.

Sin embargo, dentro de esta obviedad, el concepto y significado del color ha evolucionado junto con la sociedad, puesto que ha sido significado de poder en algunas culturas y economías. Pero llega también el punto de la necesidad de controlar la intangibilidad del color mediante la cuantificación, y es aquí donde una variedad de disciplinas se unen para racionalizar y cuantificar aquello que percibimos.

2.1 El color como fenómeno

En la naturaleza, el papel del color es fundamental para el equilibrio de los ecosistemas naturales, como en ciclos de vida como la polinización. Así también numerosos organismos dependen de este para poder llevar a cabo funciones vitales, como la regulación de la temperatura (Reinhard, Khan, Oğuz Akyüz, & Johnson, 2008, pág. 8). Sin embargo, cuando tenemos presente el color en plantas, animales, y todo aquel objeto, sea natural o artificial, surge la pregunta: ¿Qué es el color?

La pregunta anterior tiene numerosas respuestas, dependiendo del enfoque del cual se esté estudiando. Pero para tener una visión más integral, se puede conceptualizar el color como el “fenómeno que se refiere a la física de la luz, la química de la materia, las propiedades geométricas de los objetos, así como la percepción humana y la cognición” (Reinhard, Khan, Oğuz Akyüz, & Johnson, 2008, pág. 3).

Para fines de esta investigación se maneja el concepto de color, en el enunciado de que para que el color pueda *existir*, como fenómeno, necesita de tres circunstancias o elementos: una fuente de iluminación, un objeto que interactúe con la luz procedente de dicha fuente y el ojo humano para observar el efecto resultante. Ya que a falta de alguno de estos, el concepto de color como tal no puede aplicarse desde el punto de vista del fenómeno óptico, se recurre entonces a abordar el fenómeno desde tres disciplinas: la química, la física y la biología.

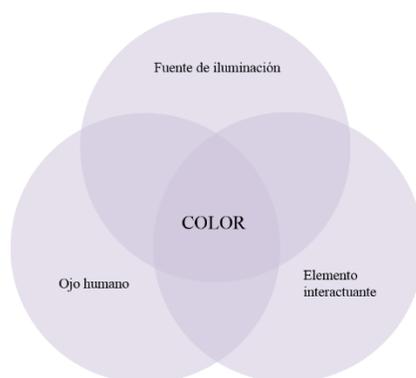


Figura 4. Fenómeno del color. Se señalan los tres componentes necesarios para que se pueda llevar a cabo el color

Uno de los principales textos precursores de las investigaciones acerca del color, fueron las llamadas *teorías sobre la naturaleza de la luz*,¹¹ a través de las cuales, Isaac Newton continuó sus estudios acerca de la refracción de la luz, y es entonces cuando mediante su experimento de la dispersión prismática (Ver Figura 5), llega a la conclusión de que la luz está compuesta por una serie de colores comprendidos en el rango por rojo, naranja, amarillo, verde, azul a violeta. (Orna, 2013, pág. 13)



Figura 5. Prisma de Newton en el cual se puede apreciar el fenómeno de la difracción de la luz

Este experimento sentó las bases para la teorización de los rangos de ondas correspondientes para cada color, los cuales se observan en la siguiente tabla:

Tabla 1. Rango de longitudes de onda para cada color. Longitudes de onda correspondientes para cada uno de los colores.

Rango de longitudes de onda (nm)	Color	Color complementario
400-435	Violeta	Amarillo-verdoso
435-480	Azul	Amarillo
480-490	Azul-verdoso	Naranja
490-500	Verde-azulado	Rojo
500-560	Verde	Morado
560-580	Verde-amarillento	Violeta
580-595	Amarillo	Azul
595-605	Naranja	Azul-verdoso
605-750	Rojo	Verde-azulado

¹¹ Se le conoce con este nombre, al conjunto de teorías planteadas desde la óptica para explicar el fenómeno de la luz, por parte de Robert Hooke (1635-1703), Christiaan Huygens (1629-1695) e Isaac Newton (1643-1727), las cuales se recopilaron en 1704 el libro *Ópticas o un tratado de reflexiones, refracciones, inflexiones y colores de la luz*, en el cual conciben la luz como un flujo de partículas.

Dentro de este rango de ondas, el ojo humano es capaz de distinguir entre cinco y ocho millones de diferentes colores (Orna, 2013, pág. 16). Cada uno de los colores que se distinguen, tienen diferentes características, sin embargo, dependiendo su estructura molecular, será la característica de la superficie del objeto, o del objeto mismo. Esto se entiende como objetos con superficies brillosas, mates, rugosas, etc., o en objetos transparentes o no transparentes.

Las características anteriormente mencionadas, dependen del material de la superficie o del objeto en su totalidad, puesto que cada uno de los materiales posee características químicas, los cuales permiten al objeto ser capaz de absorber y transmitir radiación visible (luz y color). A esto, se han señalado a grupos de estructuras moleculares, conocidos como *cromóforos*¹² (Orna, 2013, pág. 35). Es así como la química nos plantea que los objetos, poseen una estructura molecular que absorbe determinadas longitudes de onda, dependiendo de su composición química.

Todas estas cualidades de los objetos, son captadas por el ojo humano, el tercer factor influyente en el fenómeno del color. El ojo, al permitir el paso de la luz hasta entrar en contacto con las células receptoras llamadas conos y bastones, captan las longitudes de onda correspondientes a los colores rojo, verde y azul. Estos tres colores, son llamados colores aditivos primarios (Orna, 2013, pág. 25) ya que no son mezcla de otros colores.

A la mezcla de luz roja, verde y azul, se le conoce como *síntesis aditiva*, ya que da como resultado la luz blanca, así también a estos colores se les conoce como *colores luz*. Al mezclar luces azules con verde, tenemos amarillo; mezclar luces azules y verdes, tenemos cian; la mezcla de luces rojas y azules nos da magenta (ver Figura 6).

¹² Un cromóforo es la parte de uno o un conjunto de átomos de una molécula responsable del color de los objetos. Estos átomos tienen la característica de que reaccionan absorbiendo la radiación emitida en forma de luz, de tal manera que sus electrones se excitan y reflejan color, dependiendo de la magnitud de onda absorbida.



Figura 6. Esfera modelada en Photoshop CS2 en la cual se puede observar la interacción de la síntesis aditiva y sustractiva de los colores. En la parte superior de la esfera se observa la luz blanca, producto de las tres luces primarias y a los costados los colores de la síntesis sustractiva.

Si estos tres colores en pigmentos: amarillo, magenta y cyan se mezclan, son también conocidos como *colores pigmento*, y con estos tenemos la llamada *síntesis sustractiva* (Orna, 2013, pág. 25), puesto que estos colores que al mezclarse producen negro¹³ (Ver Figura 7).



Figura 7. Síntesis aditiva (sup) y síntesis sustractiva (inf) y su comportamiento en una pintura (centro).

¹³ Teóricamente se dice que la mezcla de estos tres colores resulta en negro, pero en realidad es un café muy oscuro que llega a rozar el color negro.

Esta primera clasificación define en dos grandes grupos el uso del color, esta interacción de colores da pie a los numerosos usos de las síntesis aditiva y sustractiva.

Con todo lo anterior, podemos captar la integralidad del color como fenómeno en sus tres factores. Cuando un objeto absorbe la luz de un color dado, correspondiente a su rango de longitud de onda característico, el que se observa es el color complementario (ver Figura 8) (Bentley & Turner, 1999, pág. 107).

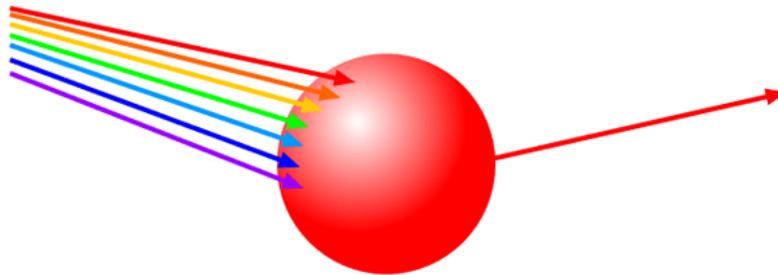


Figura 8. Fenómeno del color, en el que las flechas de colores representan la luz blanca [proveniente del sol] en sus diferentes longitudes de onda las cuales son absorbidas por el cuerpo con el que interactúa [esfera], absorbiendo todas las longitudes de onda menos la del color rojo, la cual es la única visible para el ojo humano

Es con estos conceptos mencionados, que para fines de la presente investigación, se maneja integralmente el fenómeno de color. Y que en el siguiente capítulo se presenta una visión desde otras disciplinas como el arte, la historia y la arquitectura, para comprender su impacto en la humanidad.

2.2 El color como reflejo de la evolución de la sociedad y su impacto en el desarrollo económico-cultural.

Ya que hablar del color, en el arte es hablar de materiales, técnicas y corrientes, abarcar de más de una de las técnicas artísticas en las que el color se hizo presente, es abarcar un universo extenso. En la presente investigación se habla de la pintura. Para esto, se puntualiza en los principales exponentes del arte medieval y otros momentos relevantes de la historia, centrándose en aquellos que dejaron constancia escrita de su quehacer artístico.

Desde la antigüedad, el color ha servido en conjunto con el lenguaje, como un medio de expresión para el ser humano. Ya sea utilizando los materiales directamente de cómo se encuentran en la naturaleza, como pintura corporal o como pintura decorativa en edificaciones, etc. Uno de los ejemplos más representativos del uso de materiales naturales en la antigüedad son las pinturas rupestres de las cuevas de Altamira,¹⁴ en las que se hizo uso principalmente de óxidos de hierro y arcilla (Orna, 2013, pág. 2).

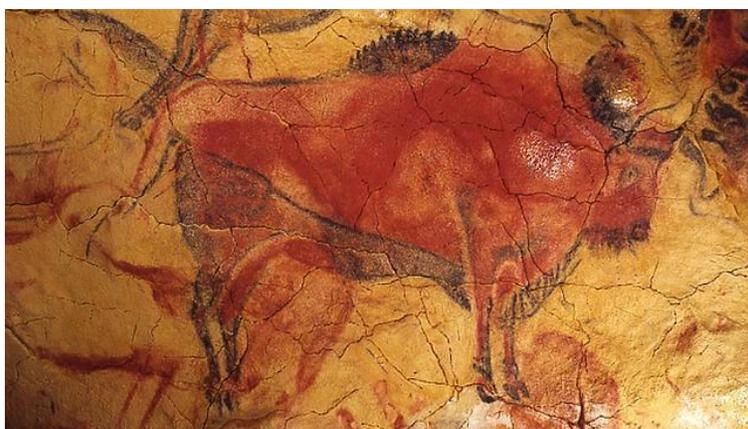


Figura 9. Bisonte, cueva de Altamira, España. Se puede observar el uso de los óxidos ferrosos (los cuales se encuentran generalmente en la tierra) en el cuerpo del bisonte para el color rojo.

Estas evidencias arqueológicas, no dejan duda de la gran capacidad que poseía el hombre paleolítico para manejar los colores que existían en la naturaleza. Estos usos posteriormente,

¹⁴ Localizada al norte de España, es también conocida como la *Capilla Sixtina* del arte rupestre. Puesto que en él se encuentran una gran cantidad de pinturas rupestres en las cuales están representadas las manos del hombre primitivo, sino también de los animales que cazaban. Destacan por la gran capacidad de representación del bisonte, el uso de los colores y su trazo para la dotar de volumen y proporción al bisonte, e incluso la composición del tema de las pinturas.

se incluían también como pintura corporal, reservada principalmente para rituales y actividades propias de la guerra. Una de las principales referencias acerca de los usos en la guerra, son por parte de Julio Cesar, quien remarcó¹⁵ que “(...) todos los británicos se pintan con añil, que crece silvestremente y produce colorante azul. Esto les da una apariencia terrible en batalla.” (Orna, 2013, pág. 47).

Con el paso del tiempo, los materiales naturales se fueron sofisticando, no sólo en su proceso de obtención, si no de elaboración y preservación. Fue así como se le comenzaron a dotar de otros fines al color obtenido, como el cosmético. Esto no limitaba a que las materias colorantes fueran utilizadas posteriormente también en cerámicas y vidrios, principalmente con motivos religiosos. Sin embargo no fue sino hasta el siglo XIV, que la introducción de colores *artificiales* o *alquímicos*¹⁶ fue popularizada por la alquimia.

Las referencias del uso de las materias colorantes en la antigüedad están plasmadas en las obras de arte misma, que ofrecen una visión de los procesos, a partir de los materiales. Es en este aspecto en donde Cennino Cennini es un icono, ya que es *Il libro dell' Arte*, es el documento en el cual, además de una lista de materiales, técnicas y procedimientos, ofrece una cosmovisión de lo que implicaba el color, sus materiales, el artista y el arte mismo en aquella época.

Entre uno de los principales colores impulsados por la alquímica fueron: el *oropimente*¹⁷ y *rejalgar*¹⁸ (Ver Figura 10), principalmente para su uso en la pintura. Sin embargo, uno de sus principales inconvenientes era que tanto su proceso de elaboración como el color mismo eran muy tóxicos, como lo menciona el mismo Cennini, “(...) evita metértelo en la boca, porque es dañino (...) Dicho color es verdaderamente tóxico”. (Cennini, 1988, pág. 77)

¹⁵ Tomado del libro *La Guerra de las Galias (De bello Gallico)*, obra escrita por Julio Cesar en la cual cuenta una serie de incursiones bélicas en Galia (Una parte de Europa que ocupaba los actuales territorios de Francia, Bélgica, Oeste de Suiza y parte de los Países Bajos y Alemania) que duraron nueve años.

¹⁶ También se referían como se hace por *alquimia* o se hace *artificialmente*, lo que hoy en día se conoce como *químicamente*.

¹⁷ Trisulfuro de arsénico amarillo (As_2S_3), conocido por los griegos como *arsenicom* y por los latinos como *auripigmentum*.

¹⁸ Mineral arsénico, de composición bisulfuro de arsénico (As_2S_2), su nombre deriva del árabe *rahj-al-ghar*, que significa polvo de mina. Cennino Cennini en *el libro del arte*, también lo llama *rubí de arsénico*.



Figura 10. Oropimente (en rojo) y realgar (amarillo), se encuentran juntos en las vetas de extracción.

De la paleta de los 18 colores¹⁹ que maneja Cennini (excluyendo el negro), ocho de ellos, correspondiente a tonos amarillos, cuatro tonos rojos, tres tonos verdes, dos tonos azules y únicamente uno morado. Este último *índigo*, también usado desde la antigüedad por los mayas. Una de las principales razones por las cuales estos colores artificiales fueron tan utilizados en su momento, fue porque ofrecían una alternativa a colores que alcanzaban un coste de producción extremadamente alto a comparación con los demás colores naturales.

Muestra de ellos es el famoso *purpura tirano*, el cual se asociaba directamente con la realeza (Ver Figura 11). El *purpura tirano* era obtenido de la secreción de numerosos moluscos *Murex*,²⁰ aproximadamente eran utilizados 10,000 moluscos para producir un gramo de este colorante (Orna, 2013, pág. 65).

¹⁹ Esta paleta estaba conformada por los colores: *Amarillento* (amarillo de Nápoles), *arzica*, *oropimente* (amarillo de arsénico), *azafrán* (amarillo de azafrán), *ocre* (ocre amarillo), *sinopia* (ocre rojo sinopia), *realgar* (rubí de arsénico), *minio*, *laca de tindudiras de paño* (laca de quermes), *amatista* (jaspe rojo), *laca de goma* (goma laca), *sangre de dragón* (resina de *Calamus draco*), *verde cobre* (verdín), *verde azul* (verde malaquita), *tierra verde* (tierra de verona), *azul ultramar* (lapislázuli), *azul de Alemania* (azul de cobre) e *índigo* (Colorante de *Indigofera tinctoria*).

²⁰ Entre las especies que se ocupaban, están el *Murex brandaris*, *Murex trunculus* y *Purpura haemostoma*, los cuales se encontraban principalmente en el Mediterráneo y costas del Atlántico.



Figura 11. Retrato de la emperatriz Teodora (al centro), esposa del emperador bizantino Justiniano. Esta pintura del siglo VI, muestra la capa de la emperatriz de color púrpura.

De aquí que este color fuera uno de los más preciados en la antigüedad y que la estratificación social se representara por los colores de la vestimenta. Sin embargo, es en el siglo XVIII en el que la química reemplaza a la alquimia (Orna, 2013, pág. 50). Pero es hasta el siglo XIX, cuando comienza la llamada *Era de Perkin*,²¹ quien trabajando con fórmulas moleculares, en consecutiva prueba y error, al tratar de sintetizar la quinina²², obtuvo la anilina púrpura (Orna, 2013, pág. 73). Este nuevo producto, representaba una gran ventaja ante sus dos más férreos competidores, el *purpura tirano* de los romanos, el *purpura francés*.²³

Sin embargo, a pesar de que a muy temprana edad, Perkin había impulsado toda una empresa de producción de anilina, la gran demanda de la moda del consumo púrpura impulsado por este nuevo descubrimiento, provocaron problemas de manufactura y ante la creciente demanda de anilinas, buscó la síntesis de nuevos colores, del cual solo consiguió la *alizarina*.²⁴ Comenzaron a aflorar cada vez más, competidores que ofrecían mejores y menos

²¹ William Henry Perkin (Londres 1838-1907), fue un químico británico, pionero en la elaboración de los primeros tintes sintéticos y de su industria química a los dieciocho años.

²² Compuesto extraído de las especies vegetales *Cinchona*, el cual era altamente utilizado en tiempos de Perkin para tratar la malaria en las colonias inglesas de clima tropical.

²³ Este púrpura era un colorante resultado de la acción del macerado de la amonía y aire, con varias especies de líquenes, entre ellos la *Rocella tinctoria*.

²⁴ Compuesto colorante que se utiliza principalmente en la industria cosmética para los tintes de cabello, extraído anteriormente de la raíz de la *Rubia*, da un color rojo brillante.

costosos colorantes (Orna, 2013, pág. 74). El descubrimiento de este colorante fue hecho casi a la par, por químicos de la BASF,²⁵ quienes patentaron la alizarina un día antes que Perkin.

Mediante esta dinámica económica de la oferta y la demanda, muchos industriales y químicos, se aliaron para diseñar modelos de producción para encontrar nuevos colores de anilina. Esto sacó a Perkin del mercado de los colorantes cuando contaba con treinta y seis años. Entre estos nuevos investigadores, se encontraba gente mayoritariamente alemana, los cuales, entre los más destacados fue Adolf Von Baeyer, quien fue el primero en sintetizar el *índigo* (Orna, 2013, pág. 83).

De aquí en adelante, se lograron sintetizar más colores, como los rojos y amarillos. Esto transformó la economía de países como Alemania, Polonia, Francia, etc., puesto que las tendencias de la moda dieron un giro radical al poder utilizar nuevos colores, a su vez reestructurando la estratificación social mediante el poder adquisitivo de la diversidad de colores, tanto en prendas como en productos. Impulsando así la investigación por parte de las empresas, las cuales se comenzaron a convertir a la industria del color en la mayor fuente de ingresos de esta economía:

(...) No todos estos desarrollos fueron inequívocamente positivos. A través de la industria de los colorantes, Alemania se convirtió en una gigante máquina de guerra, manufacturando explosivos, gases venenosos, películas fotográficas, medicamentos, substitutos de productos naturales, y todo un huésped de productos nacidos esta tecnología. La gigante industria también condujo a una contaminación masiva del aire y fuentes de agua; esto condujo a cicatrizar la tierra; por encima de todo, acarreó un incremento de enfermedades crónicas sin precedente, muertes por envenenamiento de metales pesados, defectos de nacimiento y mucho más. Los ríos que corrían rojos con los efluentes industriales, también corrían rojos con sangre. Podríamos decir que los desarrollos en Europa, de la industria colorante del siglo XIX dirigió la maldición de la historia de siglo XX hasta después de la segunda guerra mundial” (Orna, 2013, pág. 91).

²⁵ Siglas de la *Badische Anilin und Soda Fabrik* (Fabrica Badense de Bicarbonato de Sodio y Anilina), fundada en 1865 con el propósito de fabricar tintes. Formó parte de IG Farben durante la segunda guerra mundial, recobrando su independencia en 1951 junto con las otras tres principales empresas, Bayer, Hoechst y Agfa. Actualmente es la empresa química más grande del mundo, superando incluso a DuPont.

Posterior a la segunda guerra mundial, el deseo de reconstruir y borrar los daños de esta etapa de la historia moderna, llevaron a impulsar las nuevas industrias que traían consigo el progreso. Una de estas fue, la pintura, la televisión, los medios impresos como revistas, periódicos, y demás actividades que incluían el color (Ver Figura 12).



Figura 12. Publicidad de la década de 1950-1960, se observa la creciente industria que ofrecía distintos productos de consumo doméstico: maquillaje, alimentos, publicidad, ropa, etc.

Estas industrias crecientes, demandaban grandes cantidades de pinturas, de numerosos tipos y colores. El principal requerimiento que esto representaba era el reproducir los colores con exactitud en repetidas ocasiones y en una amplia gama de tonalidades tanto en producto como disponibles para diferentes dispositivos, tales como imprentas, televisiones, etc. Comienzan a surgir sistemas analíticos para *medir* los colores.

2.3 El espacio del color: Una percepción analítica del fenómeno.

Teniendo el concepto de color definido en esta investigación, y una visión integral de cómo ha formado parte de la historia en la sociedad, al estar inserto en la dinámica de consumo del actual sistema económico. Este fenómeno continúa siendo dependiente de la apreciación e interpretación humana y por tanto es subjetiva.

Ya que la percepción del color es un fenómeno de apreciación, que por su naturaleza puede caer en subjetividades, se necesitan de referentes cuantitativos. Además, artistas, investigadores y también industrias necesitaban tener un estricto control de los atributos del color para fines no solo artísticos, como la reproducción exacta de colores en obras de arte para restauración, sino también entre dispositivos tecnológicos. Este requerimiento se satisface haciendo uso de la colorimetría.

“La colorimetría es la ciencia de la medición descripción del color. Para medir el color, debemos tener en cuenta las propiedades físicas del ambiente, incluyendo el material y fuentes de iluminación” (Reinhard, Khan, Oğuz Akyüz, & Johnson, 2008, pág. 363). Pero, cabe señalar que la colorimetría está basada en la visión humana, ya que su finalidad es describir colores observados.

Derivado de los primeros estudios de Newton, se le dio al color las siguientes características: *matiz, tono y saturación* (ver Figura 13). A partir de entonces, y del círculo cromático de Newton, surgieron otros espacios de color. Sin embargo, cada uno es resultado de las características del sistema aditivo o sustractivo que se esté proponiendo. Cada espacio de color propuesto ha respondido a las necesidades espacio-temporales de las disciplinas que lo han requerido. Sin embargo, muchos modelos colorimétricos representaban gráficamente los colores, a pesar de que aún carecían de un método analítico para la medición con precisión científica.

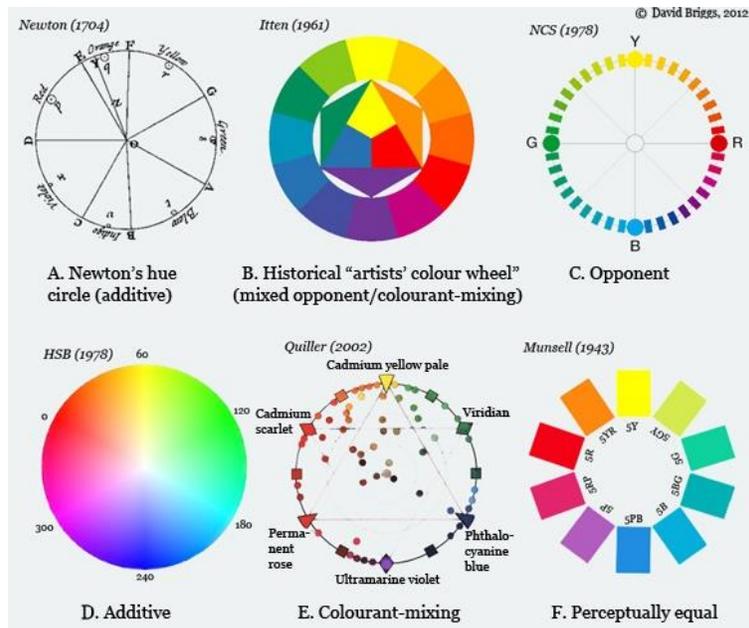


Figura 13. Espacios del color utilizados desde la época de Newton (1704) hasta el 2002. Se observa la evolución de los espacios de color en base a la concepción del color.

Dentro de las definiciones del color, ha sido necesario definir también sus tres principales características: matiz, tono y saturación.

El matiz es “la pureza del color formado por los espectros de color (rojo, naranja, amarillo, verde, cyan, azul y violeta)” (Briggs, 2016).

El tono (luminosidad) es “la escala del color que va del blanco al negro, depende también de su propiedad de reflejar la luz que incide sobre este objeto”. (Briggs, 2016).

La saturación es “la fuerza del color, referente a la saturación del mismo. Entre más saturado esté un color, tiende al gris”. (Briggs, 2016).



Figura 14. Matiz, tono y saturación del color rojo.

Los espacios del color

A pesar de que en base de los estudios de Newton acerca de la luz, desarrolló un círculo cromático que se fue modificando con los años, existen numerosas versiones de dicho círculo cromático. Cuentan con la misma teoría acerca de la mezcla de colores, sin embargo de la misma manera también comparten el inconveniente de que su uso es limitado a señalar la correspondencia de los colores, ya sean opuestos o adyacentes, haciendo falta el hecho de poder tener una medida (ver Figura 15).

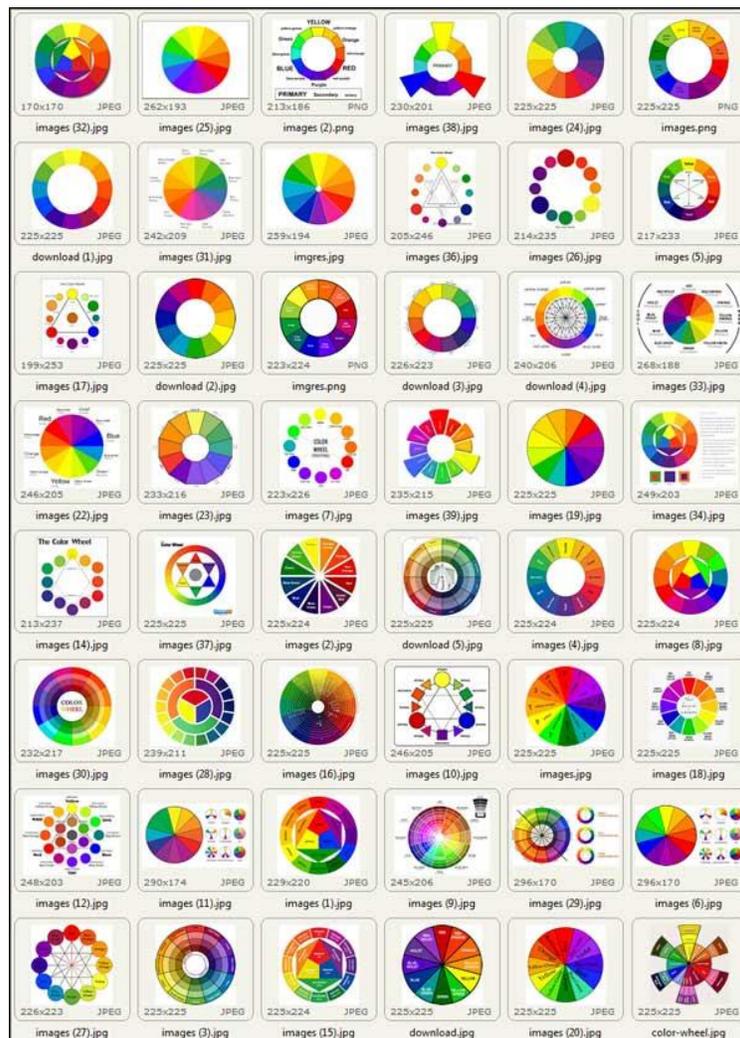


Figura 15. 48 diferentes círculos cromáticos, en los que a pesar de que sus formas difieren, utilizan el mismo principio en la distribución de colores primarios y la obtención de colores secundarios.

Cada una de estas características del color (matiz, tono y saturación), aunque ya desde la época de Aristóteles hasta la de Newton, se tenían contempladas. En 1905, Albert Munsell publicó su libro titulado: *Una notación del color*, basándose en los componentes del color (matiz, tono y saturación). En esta obra desarrolla una serie de fichas de color con las variaciones de estos tres componentes (Ver Figura 16), lo que convierte a este libro en un pequeño *atlas*, innovador para la época, y ya que utiliza el principio del espacio de color $L^*c^*h^*$, hasta la fecha las tablas Munsell siguen vigentes.

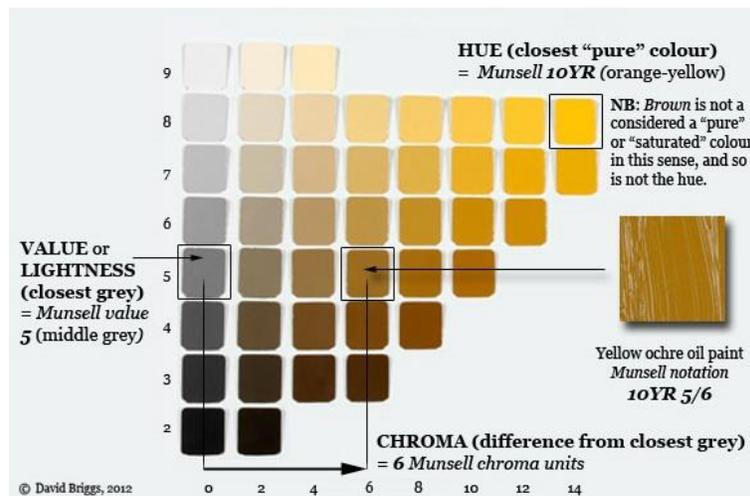


Figura 16. Tabla Munsell, en ella se observa la ubicación de un color primero ubicando su matiz (hue), seguido de su tono (value o lightness) que va del blanco al negro, y al último la saturación (chroma)

Actualmente, el libro de Munsell cuenta con 40 tablas. Sin embargo, a pesar de que esto representó un gran avance en la sistematización de la cuantificación del color, carece de las características necesarias para cuantificar con exactitud aquellas variaciones que se encuentran fuera de los alcances de la tabla.

Desde la época de Munsell, los acercamientos de la colorimetría se basaron en los fundamentos generalizados, en los que los parámetros utilizados debían ser *tricromáticos*, como es el caso del ojo humano. Este principio es continuamente utilizado mediante dispositivos como las televisiones, pantallas y monitores que utilizan solo tres colores primarios, los cuales rigen sus valores mediante mezclas derivadas de reglas del álgebra (típicamente rojo, verde y azul) (Reinhard, Khan, Oğuz Akyüz, & Johnson, 2008, pág. 364).

Uno de los modelos algebraicos pioneros del siglo XIX, fueron las llamadas Leyes de Grassmann.²⁶ De esto, resultaron ensayos en los cuales se determinaron algebraicamente los valores de las luces RGB, a partir de la luz blanca. Grassmann planteó la primera *ley de la simetría*, que enuncia:

Si tenemos cuatro estímulos de color, A, B, C y D, y si dos de los colores coinciden como verdaderos. A coincide con B y C coincide con D, A-C coincide con B+D, por consiguiente A+D coincide con B-C (Reinhard, Khan, Oğuz Akyüz, & Johnson, 2008, pág. 365) (Ver Figura 17).

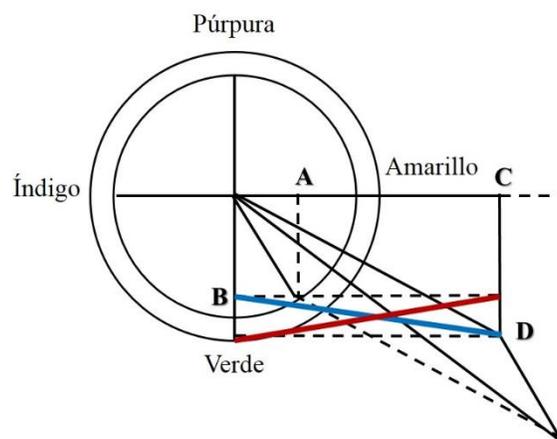


Figura 17. Ley de la simetría de Grassman en donde coincide la línea A-C y B+D.

Con esta premisa, sentó las bases para un marco de desarrollo de una metodología de medición y reproducción del color. Sin embargo cabe destacar que Grassmann no desarrolló un método como tal. Fue en 1931 que la CIE²⁷ estandarizó el diseño para diagnosticar la coincidencia de color a través de distintos experimentos, dando como resultado el espacio de color CIE Lab 1931 (Ver Figura 18). Con esto podemos definir que el espacio de color “es una respuesta de un sistema visual a una distribución espectral (de luz), así como unas dimensiones psicofísica basada en propiedades físicas cuantificables, relacionadas con una dimensión psicológica de un observador estándar” (Briggs, 2016).

²⁶ Hermann Günther Grassmann, fue un polímata alemán (1809-1877) que desarrolló una serie de leyes basadas en el álgebra para racionalizar el fenómeno del color mediante el estímulo tricromático.

²⁷ Comisión Internationale d'Éclairage, es la comisión internacional de la iluminación, se dedica a la cooperación mundial y el intercambio de información en todo lo relativo a las ciencias, arte de la luz e iluminación, color y visión, fotobiología y tecnología de la imagen.

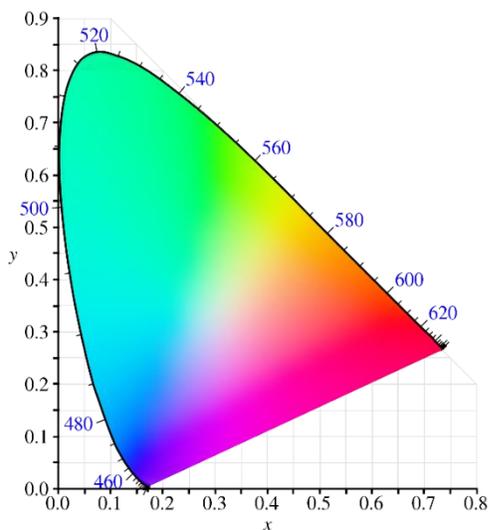


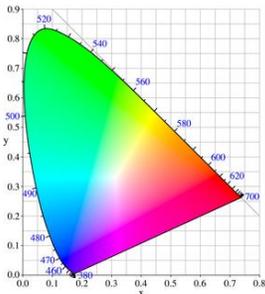
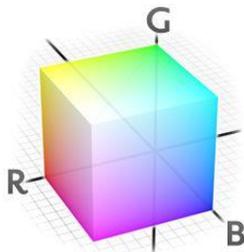
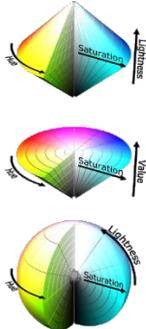
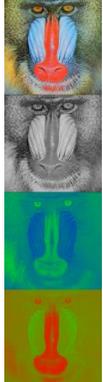
Figura 18. Espacio de color CIE Lab 1931, se desprende del planteamiento de la percepción triestímulo (RGB) del ojo humano para obtener la visión de los demás colores.

A partir del espacio de color CIE Lab 1931, derivaron más modelos de espacio de color, basándose en modificaciones realizadas a las coordenadas. Los espacios de color interactúan entre sí, dependiendo del tipo de dispositivo y el espacio de color que se esté utilizando.

Como el caso que para poder imprimir una imagen tomada desde una cámara fotográfica, el espacio de color utilizado por la cámara fotográfica, debe transformarse para ser interpretado por el sistema de la computadora y reflejado en la pantalla, el cual a su vez vuelve a transformar las coordenadas de color para mandar esa información a la impresora y que esta distribuya la tinta en la cantidad necesaria de tal manera que reproduzca los colores de la imagen de la cámara.

Es importante señalar que, en la presente investigación que solo se hicieron uso de los modelos de color CIE Lab y CIE Lch, de los cuatro grandes bloques que existen. Así, los modelos de color se pueden clasificar según la siguiente tabla:

Tabla 2. Clasificación de modelos de espacio del color. Cada conjunto de modelos de color corresponde a una clasificación, y a una representación gráfica genérica para ese grupo. Dentro del grupo de modelos CIE, se observa el modelo CIE Lab y CIE Lch utilizados en esta investigación.

Tipo de modelo y principales usos y características.	Modelos	Representación gráfica del modelo de color
<p>Modelo CIE: Considerados como los modelos científicos aceptados científicamente para la medición de los colores.</p>	<p>CIE XYZ o CIE 1931 CIE 1948 o Hunter CIE UCS CIE UVW CIE L*u*v CIE L*a*b* CIE L*c*h*</p>	
<p>Modelos de colores primarios (RGB): Están basados en los colores primarios.</p>	<p>sRgb Adobe RGB RGB</p>	
<p>Modelos HSV/HSL de propiedades del color: Son sistemas derivados del RGB, se utilizan principalmente en monitores y proyectores. También conocido como el sistema Munsell</p>	<p>HSV HSL</p>	
<p>Modelo de video compuesto (luma y cromancia): Derivado del desarrollo de la televisión a color, se aplica a televisores y dispositivos de video.</p>	<p>YIQ, YUV, YdbDr, YPbPr, YCbCr y XvColor</p>	

La tabla anterior muestra los diversos espacios de color que se usan actualmente para representar con exactitud los colores, dependiendo del dispositivo que se utilice. Cabe señalar que, para que pueda existir la continuidad de la colorimetría entre dispositivos, se hace uso de fórmulas matemáticas que por la naturaleza de la investigación, no se explican en este documento, ya que existen bibliografías específicas para dicho tema.

Los cálculos de conversión entre sistemas de color, también son factibles de ser prescindidos, al encontrarse disponibles actualmente aplicaciones como *ColorGrab*, con las cual se manejan diferentes espacios de color en la toma de muestras, cuando no se cuenta con un equipo colorimétrico especializado.

El uso del espacio de color CIE Lab y CIE Lch como sistema de medición del color en pinturas.

Como ya se encuentra señalado en la Tabla 2, cada uno de los modelos de color propuestos responde a un dispositivo y necesidad de cuantificar el color. En el caso de la presente investigación, se hizo uso del modelo CIE Lab y CIE Lch.

El espacio de color CIE Lab es considerado como el lenguaje universal para describir con exactitud los colores. Mediante un sistema de coordenadas, en el que la teoría de que los atributos de color de un objeto están compuestos por matiz (color), luminosidad (brillo) y saturación (vividez). Utilizando el enunciado en que, la experiencia sensitiva del color está compuesta por “pares adyacentes de cuatro colores primarios o únicos psicológicos, rojo, amarillo, verde y azul; y no combinaciones de amarillo y azul o rojo y verde” (MINOLTA, 2016). Al separar los colores amarillo/azul y verde/rojo, se obtienen dos coordenadas cartesianas, las cuales en conjunto con la luminosidad, es factible de escalar para medir con exactitud las coordenadas de un color en tres dimensiones.

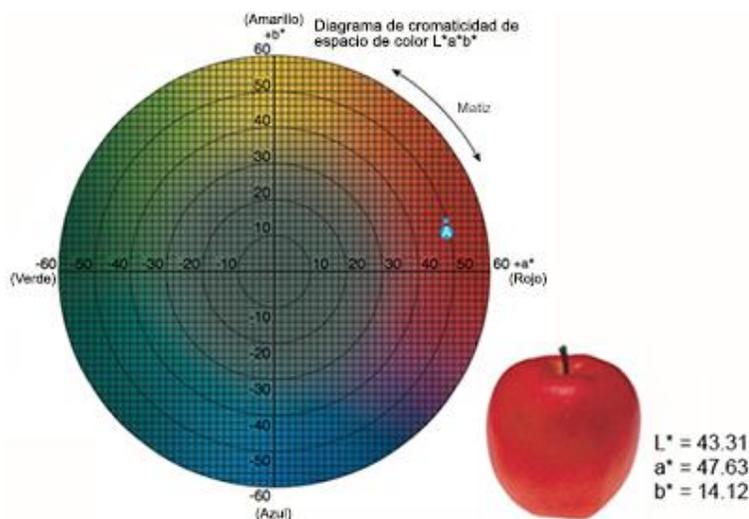


Figura 19. Diagrama de cromaticidad del espacio de color $L^*a^*b^*$ en donde se muestran los ejes a (verde y rojo) y b (amarillo y azul) a manera de plano cartesiano, con valores que van desde -60 a +60 para determinar el color de la manzana.

En la figura anterior, se muestra gráficamente la dinámica de las coordenadas del color en el espacio CIE Lab, sin embargo este método analítico puede expresar mediante números, la ubicación de los colores en base a las coordenadas a^* y b^* :

a^* = coordenadas rojo-verde ($+a$ indican una tendencia al rojo, $-a$ indica una tendencia al verde)

b^* = coordenadas amarillo-azul ($+b$ indica tendencia al amarillo, $-b$ indica tendencia al azul).

La luminosidad indica que tal *claro* u *oscuro* es un color, y sus valores van del 0 (negro o completa ausencia de luz) al 100 (blanco). De esta manera, se puede expresar tridimensionalmente la *ubicación* de un color (ver Figura 20).

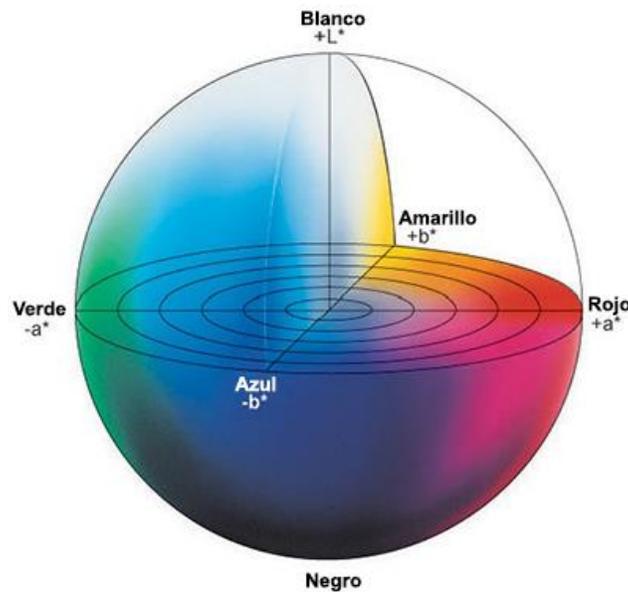


Figura 20. Representación tridimensional del espacio del color CIE Lab, en el cual se aprecian las coordenadas $L^*a^*b^*$.

Teniendo una localización exacta de los colores, se puede comparar las coordenadas de dos colores para cuantificar sus diferencias desde los tres atributos anteriores mediante la geometría. Estas diferencias se conocen con el nombre de Delta (Δ) y la diferencia total de color (ΔE) se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\Delta E = \sqrt{(L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2}$$

Ecuación 1. Ecuación de a diferencia del color, en la cual se observa que es el resultado de la raíz cuadrada de la suma de las diferencias de los valores de luminosidad (L) y coordenadas a* y b*.

Con la expresión anterior se obtiene la diferencia total de color, sin embargo, con los resultados parciales de cada una de las diferencias de las coordenadas *a* y *b*, podemos saber si un color al degradarse tiene a *amarillearse*, o a *enrojecer*, etc., dependiendo del número resultante.

Esta fórmula es fundamental para la identificación de variaciones de color en casos donde los rangos de diferencia de color (ΔE) son muy pequeños, y que el ojo humano no puede identificar a simple vista, ya que posee limitantes, con los rangos indicados en a siguiente tabla.

Tabla 3. Rangos de percepción de diferencias de color para el ojo humano. La tabla muestra a partir de que rango, la diferencia de color es perceptible para el ojo humano.

Valor de ΔE	Percepción de la diferencia de color al ojo humano
<1	No perceptible
1-2	Perceptible mediante observación atenta
3-10	Perceptible
>11	Muy perceptible a simple vista

Todas estas herramientas analíticas que posee el espacio de color CIELab, también son aplicables al espacio de color CIELch cuando se requiere de analizar los tres atributos principales del color: tono, matiz y saturación.

Esto se obtiene mediante una conversión geométrica en la que se calculan coordenadas cartesianas a radiales, ya que el espacio CIELab es un espacio *ortogonal* y el CIELch es *cilíndrico* (Ver Figura 21).

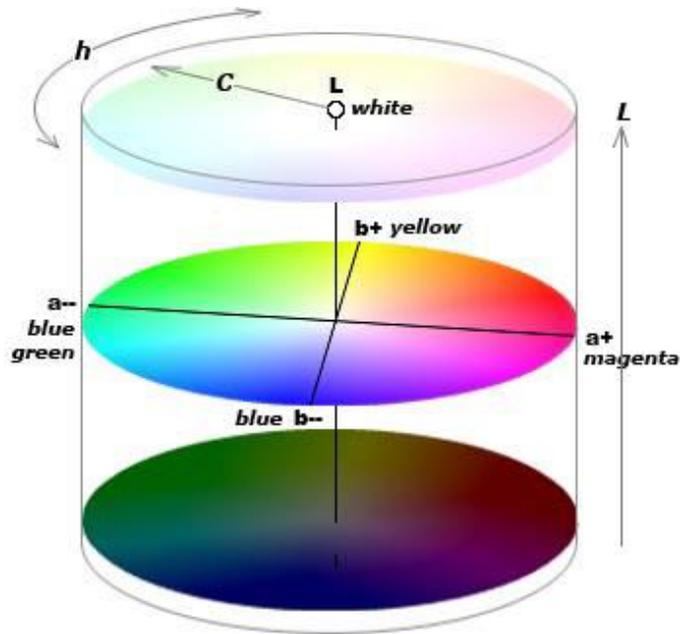


Figura 21. Espacio de color en donde se encuentran las coordenadas $L^*a^*b^*$ y $L^*c^*h^*$, se puede observar que ambos espacios de color poseen tres coordenadas, en los cuales coinciden con tener la coordenada L^* (luminosidad) pero difieren en el tipo de medición ya que una es ortogonal (a^* y b^*) y la otra polar (c^* y h^*).

En la figura anterior, se observa que a diferencia del espacio CIELab, que se rige por coordenadas opuestas de colores, el espacio CIELch, la tendencia de los colores se rige por los grados ($^\circ$) en los cuales: el 0° corresponde al rojo, 90° al amarillo, 180° al verde y 270° al azul.

Para la conversión de CIELab a CIELch, se tiene como elemento común la luminosidad (L^*), sin embargo las coordenadas a^* y b^* se transforman en c^* y h^* mediante las siguientes fórmulas:

$$c^* = (a^2 + b^2)^{1/2}$$

$$h^* = \tan^{-1}(b/a)$$

Ecuación 2. Ecuaciones de conversión de coordenadas a^* a c^* y de b^* a h^* .²⁸

²⁸ En los cálculos realizados en esta investigación, se utilizaron estas fórmulas en Excel, en donde fue necesaria la conversión de estos resultados dados en radianes a grados.

Con estas herramientas, en análisis de color en los objetos se realiza con exactitud, además de poder señalar los comportamientos y señalar de qué manera sus atributos cambian.

Para la presente investigación, el uso de ambos espacios de color es fundamental, puesto que el cambio del color en la pintura señala la importancia de los materiales en cada una de las propuestas. Así también se dota de rigor científico a la metodología utilizada, al poder cuantificar analíticamente sus características.

Los datos resultantes de estos espacios de color, en conjunto con las demás pruebas realizadas, son las bases para las conclusiones obtenidas en el presente trabajo acerca de la incidencia de los tipos de materiales y sus proporciones, para la propuesta de una pintura viable.

3. El concepto de pintura con pigmentos vegetales basado en materiales empleados en las técnicas pictóricas.

A lo largo del uso y elaboración histórica de las pinturas, se definieron conceptos en base a los materiales, herramientas y técnicas utilizadas. En este capítulo se definen los conceptos que forman parte de la terminología utilizada en esta investigación, partiendo de las posturas desde tres diferentes disciplinas y sus autores.

3.1 Los componentes de la pintura: tres enfoques.

Cennini y Doerner: La pintura en el arte, material y técnica

Dentro de la visión artística, a pesar de que Cennini y Doerner desarrollaron sus respectivos trabajos en tiempo y lugares diferentes,²⁹ coinciden en la importancia del conocimiento de los materiales para su correcta manipulación, la transmisión del conocimiento desde el lugar del maestro, pero sobre todo, del apoyo de la ciencia a la disciplina de la pintura.

Para Cennini, la jerarquía de la ciencia estaba por arriba del arte de la pintura, al mencionar que “(...) entre las ciencias aplicadas esta la pintura, (...) por eso debe ir en segundo lugar con respecto a la ciencia, pero tienen la misma dignidad que la poesía” (Cennini, 1988, pág. 8). Esta postura acerca del quehacer artístico de finales del siglo XIV, coincide con la opinión de Doerner en el siglo XX, cuando hace mención que “los problemas de la técnica [de la pintura] sólo pueden ser resueltos por la colaboración de la ciencia con la práctica” (Doerner, 2001, pág. IX), pero dejando bien en claro que “...el pintor no puede ser un químico en colores” (Doerner, 2001, pág. IX).

Con lo anterior se deja en claro que, quien es el *artista*,³⁰ debe de poseer los conocimientos básicos de las propiedades, ventajas y limitantes de los materiales con los que trabaja, pero que no debe adentrarse en disciplinas científicas ajenas a su formación principal, ya que la falta de estos conocimientos específicos, lejos de ayudar, tendrían un efecto adverso.

El tema del dibujo en la pintura, ambos autores los manejan por separado. Cennini concibe al dibujo como un *complemento* del proceso previo a pintar (Cennini, 1988, pág. 16), y Doerner omite todo este tema en su obra,³¹ para dedicarse a profundizar en los

²⁹ Cennino di Andrea, mejor conocido como Cennino Cennini (1370-1440?) desarrolló su trabajo en Italia y Max Doerner (1870-1939) desarrolló su trabajo en Alemania.

³⁰ Tanto Cennini como Doerner se refieren en sus obras al *artista*, como aquella persona que se dedica a la creación de obras pictóricas. Para Cennini el artista es aquel que no solo domina la pintura si no otras técnicas de expresión y reproducción gráfica tales como la escultura, el grabado, etc. Para Doerner el artista es todo aquel que utilice una técnica para pintar o restaurar una superficie, dependiendo de la técnica empleada.

³¹ Su obra principal es *Los materiales de pintura y su empleo en el arte* (Alemania, 1921), conocida por contener descripciones de materiales, métodos, técnicas, y por ser una gran contribución por parte del fundador de la moderna técnica de la pintura.

métodos, materiales y técnicas de los procesos pictóricos clásicos (Doener, 2001, pág. 1). A pesar de que Cennini no define el concepto ni utiliza estrictamente el término *pintura*, si no *color*, Doerner si posee una definición:

Se llaman *pinturas* a los materiales, de líquidos a pastosos, que pueden secarse física y/o químicamente y también a las mezclas que pueden aplicarse con el pincel (o la brocha) o con otros útiles sobre superficies sobre las cuales quedan extendidas (Doener, 2001, pág. 6).

De lo anterior se considera entonces, que los aceites y resinas también son pinturas, sin embargo aquellas pinturas artísticas que contienen pigmentos son llamadas *colores* (Ver Figura 22).



Figura 22. Clasificación de las pinturas artísticas según Doerner en el que se señalan aquellas pinturas que no contienen pigmento (izq) las que tienen pigmento (centro) y los colorantes para las pinturas con pigmento (der).

Dichos *colores* se conocen también como técnicas, pero con una regla de composición definida que dice “todos los colores para pintar están compuestos por diluyentes y pigmentos” (Doener, 2001, pág. 6). Esto da pie a la clasificación de la siguiente tabla:

Tabla 4. Técnicas del color según Doerner. Disolvente/Diluyente propio de cada color, el cual puede ser el mismo o distinto que el aglutinante dependiendo del tipo de técnica

Técnica	Disolvente/ Diluyente	Aglutinante
Colores al óleo		Aceites secantes ³²
Colores sintéticos de dispersión		Agua
Colores al temple		Emulsión de huevo y caseína
Colores a la cola, guache (aguada)	Colas naturales o sintéticas	
Colores de acuarela	Agua	Goma arábiga, el tragacanto, azúcar y pegamentos análogos solubles en el agua
Colores a la cal	Agua	Cal blanca
Colores al pastel		Técnicamente no utiliza, ya que la adhesión entre pigmento y el fondo es mediante adherencia. El tragacanto o mucílago de avena sirve únicamente para dar al pigmento forma de barrita

A pesar de que existen similitudes en los enfoques de índole pedagógico acerca de la enseñanza del arte de pintar, se vieron en la necesidad de sistematizar sus conocimientos, lo que Cennini nos presenta con su obra, el “(...) primer ejemplo de obra tecnológica renacentista” (Cennini, 1988, pág. 30) la cual sienta las bases para posteriores textos y tratados acerca de la pintura, lo cual Doerner desde su perspectiva en siglos posteriores, retroalimenta a través de su obra, ya que posee una clara clasificación de los materiales y herramientas, con una gama más extensa de pigmentos y resinas sintéticas, producto de la investigación química a lo largo del tiempo.

³² Aceite de linaza, de nuez, de adormidera, linolico

Mientras Cennini se enfoca en describir los pigmentos de los *colores*, Doerner ya propone toda una clasificación no solamente de los pigmentos mismos, sino de otras materias colorantes que se han utilizado en la antigüedad, así también hace énfasis en esta diferenciación (Ver Figura 23).

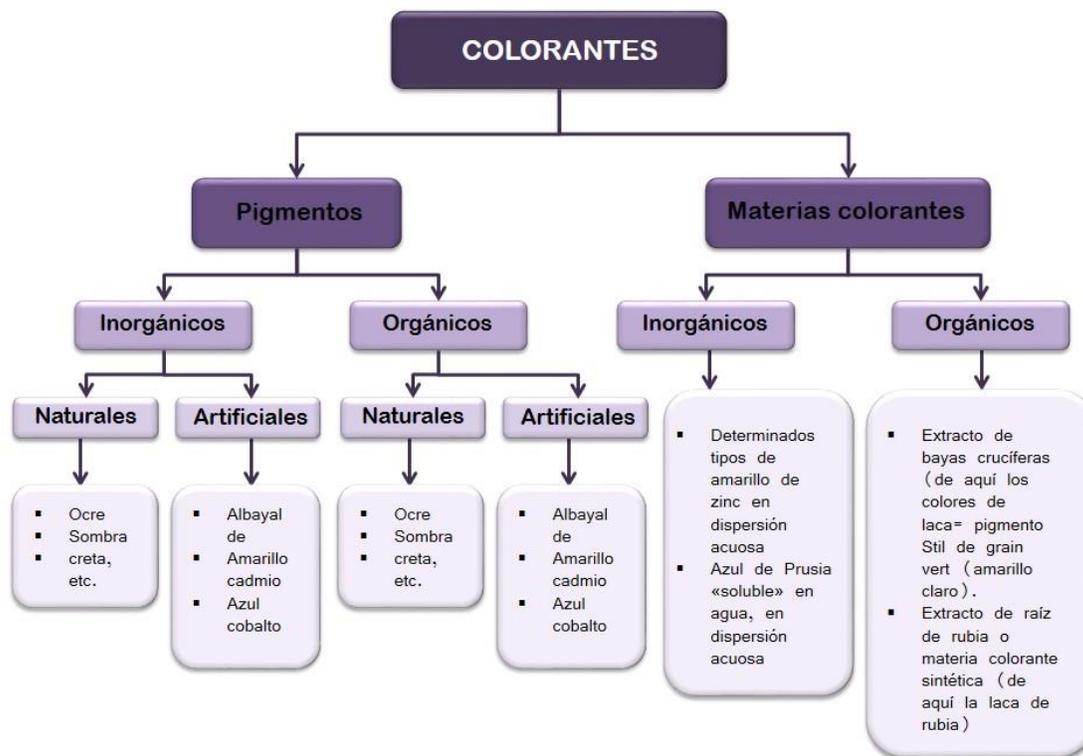


Figura 23. Clasificación de materias colorantes en los cuales se incluyen tanto pigmentos como materias colorantes, dependiendo de la naturaleza de su origen.

Dentro de esta clasificación, las definiciones para las principales materias colorantes son las siguientes:

- Pigmentos: Reciben el nombre de pigmentos las sustancias prácticamente insolubles en disolventes y aglutinantes; pueden ser inorgánicos y orgánicos, coloreados o incoloros.
- Materias colorantes: Se llaman materias colorantes los colorantes (sic) que son solubles en los actuales disolventes y aglutinantes. Las materias colorantes se emplean por ejemplo en la industria textil.
- Colores de laca: Son pigmentos producidos mediante una reacción de una materia colorante y un medio precipitante; pueden producirse también mediante fijación de materiales colorantes solubles sobre un substrato.

- Material de relleno: Las mezclas³³ con materiales insolubles y pulverulentos que se utilizan para “estirar” (aumentar su volumen) y abaratar los pigmentos.
- Substratos: Por el contrario, son materiales insolubles, pulverulentos,³⁴ que forman parte de la constitución de los colores a la laca. (Doener, 2001, pág. 7)

Con la clasificación anterior, Doerner confirma lo que Cennini propone en su obra, en la cual los pigmentos puros son aquellos que no se disuelven, si no que se extienden en una superficie por medio de otro material. Sin embargo, dentro de los desarrollos conseguidos entre la época del siglo XVII-XXI en cuestión de pigmentos, surgieron muchos que por su naturaleza química eran muy tóxicos en su elaboración y aplicación, tales como los blancos de plomo.

Entre los pigmentos y materias colorantes naturales, por su gran coste económico, gran tiempo de elaboración y vulnerabilidades antes agentes de deterioro tales como la exposición a la luz, ácidos, humedad, álcalis, etc., fueron reemplazados progresivamente por pigmentos sintéticos. A causa de la toxicidad, se buscaron nuevas alternativas y reemplazos para los pigmentos sintéticos, los cuales progresivamente mejoraron las propiedades de las pinturas, disminuyendo la peligrosidad de su uso.

³³ Por *mezcla* se entiende la utilización de cuerpos de relleno baratos, como el espato pesado, la greda o el barro para *estirar* un colorante.

³⁴ Del latín *pulverulentus* que significa *en estado de polvo*

Bentley y Turner: La química de los materiales de la pintura

El desarrollo de la tecnología de las pinturas a lo largo del tiempo, desde la era de Perkin, no hubiera sido posible sin el uso de la química. Ya que esta ciencia parte de los conocimientos moleculares de la materia para teorizar su comportamiento y diseñar pruebas que se comprueban mediante el uso del método científico.

Desde el enfoque de Bentley y Turner en la segunda mitad del siglo XX, el tener conocimientos de química inorgánica y orgánica es fundamental, puesto que todas las posibles combinaciones que pueden contener las pinturas, involucraran materiales tanto de naturaleza natural como sintética. Para estos autores, “...no existe ningún material de revestimiento que sea más versátil que la pintura, que se puede aplicar a cualquier superficie, de una u otra forma, por muy difícil que sea su forma y tamaño” (Bentley & Turner, 1999, pág. 111).

A pesar de esto, no tienen una definición específica para la pintura, pero si hacen mención de esta de la siguiente manera:

Pintura es una palabra muy general que se utiliza para denominar a una gran variedad de materiales, cuyos nombres son muchas veces más descriptivos de su función o de su composición: esmaltes, lacas, barnices, imprimación, pintura para después de la imprimación, tapaporos, masilla, obturadores, etc (Bentley & Turner, 1999, pág. 111).

Estos autores refieren a la pintura como un producto resultado de satisfacer dos funciones esenciales: proteger y decorar; esto establece las propiedades finales que cada pintura debe tener, y por lo tanto, define los materiales que la componen (ver Figura 24). Así desarrollaron su clasificación de los componentes de las pinturas, la cual consiste en un pigmento que puede ser de naturaleza variada, y un barniz, el cual se subdivide en aglutinantes, disolventes y aditivos, aunque el barniz puede estar compuesto por uno o los tres componentes del barniz.

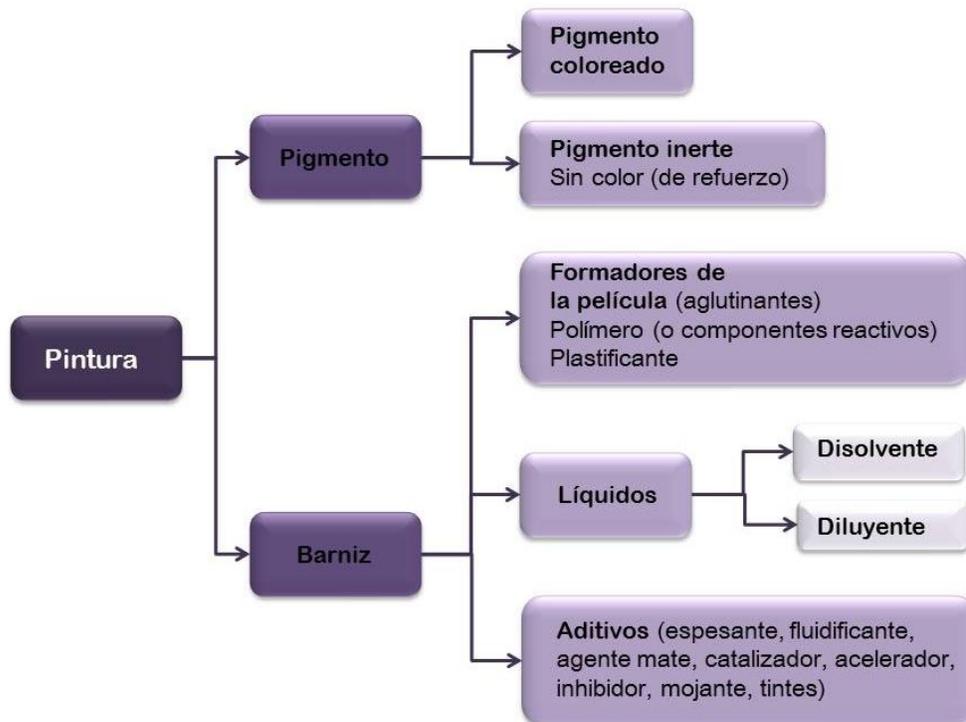


Figura 24. Componentes de las pinturas según la clasificación de Bentley y Turner en las que se identifican las dos partes necesarias para formar una pintura.

El barniz es una parte de la pintura en la cual los autores manejan una gran gama de opciones, ya que depende de muchos factores para su elección dependiendo de las propiedades de la película de pintura seca que se desee alcanzar, tales como: adhesión, resistencia al desgaste, tipo de secado, tipo de disolventes, tipo de secado, etc.

Su trabajo también propone una visión general de las propiedades de los materiales, sin profundizar estrictamente en la química de los pigmentos, ya que como ellos mismos mencionan, se requiere de otra bibliografía especializada para el desarrollo de ese tema. A pesar de no mencionar pigmentos como tal, si hacen mención de una serie de características y propiedades con las que deben cumplir, y que son factibles de evaluarse cuantitativamente.

Entre una de las principales características con las que debe de cumplir el pigmento³⁵ es el de dar color (Bentley & Turner, 1999, pág. 123).

³⁵ Entre otras de las características que debe de dar un pigmento a la pintura, Bentley y Turner consideran: el producir efectos especiales como el brillo, borrar colores aplicados previamente, mejorar la resistencia de la

De esta manera, la química establece los estándares para que cada uno de los componentes de la pintura que puedan ser evaluados con el rigor científico necesario dependiendo de la finalidad de la pintura.

capa de pintura, mejorar la adhesión de la capa de pintura, mejorar la duración y resistencia a la intemperie, aumentar la protección contra la corrosión, reducir el brillo en casos que sea necesario modificar las propiedades de flujo y aplicación.

Carbonell: La industria de la pintura y los procesos tecnificados

En el enfoque que maneja este autor, además de mencionar las definiciones de lo que es la pintura y sus materiales, hace mención de los procesos de elaboración de pintura de recubrimiento y el proceso de control de calidad de proceso y producto. La metodología que este autor maneja, es primeramente, el definir los conceptos de cada uno de los materiales. De esta manera propone su definición de pintura de la siguiente manera:

Un recubrimiento o pintura líquida es una mezcla heterogénea de productos que una vez aplicada y seca se transforma en una película continua sin pegajosidad y con las características para las que ha sido concebida (Carbonell, 2009, pág. 3).

A partir de esta visión, Carbonell maneja que para elaborar una pintura, esta necesita de un pigmento, del cual en su trabajo se sobrentiende que los pigmentos que utiliza son sintéticos, ya que no hace mención de productos naturales, ni en pigmentos, resinas o aceites. Siendo que los pigmentos son la base fundamental para la pintura decorativa, el ligante o resina lo son para aquellas pinturas de protección, mientras que las cargas, disolventes y aditivos son opcionales, dependiendo de la finalidad y característica que se esté buscando en la capa de pintura seca.

Al conocer las propiedades químicas, físicas y mecánicas de cada uno de los materiales que se tienen disponibles para el diseño de una fórmula de la pintura, Carbonell establece una serie de cuatro pasos para el diseño de una pintura:

1. *Dispersión*: En esta fase se homogeneizan disolventes, resinas y los aditivos que ayudan a dispersar y estabilizar la pintura, posteriormente se añaden en agitación los pigmentos y cargas y se efectúa una dispersión a alta velocidad con el fin de romper los agregados de pigmentos y cargas.
2. *Molido*: El producto obtenido en la fase anterior no siempre tiene un tamaño de partícula homogéneo o suficientemente pequeño para obtener las características que se desean. En este caso se procede a una molidura³⁶ en molinos, generalmente de perlas.
3. *Dilución (let-down)*: La pasta molida se completa, siempre en agitación, con el resto de los componentes de la fórmula. Los productos se deben añadir uno a uno para evitar posibles reacciones entre ellos.

³⁶ Molido de los materiales que se realiza con la finalidad de reducir el tamaño de la partícula.

4. *Ajuste de viscosidad*: Este es el último paso en la elaboración de una pintura, consiste en proporcionar a la pintura fabricada un aspecto de fluidez homogéneo en todas las fabricaciones y que se ajuste a las necesidades de la aplicación misma. (Carbonell, 2009, pág. 5)

Dentro de su obra, el autor no profundiza en la característica ni composición química de los materiales. A cambio de esto, ofrece ya los datos constantes e índices que se requieren para hacer un diseño de formulación de pintura. Esto nos indica que detrás de dichos datos existió todo un proceso de investigación para obtener dichos valores.

Así también, además de los valores y metodología de diseño, Carbonell propone una serie de pruebas para tener parámetros, ensayos de evaluación de calidad de cada uno de los componentes de la pintura. Además es importante nombrar que el autor señala, que "...la formulación de pinturas y recubrimientos conlleva el conocimiento de los procesos productivos y de la maquinaria necesaria para ello" (Carbonell, 2009, pág. 201).

3.2 Clasificación de las características de la pintura del tema de investigación.

Partiendo de los subtemas anteriores, en donde se expusieron los puntos de vista de los autores consultados, se realizó la siguiente clasificación de las características de las pinturas a utilizar para elegir las características finales de la capa de pintura seca, y de esto realizar la elección de los materiales (ver Figura 25).

La primera característica definida fue la solubilidad, puesto que representa junto con la carga, el mayor volumen de la composición de la pintura. De las opciones generales que se contemplan, están: el agua, el recurso que representa una mayor disponibilidad, sin la dependencia de recursos fósiles que requieren los hidrocarburos o el coste medioambiental que representan los disolventes especiales que a menudo son de naturaleza sintética.

La preparación tiene que ver con la presentación de la pintura. Ya sea que este elaborada de tal modo que esté lista para su aplicación al adquirir la pintura, o que sus componentes requieran de ser mezclados en el lugar y momento de aplicación. Ya que esto también intervendrá en la decisión de los materiales a utilizar, si requerirán únicamente la adición de un solvente convencional, o requerirán de un polímero especial para su elaboración.

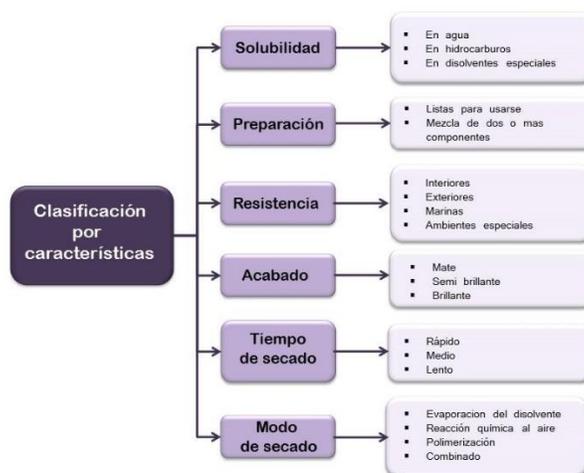


Figura 25. Clasificación de las características de las pinturas, señalando cada una y la característica final a obtener.

La resistencia la va a condicionar el entorno en donde vaya a ser aplicada la pintura, para el uso convencional o decorativo, se trata de pinturas interiores o exterior, sin embargo en el ámbito industrial se presentan casos tales como condiciones climáticas especiales o exposición a agentes agresivos.

El acabado de la pintura depende de la carga y pigmentos que se utilice, o si existe alguna resina o no. Sin embargo dependiendo de los requerimientos, puede que el acabado resultante difiera, lo que significa que se necesitará de aditivos. Los aditivos también serán parte de los modificadores del tiempo de secado y del modo de secado.

Con esto se puede observar que entre más varíen las características de los pigmentos, cargas, resinas y disolventes, se requerirá en menor medida de aditivos, puesto que se contará con una mayor gama de opciones. Así también, las características finales de la pintura modifican la elección de materiales. Sin embargo, la formulación de una pintura no implica únicamente las materias primas, sino también la elección de maquinaria, todo el proceso metodológico de correcciones hasta alcanzar los objetivos planteados y sobretodo una adecuada gestión de calidad, no solo desde el punto de vista del producto, sino también de los recursos humanos, pues en la propuesta de la investigación, la capacitación del factor humano es clave.

3.3 Las técnicas de pintura mesoamericana y el uso de especies vegetales como pigmentos y aditivos: el caso del azul maya.

Dentro de las referencias antiguas que se tiene sobre las técnicas de la pintura sobre un muro sólido y de finalidad decorativa, se tienen a las pinturas rupestres, los relieves y la pintura mural. En este tema de investigación únicamente se enfoca a la pintura mural, ya que la pintura rupestre carece de un enlucido sobre el cual se aplica la pintura, y en los relieves, es el grabado lo que dota de percepción de volumen al hacer uso del claroscuro.



Figura 26. Mural maya en Bonampak, se puede observar la temática y cosmogonía maya que refleja su época y situación social, así como la diferencia de la pintura rupestre, ya que cuenta con un enlucido sobre el cual se encuentra la capa pictórica.

Estas expresiones del ser humano en la época prehispánica son referencia en este tema de investigación, no solamente por el contexto geográfico, ya que las pinturas murales fueron trabajadas con materiales de la región sureste de México. Si no también por ser muestra tangible y visible de las técnicas de aplicación de pintura, eso sin contar con toda la cosmogonía intrínseca en las escenas de cada uno de los murales, así como la técnica de trazo y dibujo.

Hablar de la pintura mural prehispánica, es referirse a un área extensa de lugar y tiempo, puesto que es referirse a las culturas mesoamericanas en prolongados periodos de la historia. De aquí que se señale el que “(...) cada región y cada sitio, expresan una voluntad de estilo” (Fuente, 1995, pág. 15), ya que se encuentran contenidos estilos mayas, zapotecos,

tlaxcaltecas, aztecas, etc. Pero en este tema de investigación se analizarán dos tipos: el maya y el azteca, dado que estas dos culturas corresponden a técnicas distintas de pintura mural y son las que contienen más referencias en cuanto a la certeza de sus procedimientos y materiales.

Estas investigaciones no han sido fáciles, puesto que todo proceso en el que está inmerso el factor humano, deja impresa su huella y la tecnología de las pinturas no es la excepción. Tal como menciona C.S. Smith al referirse a los artistas que pintaron los murales mesoamericanos:

Debemos ser capaces de ver en el hombre que modificó el lodo para hacer una figurilla de terracota, simultáneamente, a un artista que da forma a sus pensamientos, a un científico que observa y comprende las propiedades de la materia, y a un técnico que pone en práctica estos conocimientos (Magaloni, 1995, pág. 16).

De la misma manera, Tatiana Proskouriakoff se refiere a una dificultad del estudio científico de los murales mayas debido a que “(...) la técnica pictórica tiene tanto peso sobre el estilo como lo tiene la calidad intelectual del artista; desafortunadamente, se requiere un estudio altamente técnico para poder reconstruir los procesos a partir de un producto” (Magaloni, 1995, pág. 17).

En la presente investigación, las dos técnicas a analizar son el *fresco* y el *seco*. Tanto teotihuacanos como mayas hicieron uso de estas técnicas, las cuales respondieron a las necesidades de la región en donde se encontraban emplazados sus murales, y el aspecto final que estos pretendían tener. Sin embargo es importante señalar que estas técnicas utilizadas se desarrollaron tan notablemente debido a que “(...) los artísticas de Teotihuacán, como los de casi toda el área mesoamericana, conocían muy bien cómo trabajar la cal” (Magaloni, 1995, pág. 17).

La pintura al fresco de los teotihuacanos y mayas, representa en un principio todo un reto, puesto que estas culturas experimentaron a lo largo del tiempo, tanto con arcillas en sus enlucidos, como con el uso de minerales para dotar de mejores características finales a la cal, de la misma manera que lo hicieron en otro tiempo y lugar muchos artistas renacentistas. Acerca de esta técnica del fresco mesoamericana, Diana Magaloni menciona:

(...) Una pintura al fresco no contiene ningún tipo de materia orgánica que sirva de aglutinante a los pigmentos. Para que el diseño pueda llevarse a efecto, estos se aplican suspendidos en agua sobre un enlucido de cal que esté húmedo. El enlucido es la última capa o estrato que se aplica al muro; es el que recibe la pintura y, por lo tanto, le imprime sus cualidades de textura y color. Los colores quedan fijos porque el líquido permanece dentro del enlucido busca un frente de evaporación; al llegar a la superficie el agua se evapora, pero el hidróxido de calcio contenido en ella se deposita en la superficie y comienza a reaccionar con el bióxido de carbono del aire, hasta construir una red microcristalina de carbonato de calcio. La capa pictórica que resulta de este proceso consiste en partículas de pigmento rodeadas por cristales de carbonato de calcio, de ahí su excepcional durabilidad.

Una de las características principales de los murales teotihuacanos, es su superficie que asemeja un aspecto vidrioso, de gran luminosidad. Este efecto es resultado del bruñido de la superficie, técnica que los fresquistas dominaron al incorporar cuarzos y arcillas a los enlucidos, ya que la clave se encuentra en “(...) las partículas de forma laminar que tienen la capacidad de resbalar una sobre otra (...)” (Magaloni, 1995, pág. 18). Lo que facilita el bruñido y da una mejor apariencia. Es por eso que en esta técnica, desde el aporte teotihuacano según Diana Magaloni:

(...) Los frescos teotihuacanos logran la calidad compacta y lustrosa policromía, que es el soporte material de su expresión artística, sobre la base de una técnica al fresco que utiliza el principio de bruñir estratos de soporte y la capa pictórica utilizando arcillas y piedras duras para el efecto, así como mediante morteros y enlucidos de cal y cuarzo volcánico.



Figura 27. Mural teotihuacano de Tlalocan, en el cual se puede observar la textura obtenida mediante el bruñido en el área de color rojo.

Esta policromía dependía tanto de la cosmogonía de la cultura como de la disponibilidad de los minerales de la zona en donde se realizaba el mural. Puesto que como toda cultura que evoluciona, en una etapa temprana, se utilizaban los colores tierra, que generalmente se obtenían de óxidos ferrosos, con el uso constante y al mejorar la técnica, fueron elaborando pinturas con colores de una naturaleza más compleja, como el caso del verde y el azul.

Aunque en la mayoría de los murales, los pigmentos utilizados son de origen mineral, siempre ha causado intriga, tanto en los teotihuacanos, pero mucho más en el caso de los mayas, el uso del color azul. Ya que a pesar de contar con estudios mediante los cuales se han identificado la naturaleza mineral de los pigmentos, y como lo señala la ingeniera química Leticia Baños:

El azul marino es la única excepción; este se fabrica al fijar un tinte orgánico no identificado sobre un sustrato inorgánico, al parecer sulfato de calcio, hecho que podría indicar que en Teotihuacán se practicaba una técnica similar a la del conocido azul maya, pero con otros materiales (Magaloni, 1995, pág. 21).

En el caso de las técnicas mayas, es importante enfatizar el hecho de que, a diferencia de los teotihuacanos, los mayas tuvieron que enfrentar los factores climatológicos como las altas temperaturas y la humedad. Estos dos factores obligaron a los artistas mayas a recurrir al uso de gomas vegetales para la aplicación de la pintura de cal con pigmentos. Puesto que a una temperatura de hasta 40°C, los sólidos de una mezcla líquida de hidróxido de calcio tiende a precipitar los sólidos (Magaloni, 1995, pág. 22) lo que dificulta su aplicación, sin embargo estas gomas vegetales suponen un gran avance en la técnica pictórica mesoamericana puesto que:

(...) Los mayas encontraron en sus mezclas de hidróxido de calcio y gomas vegetales, una solución técnica para, por una parte, fabricar soportes de cal con la plasticidad, adhesividad y resistencia mecánica necesarias, y por otra, el medio aglutinante que por su consistencia viscosa les permitiera la libertad necesaria para producir los efectos realistas con las películas de color (Magaloni, 1995, pág. 23).

Esto llevó a cambiar en algunas zonas, del fresco, a una especie modificada de *temple de gomas vegetales y agua de cal* (Magaloni, 1995, pág. 22) ya que los soportes “(...) fueron preparados con una mezcla de cementante hecha con cal, arenas calcificas y una goma vegetal a manera de aditivo (...)” (Magaloni, 1998, pág. 51). En este punto de la historia de las

técnicas de pictóricas, se puede apreciar la importancia del uso de las especies vegetales, desde un enfoque en el que fueron utilizados como aditivos para mejorar las cualidades químicas dentro de los procesos de elaboración, lo cual optimizaba su aplicación y al mismo tiempo mejoraba las características mecánicas de la capa pictórica una vez seca.

Y aunque los pigmentos en su mayoría han sido de origen mineral, ya que las especies vegetales han sido relegadas principalmente a su uso como materia colorante textil, ya que el comportamiento químico de las sustancias *chromóforas* de los vegetales es diferente en un medio acuoso que se fija mediante un mordiente en el caso de las telas, que interactuar con arcillas e hidróxidos en el caso de los enlucidos de las pinturas.



Figura 28. Textil teñido con vegetales, se observan las plantas utilizadas

El caso del añil y el azul maya, es una de los logros más significativos de esta cultura, ya que “(...) el azul maya es una pigmento muy estable ante la luz y ante los ácidos (...)” (Magaloni, 1998, pág. 68) puesto que uno de los factores más influyentes en la degradación de los pigmentos vegetales, es el pH alcalino de las pinturas a la cal. Esto apoya la afirmación de que “(...) no todo lo que tiene color en la naturaleza sirve para fabricar pigmento; al contrario, en la historia de la pintura tradicional los pigmentos son sustancias preciadas que requieren de la inversión de horas de trabajo y de tecnología (...)” (Magaloni, 1998, pág. 51).

Es por esto, que la presente investigación se analizó el comportamiento de los pigmentos vegetales mediante el uso de las técnicas de fresco y seco, utilizando el mucílago de nopal como aditivo al enlucido de cal, previo a la aplicación de la pintura. Y ya que como resultado de los estudios realizados al azul maya, parte de las razones por las cuales el azul maya ha tenido esa durabilidad, se debe también a la palygorskita, una arcilla propia de la región maya que tiene como una de sus propiedades más importantes, la resistencia a los cambios de pH, “(...) pudiendo resistir al ataque de ácido nítrico concentrado, álcali y disolventes orgánicos fuertes (...)” (Chiari, Giustetto, & Carson, 2008, pág. 40).

Sin embargo, a pesar de existir estos antecedentes, la investigación se enfrentó con el paradigma de preservar el color, sin embargo la finalidad de esta investigación considera más valioso el hecho de poder observar la degradación del color y su comportamiento. Ya que esta experiencia es muy enriquecedora. Ya que al observar continuamente su evolución, para que de esto se puedan desprender nuevas líneas de investigación. Tal como menciona Constantino Reyes Valerio sobre que “(...) vale la pena investigar si es posible hacer otro pigmento como el azul maya (...) Todo será cuestión de tener la mente abierta y experimentar, como lo hicieron los mayas(...)” (Sánchez, 2008, pág. 56).

3.4 Las especias, un uso paralelo al culinario.

Mucho se ha especulado acerca de cómo inició el uso de las especies vegetales como pigmentos, ya que desde la antigüedad, las plantas además de ser reconocidas como alimento, también hacían uso de otras especies como remedios para ciertas enfermedades. Aunque autores como Yoshiko Shirata³⁷ señalan que es muy probable que mediante la manipulación de las especies vegetales se descubriera la presencia de colorantes (Shirata, 2007, pág. 4).

Dentro de los usos como materia colorante que se le ha dado a las distintas especies vegetales en muchas partes del mundo, ya sea como tinte para telas, o como pintura corporal, las especies vegetales utilizadas no son concebidas solamente como una planta, sino que mediante su uso en la antigüedad, estas especies colorantes han cobrado importancia ritual. Sin embargo, el cambio de vida de las poblaciones ha propiciado que mucho de los conocimientos sobre las especies vegetales comiencen a desaparecer, dado que la transmisión de estos saberes se realiza en su gran mayoría de manera oral.

Trabajos como el de Yoshiko Shirata retoman técnicas ancestrales mexicanas para el uso de especies vegetales como tintes para telas. Existen también trabajos en los cuales se extraen las materias colorantes de vegetales para integrarse a la química de los alimentos, la industria cosmética, la farmacéutica, etc. Sin embargo en el ámbito de la arquitectura, es un campo que contiene mucha información por descubrir, a nivel microscópico, sino también para dar opciones de acabados y colores.

En este trabajo de investigación, se acota el uso de las especies vegetales, dado que de todas las plantas existentes, son solo algunas especies las que contienen sustancias colorantes, no todas se pueden utilizar directamente. Algunas necesitan de mordientes para transferirse a otro sustrato, como en el caso de los textiles. Sin embargo en esta investigación, se enfoca al estudio de aquellas especies vegetales, las cuales por su naturaleza, no necesitan

³⁷ Restauradora de Bienes Muebles en la Escuela Nacional de Conservación y Museografía “Manuel del Castillo Negrete”, enfoca su trabajo en el uso de las especies vegetales como colorantes textiles, abarcando en su estudio, los conocimientos generales sobre los colorantes generales, los datos históricos de su aprovechamiento, una fase experimental de la obtención de tintes con cinco mordientes diferentes, y eso aplicado a fibras de: algodón, lino, lana y seda.

de un proceso de síntesis química para poder ser utilizado como pigmento, para lo cual se estudian las especias.

Dado que la principal diferencia entre las demás *hierbas* de las especias, es que estas últimas son comestibles (Hirasa & Takemasa, 2002, pág. 2), y entre sus principales características se encuentran los efectos directos que producen, tales como: el aroma, el sabor, el color, efecto anti fúngico, efecto antibacteriano y efecto antioxidante (Hirasa & Takemasa, 2002, pág. 5). Es la industria alimentaria en donde muchas especias se han logrado colocar como una opción a colorantes artificiales, por la seguridad que representa al ingerirse, debido a su baja toxicidad, como el caso de la cúrcuma, la cual es un sustituto seguro para alimentos que contienen el colorante amarillo No. 5.³⁸

Estudios acerca de las propiedades colorantes de las especias, entre las que se encuentran principalmente tres grupos: la clorofila, los carotenoides y los flavonoides (Hirasa & Takemasa, 2002, pág. 16). Y dentro de estos grupos, las principales especias que contienen estos compuestos, se presentan en la siguiente tabla.

³⁸ La tartracina o tartrazina, mejor conocido como amarillo no. 5 por la FDA en Estados Unidos, y como E102 en la Unión Europea, es un colorante artificial de origen azoico, utilizando generalmente para dar coloraciones amarillas a bebidas y alimentos principalmente dulces. Es muy controversial debido a suposiciones que señalan que su ingesta provoca reacciones alérgicas principalmente en pacientes con asma y efectos cancerígenos.

Tabla 5. Compuestos colorantes de las especias. Colores que poseen cada una de las especias debido a su compuesto colorante.

Compuesto	Color	Especia
β -Caroteno	Rojizo-naranja	Guindilla, mostaza, pimentón, azafrán
Criptoxantina	Rojo	Pimentón, guindilla
Luteína	Rojo oscuro	Pimentón, perejil
Zeaxantina	Amarillo	Pimentón
Capsantina	Rojo oscuro	Pimentón, guindilla
Capsorbina	Rojo púrpura	Pimentón, guindilla
Crocetina	Rojo oscuro	Azafrán
Neoxantina	Naranja-Amarillo	Perejil
Violaxantina	Anaranjado	Perejil, pimienta dulce
Crocina	Amarillo-naranja	Azafrán
Flavonoide	Amarillo	Jengibre
Curcumina	Naranja-amarillo	Cúrcuma
Clorofila	Verde	Hierbas

La industria de alimentos ha investigado estas especias, entre otras, dentro de las cuales, entre las principales limitantes que presentan es su estabilidad. Ya que “(...) los colorantes de las especias no son muy estables en comparación con los colorantes artificiales” (Hirasa & Takemasa, 2002, pág. 26). Condiciones ambientales como la temperatura, humedad, radiación solar, bacterias, etc., son factores que modifican el color de las especias. Y las especias que se trabajaron en esta investigación, tienen el siguiente comportamiento:

Tabla 6. Resistencia de las especias utilizadas. Resistencia de cada una de las especias utilizadas en esta investigación en la cual se presenta su comportamiento ante cada una de los factores

	Cúrcuma	Pimentón	Paprika
Resistencia a la luz	Cambio pequeño	Cambio pequeño	Cambio pequeño
Resistencia al calor	Cambio pequeño	Buena	Buena
Resistencia a la sal	Cambio pequeño	Buena	Buena
Microbiorresistente	Buena	Buena	Buena
Resistente a metales	Cambio pequeño	Buena	Buena
Colorante	Muy buena	Cambio grande	Cambio grande

Con la información de la tabla anterior, es factible el tener una teorización del comportamiento de estas especias, puesto que en primera instancia, de la tabla se puede esperar que independientemente del hecho de agregar cal a estos pigmentos, su comportamiento en la pintura es, que sufrirán cambios producidos por la acción de la luz solar como por la temperatura y el efecto de la sal.

Con esto se puede tener un primer acercamiento al comportamiento esperado, en el que la cúrcuma es el pigmento más vulnerable a estas condiciones ambientales, mientras que el pimentón y la paprika suponen un comportamiento más estable.

4. Metodología: elaboración de probetas y aplicación en campo.

La experimentación consistió en el desarrollo de una serie de tablillas, sobre la cual se colocó la pintura desarrollada mediante la metodología propuesta para un periodo posterior de evaluaciones y correcciones en laboratorio (Ver Figura 29).

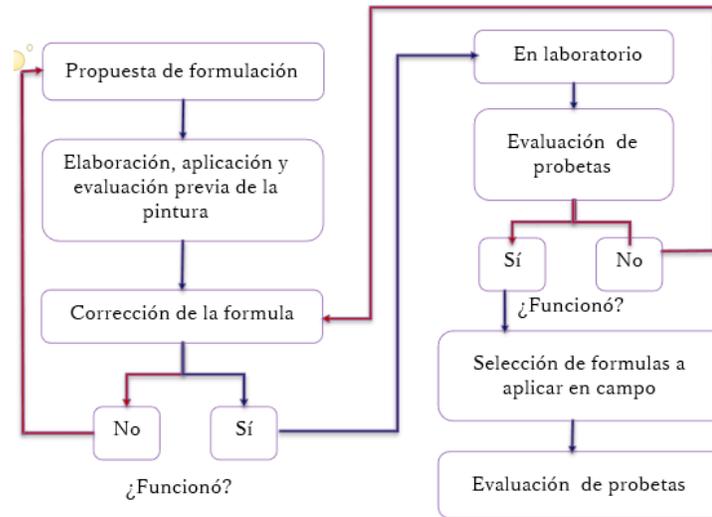


Figura 29. Diagrama de flujo de la metodología propuesta para la investigación del tema, señalando sus seis etapas.

De estas probetas³⁹ (Ver Figura 30) se modificaron y aplicaron en campo las que obtuvieron los mejores resultados en las pruebas físicas y mecánicas, a partir de los requerimientos de precio y rendimiento.

³⁹ Se entiende por probeta, a la tablilla de mortero con la pintura aplicada.

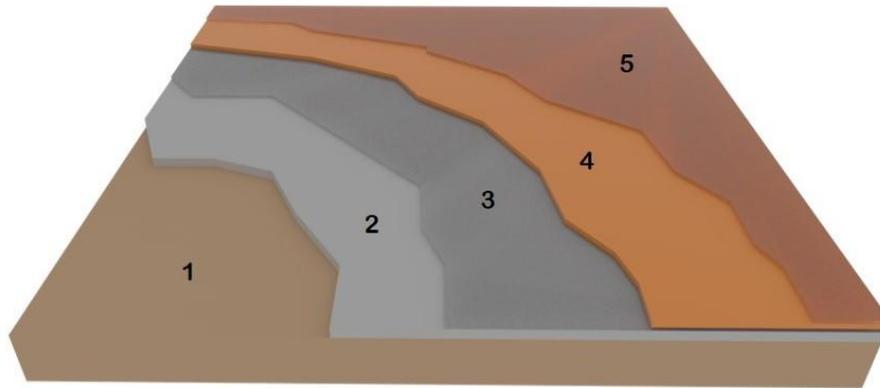


Figura 30. Probeta utilizada en la investigación. Consistió en que sobre una tablilla (1), se colocó el enlucido fino (2), un sellado de mucílago de nopal (3), la pintura desarrollada (4) y una capa de sellador a base de mucílago de nopal (5).

Cabe señalar que en la presente metodología, la parte de la experimentación en laboratorio (Bentley & Turner, 1999) carecía de referencias acerca del trabajo en comunidad, así que se adaptó para que tuviera puntos estratégicos de evaluación para un óptimo control de los procesos entre la fase de laboratorio y la de campo, considerando las condiciones climáticas de los entornos de evaluación. Posteriormente se llevó a cabo la sistematización de los datos recolectados, pero sobre todo, lo destacable es la posibilidad de ajustar los procesos en caso de alguna variación o evento no contemplado, considerando la aplicación con la comunidad.

4.1 Propuesta de formulación

4.1.1. Materiales a utilizar: Definición y características.

Cal

En la investigación fue utilizada la cal hidratada ENTEROCAL®, con un contenido de Hidróxido de Calcio de $74\% \pm 2\%$ según especificaciones del fabricante. El propósito de utilizar este tipo de cal, fue el hacer uso de materiales de uso común en la comunidad, para reducir las variaciones con respecto a las superficies de las viviendas en campo.

Arena

La arena utilizada fue de la que surtían en las *casas de materiales*, para uso común en los trabajos de construcción. Se utilizó previamente cernida con malla No.50 de abertura 0.36 para la elaboración de la tablilla y de malla No. 350 para el enlucido fino.

Cúrcuma (Curcuma longa),

Es una especia que se utiliza principalmente para darle color amarillo a los platillos, el componente que da color es la curcumina. Así también, es muy sensible a los cambios de pH, ya que “(...) exhibe color amarillo a niveles de pH ácido a neutro, que cambia a marrón-rojizo a pH alcalino (...)” (Hirasa & Takemasa, 2002, pág. 21).

Pimentón (Capsicum annum) y Paprika (Capsicum)

Ambas especies de chiles (*Capsicum*), tienen un comportamiento similar ante los agentes químicos y físicos. Las variaciones que pudiesen poseer, depende de la especie que se está cultivando, ya que existen especies de pimentón no sólo rojas, si no también naranjas, amarillas y verdes. La capsantina, un compuesto carotenoide, es el responsable de una coloración que va del rojo al naranja. A diferencia de la cúrcuma, “(...) no cambia de color con el cambio de pH y es relativamente estable frente al calor (...)” (Hirasa & Takemasa, 2002, pág. 22).

Mucílago de Nopal

El mucílago de nopal utilizado en la investigación se extrajo con un método de extracción previamente desarrollado (Pérez, 2009) con los nopales cosechados en la comunidad de San Sebastián Villanueva. Y su uso se propuso debido a que la falta de cemento en la mezcla para la elaboración de las tablillas, provocó que la superficie fuese más permeable. Por esta razón, el mucílago de nopal fue utilizado como sellador natural para la superficie de la tablilla con el enlucido fino aplicado y como sellador posterior a la aplicación de la pintura para aumentar su dureza y reducir la permeabilidad.

4.1.2 Variables consideradas: Las condiciones climáticas del entorno

Las propiedades fueron factibles de variación, en función de los factores, se clasificaron en: naturales y artificiales.

- Factores naturales: Ambientales. clima (temperatura, humedad relativa, presión, etc.)
- Factores artificiales: interacción con el hombre (fricción, desgaste mecánico, etc.)

Dentro de los factores ambientales, se tomaron en cuenta los siguientes aspectos, y se cuantificaron de la siguiente manera, para el caso de la presente investigación:

- Temperatura: (°C) Expresada en grados Celsius, se mide mediante un termómetro digital o de pared, el cual se colocó en el mismo sitio, cada vez que se realizó la recolección de los datos. Dicha información obtenida, se expresó con una precisión de un decimal.
- Humedad relativa: Expresada en porcentaje (%), se midió mediante un higrómetro independiente, o contenido dentro de un termómetro digital. Este estuvo colocado en el mismo sitio, cada vez que se realizó la recolección de los datos. Dichas cifras obtenidas, se expresaron en números enteros.
- Nivel de iluminación: Expresada en lux (lx), se midió mediante un luxómetro o también con aplicación para teléfono móvil. Este se colocó en el mismo sitio, cada vez que se realice la recolección de los datos. Dichas cifras obtenidas fueron expresadas en números enteros.

Para que los resultados de la experimentación fueran lo más certeros posible, se redujeron al mínimo posible las variables. En el caso de las condiciones climáticas, estas fueron variables que no se pudieron controlar, sin embargo lo que si fue factible de control, fue la frecuencia y horarios de la recolección de datos en las muestras realizadas. Ya que en el experimento, buscó evaluar el comportamiento de las pinturas en condiciones interiores de una vivienda. Se tomó en cuenta los aspectos: físicos, químicos y biológicos.

Dentro de los aspectos biológicos, se tomó en cuenta al ser humano, quien interactuó mediante la visión, con la pintura, para percibir el color. En el aspecto químico, se abarcó el comportamiento al interactuar los distintos materiales y proporciones de estos. Y finalmente

el aspecto físico, el cual tuvo relación con el aspecto anterior. Todos estos en conjunto, se transformaron en: propiedades.

4.2 Elaboración, aplicación y evaluación previa de la pintura

La elaboración de las probetas se dividió en cinco etapas: 1) la tablilla, 2) en enlucido fino, 3) el sellado de la superficie, 4) la elaboración y aplicación de la pintura, 5) sellado final de la superficie. (Ver Figura 31)

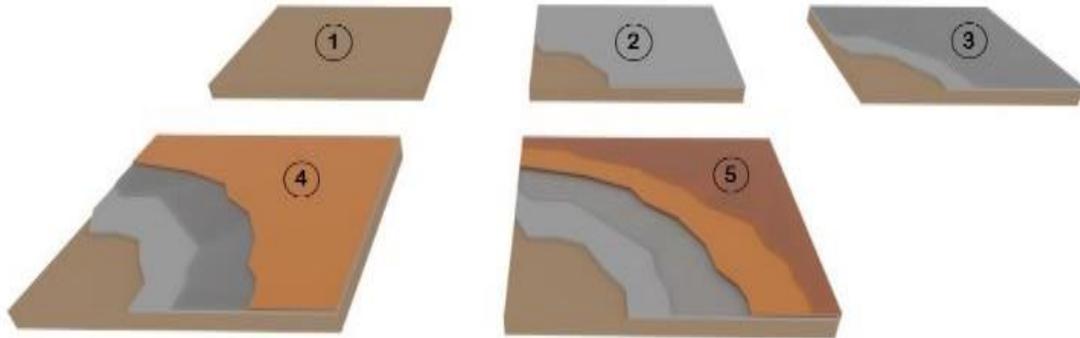


Figura 31. Las cinco capas que integraron la probeta de la investigación, 1) tablilla, 2)enlucido fino, 3)sellado con mucílago de nopal, 4) pintura, 5) sellado con mucílago de nopal

4.2.1 Dimensionamiento y elaboración de la tablilla

Para la elaboración de la tablilla se comenzó por calcular las dimensiones de la probeta, lo que se determinó a partir de elegir las pruebas pertinentes. En cada una de las pruebas se consideró el número de toma de muestras o datos de ella, si las pruebas fueron o no destructivas, o que implicaron una modificación no reversible de sus características.

Para la elaboración de las tablillas en este experimento, se tomaron en cuenta, las siguientes evaluaciones:

Tabla 7. Dimensionamiento requerido por prueba. Pruebas a realizar en las tablillas, se encuentra las características de cada una de ellas, así como especificación de la naturaleza de la prueba, y la dimensión que esa requiere.

Prueba	Características	Dimensiones aproximadas de uso
Adherencia	Invasiva solo en su perímetro de evaluación, ya que una vez utilizado este espacio, no se vuelve a realizar la prueba en el mismo lugar	3x3 cm por prueba realizada. Las dimensiones se toman en base al ancho de la cinta a utilizar
Resistencia al rayado	Invasiva solo en su perímetro de evaluación, ya que una vez utilizado este espacio, no se vuelve a realizar la prueba en el mismo lugar	1x1 cm por prueba realizada
Permeabilidad (con tubo Karsten)	Prueba invasiva y destructiva más allá de su perímetro de evaluación. no se vuelve a realizar la prueba en el mismo lugar	9-10 cm de diámetro por prueba a realizar
Permeabilidad a la gota	Prueba invasiva y destructiva más allá de su perímetro de evaluación. no se vuelve a realizar la prueba en el mismo lugar	2.5cm x 2.5cm por prueba realizada

Una vez que se eligieron las pruebas, se cuantificó un número propuesto de evaluaciones en el periodo experimental.

Tabla 8. Cálculo de toma de muestras. Calculo de toma de muestras en base al tiempo del experimento y la frecuencia de la toma de muestras.

Duración del experimento	Prueba a realizar	Frecuencia de la evaluación	Cantidad de evaluaciones
10 semanas	Adherencia	3 veces en el experimento	3
10 semanas	Resistencia al rayado	Una vez por semana	10
10 semanas	Permeabilidad (con tubo Karsten)	3 veces en el experimento	3
10 semanas	Permeabilidad a la gota	Una vez por semana	10

Una vez obtenida la cantidad de evaluaciones, se multiplica por el área que cada prueba necesita, y esto arroja las dimensiones mínimas de la tablilla.

Tabla 9. Calculo del área de tablilla. Obtención de la superficie de la tablilla mediante el cálculo del número de evaluaciones a realizar y el área requerida por cada prueba.

Prueba	No. De evaluaciones	Área requerida por evaluación	Superficie mínima necesaria
Adherencia	3	9 cm ²	27 cm ²
Resistencia al rayado	10	1 cm ²	10 cm ²
Permeabilidad (con tubo Karsten)	3	100 cm ²	300 cm ²
Permeabilidad a la gota	10	5.5 cm ²	55 cm ²
Superficie mínima de la tablilla			392 cm ²

En base a los 392cm² mínimos de superficie para la tablilla. Se propuso una sección cuadrada de 20cm x 20cm (400cm² de superficie). El espesor propuesto de 1.5 cm, se propuso en base a lo observado en las viviendas de la zona de estudio, en las cuales se observó que esta dimensión fue la que generalmente se utilizó en los aplanados de las viviendas. Así también

con las variables contempladas se obtuvo el siguiente formato de evaluación para las tablillas (Ver Figura 97).

Ya que el propósito de la probeta fue elaborar una superficie de características controladas previas a las que se presentaron en campo, para el contraste de los resultados. Así también fueron utilizadas como muestra controlada para contraste de resultados. En el caso del presente experimento, este consistió en elaborar tablillas con un mortero de proporciones similares al utilizado para aplanados de las viviendas, exceptuando el uso del cemento, ya que fue descartado para incrementar la variabilidad. Así como un enlucido fino, y un posterior sellado de la superficie para que se encuentre en condiciones de recibir la pintura.

Con las medidas definidas de la tablilla, se procedió a realizar el molde en el cual se coló. Esto requirió de una cimbra que requirió de un desmoldado práctico, de manera que no se hicieron daño en el proceso, además de ligera. Para lo cual, se propuso el uso de un molde de nueve piezas (Ver Figura 32).

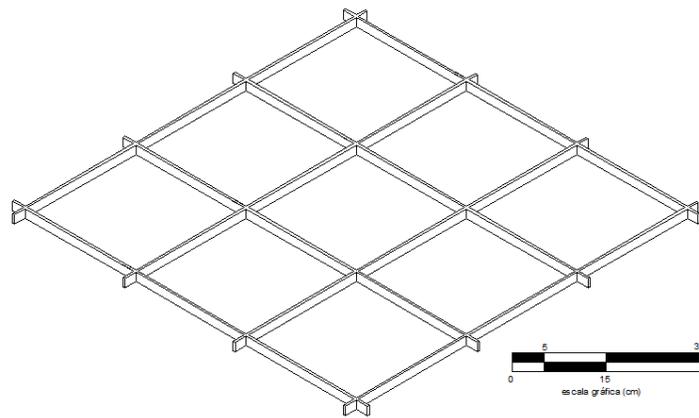


Figura 32. Molde para colado de tablillas, en la figura se observan los espacios para nueve tablillas de 20cmX20cm.

El molde consistió en ocho piezas de 65.2cm de longitud (ver Figura 33), con muescas en forma de U, de 0.75cm de alto y 0.4cm de ancho (ver Figura 34) a cada 20cm. Y en el interior de las caras se forró con cinta de enmascarar (masking tape) 3M[®], que facilitó su desmoldado.

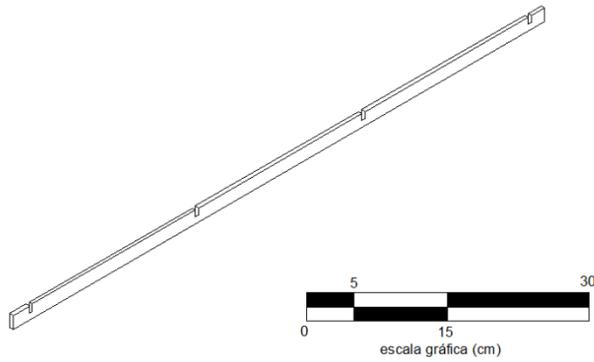


Figura 33. Pieza principal del molde, en la figura se pueden observar las muescas en donde se unirán con los demás elementos para formar el molde completo.

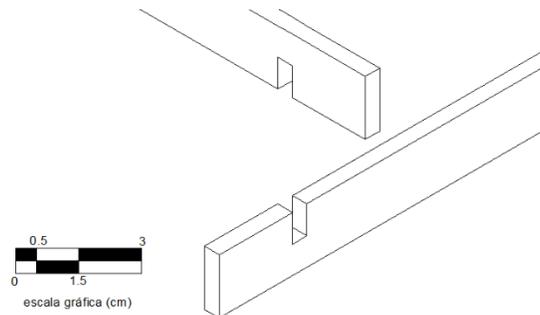


Figura 34. Detalle de las tiras del molde, previo a su colocación.

Las muescas proveyeron de rigidez al molde mediante las uniones, además de que se logró el ensamble sin pegamentos ni clavos. (Ver Figura 35)

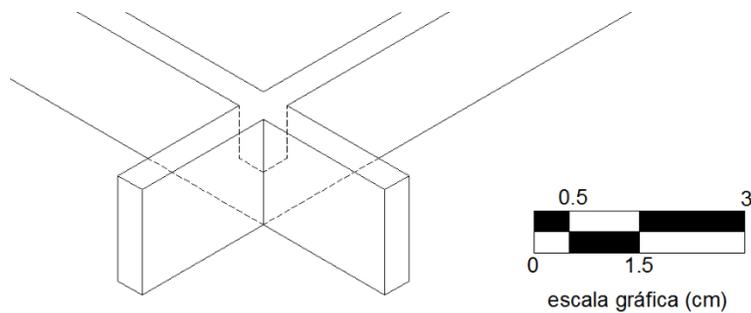


Figura 35. Detalle de la unión de las muescas en el molde para las tablillas.

La mezcla del mortero utilizado fue cal-arena proporción 1:3. Mezcla en la cual primero se incorporaron todos los materiales solidos (cal-arena) y una vez bien distribuidos, se incorporó poco a poco el agua hasta que se obtuvo una mezcla manejable (Ver Figura 36).



Figura 36. Molde de tablillas ya coladas con mortero cal-arena 1:3, cuenta con un plástico de las tablillas para un desmoldado más fácil y que reduzca las probabilidades de daño en las tablillas.

Después de tres días de secado a temperatura ambiente, se descimbraron las tablillas y se secaron en horno convencional a una temperatura de 80°C durante media hora, posteriormente se continuó el proceso de secado a temperatura ambiente por dos semanas más.

4.2.2 Elaboración del enlucido fino

Para la elaboración del enlucido fino, se realizó el estudio granulométrico de la arena con la que se contaba, y la previamente tamizada utilizada en la elaboración de las tablillas.



Figura 37. (Izq.) Arena sin tamizar, (Der.) Arena tamizada, utilizada para la elaboración de las tablillas.

La primera arena analizada fue la que no se cribó previamente (Ver Figura 37). Se estufó a 80°C durante cuatro horas, removida cada media hora. Después se dejó secar toda la noche dentro del horno apagado y cerrado. Al día siguiente, se pesaron 500g de arena libre de humedad y se introdujo en la criba automática.



Figura 38. Báscula de precisión con la arena sin cribar, previo a la prueba de granulometría.

Las cribas utilizadas fueron: No. 60, No. 100, No. 200 y No. 325. Se cribaron en tres lapsos de 15 minutos cada uno, posteriormente cada uno de los contenidos de las cribas se pesó. En análisis granulométrico realizado de la arena (sin tamizar) que se utilizó para las tablillas la siguiente:

Tabla 10. Análisis granulométrico de la arena sin tamizar. Análisis granulométrico en el que se señalan las cribas utilizadas, la cantidad de material retenido por estas y el porcentaje representativo.

Criba	Cantidad de material retenido	Porcentaje
No.60	297g	59.6%
No.100	49g	10%
No.200	27g	5.6%
No.325	59g	12%
Restante	68g	13.8%
Total	500g	100%



Figura 39. Criba mecánica, con las cribas No.60, No.100, No.200 y No.325 (en orden descendente).

Del análisis realizado para la arena (tamizada) los resultados fueron los siguientes:

Tabla 11. Análisis granulométrico de la arena tamizada. Análisis granulométrico en el que se señalan las cribas utilizadas, la cantidad de material retenido por estas y el porcentaje representativo.

Criba	Cantidad de material retenido	Porcentaje
No.200	312g	62.4%
No.325	123g	24.6%
Resto	65g	13%
Total	500g	100%

Una vez obtenida la distribución granulométrica, se eligió un tamaño de partícula menor a la No.325 (Ver Figura 40). Para la elaboración del enlucido fino, se eligieron los siguientes materiales y proporciones:

Tabla 12. Proporciones y materiales del enlucido fino, en sus dos fases: solido-sólido y solido-liquido.

Tipo de proporción	Materiales	Proporción
Solido-Solido	Arena (cribada con malla No.325)-Cal	1:1
Solidos-Líquidos	(Arena cribada con malla No.325 y Cal)-Mucílago de Nopal	1:2



Figura 40. Material retenido por la malla: No.60 (sup. izq), No. 100 (sup. central), No.200 (sup. der.), No.325 (inf. izq.) y la menor de 325 (inf. der.). (Julio 2015)

Ya preparados los materiales necesarios para la realización de las tablillas y el enlucido. Para la primera lista de formulaciones que se propuso, primero se procedió a obtener los pesos volumétricos de los materiales utilizados:

Tabla 13. Pesos volumétricos de los materiales utilizados para la primera etapa de formulación.

Material	Peso Volumétrico (Kg/mL)
Caolín	2.2
Talco	2.75
Aceite de Linaza	0.94
Cúrcuma	0.8
Pimentón	0.6
Paprika	0.48
Agua	1

Este mismo método se repitió con la arena previamente tamizada, utilizada para las tablillas. En este caso se utilizaron las cribas: No.200 y No.325. Después de tres lapsos de 15 minutos el contenido de cada criba fue pesado.

Una vez realizado esto, se procedió a realizar la extracción del mucílago de nopal, recolectado en la zona de estudio (Pérez, 2009):

- La cantidad de agua será la mitad del peso del nopal a utilizar. (ejemplo, 50mL de agua por 100g de nopal).
- Cortar el nopal en cubos de aproximadamente 1-1.5cm y calentarlo a no más de 80°C durante 4-5 hr.
- Dejar enfriar el mucílago en el recipiente a temperatura ambiente.
- Una vez frío, envasar en un recipiente de vidrio, agregando 10mL de alcohol de 90° por cada 100mL de mucílago extraído.

El envase en el cual se conserva el mucílago, debe estar cubierto con papel aluminio para protegerlo de la luz. Y debe mantenerse en refrigeración hasta su uso. Con este método, el mucílago tiene un tiempo de duración de hasta 6 meses, sin perder sus propiedades (Pérez, 2009).

De los nopales traídos de la zona de estudio, el peso de cada pieza de nopal oscilaban entre los 2-2.5kg (ver Figura 41).



Figura 41. Nopal utilizado en la extracción del mucílago, proveniente de San Sebastián Villanueva

Cada una de las piezas de nopal se cortaron en piezas de aproximadamente 1.5x1.5cm (ver Figura 42) y se colocaron en un recipiente de acero inoxidable con capacidad para 15 litros. Posteriormente se le incorporó agua, 50% del peso del nopal, y se colocó al fuego por cuatro horas, a una temperatura de 80°C.



Figura 42. Trozos de nopal cortado de aproximadamente 1-1.5x1-1.5cm, previo a la cocción.

Una vez completado el tiempo de cocción, y reposado hasta alcanzar la temperatura ambiente, se coló el mucílago para separarlo del nopal. Este fue vaciado en recipientes de vidrio, al cual se le colocaron 10mL de alcohol⁴⁰ por cada 500mL de mucílago extraído (ver Figura 43).



Figura 43. Mucílago de nopal obtenido de la cocción, el envase cuenta con alcohol incorporado previo a su preservación.

⁴⁰ Alcohol etílico desnaturalizado de 71.5° G.L.

Finalmente, el envase de vidrio se forró con papel aluminio para evitar el contacto con la luz, y se introdujo en el refrigerador para preservarlo hasta su uso.

Para la aplicación y elaboración del enlucido fino, se necesitaron los siguientes materiales ya preparados:

- Arena tamizada con malla 350-400
- Mucílago de nopal
- Cal hidratada⁴¹

Se realizó con la proporción de sólidos 1:1, y proporción de sólidos-líquidos 2:1. Los materiales utilizados fueron: arena tamizada con malla No.325, cal hidratada⁴² y mucílago de nopal. Primero se colocaron la cal y la arena en un recipiente limpio, para incorporarlos cuidadosamente con una espátula, para evitar pérdidas de material a causa de la volatilidad de la arena tamizada. Una vez mezclados los sólidos, se incorporó poco a poco el mucílago de nopal, con una espátula de plástico hasta que se obtuvo una mezcla homogénea (ver Figura 44).



Figura 44. Mezcla para el enlucido fino, contiene arena tamizada con malla No.325, cal hidráulica y mucílago de nopal, previo a su colocación en la tablilla.

Ya obtenida la mezcla del enlucido fino, la superficie de la tablilla fue atomizada con agua, previa a la colocación del enlucido. Posteriormente se dejó secar a temperatura ambiente (ver Figura 45).

⁴¹ Cal hidratada ENTEROCAL®, con un contenido de Hidróxido de Calcio de 74% ± 2% (según especificaciones del fabricante).

⁴² Ídem

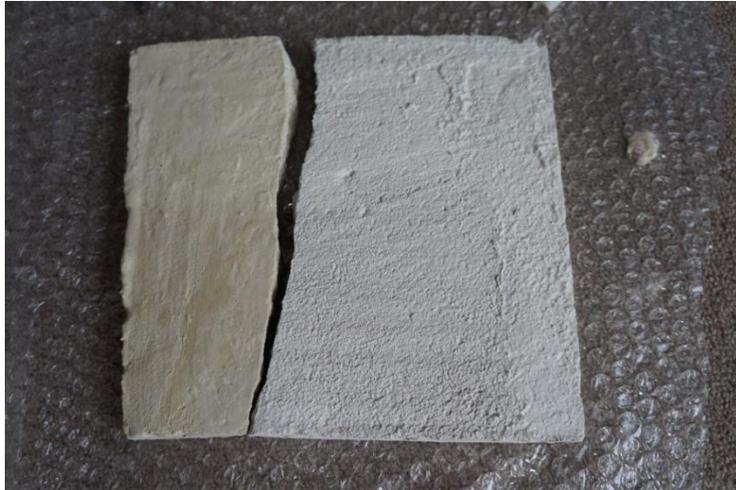


Figura 45. Tablilla seccionada, en la parte izquierda se colocó enlucido fino.

4.2.3 Sellado de la superficie

Después de tener elaborada las tablillas y sellada la superficie previo a la elaboración de la pintura y su aplicación, la superficie de las tablillas con enlucido fino se humedeció por medio de atomización y se aplicó sobre la superficie de la tablilla tres veces el mucílago de nopal previamente extraído que también fue utilizado en la elaboración del enlucido fino. La proporción mucílago-agua utilizada fue 1:1.

4.2.4 Elaboración y aplicación de la pintura en la superficie preparada

Una vez listas las superficies, se elaboraron y aplicaron las pinturas de la primera formulación (Ver Figura 46). En todas las fórmulaciones se procedió, primero, agregando los solidos y removerlos hasta mezclarlos por completo. Y despues, se incorporaron los liquidos poco a poco, con movimientos constantes hasta que se integraron por completo todos los materiales.

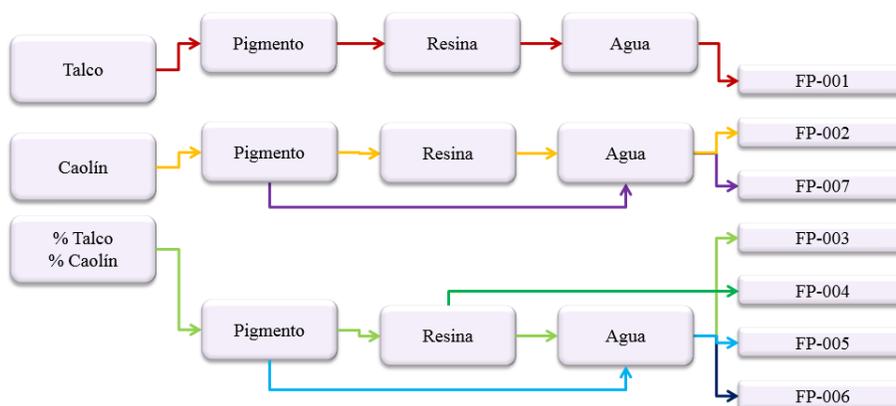


Figura 46. Diagrama de las combinaciones de la primera formulación de las pinturas

Posteriormente, la primera propuesta de fórmula que se realizó, incluyó: pigmento, carga, resina y disolvente, en las siguientes combinaciones:

Tabla 14. Formulaciones del grupo FP-XXX

Clave	Fórmula
FP-001	Pigmento-Talco-Resina-Agua
FP-002	Pigmento-Caolín-Resina-Agua
FP-003	Pigmento-Talco-Caolín-Resina-Agua
FP-004	Pigmento-Talco-Caolín-Resina
FP-005	Pigmento-Talco-Caolín-Agua
FP-006	Pigmento-Talco-Caolín -Agua
FP-007	Pigmento-Caolín-Agua

De esto, se eligió la formulación FP-007, por ser la que mejor se comportó durante la elaboración y la aplicación. Una vez que se eligió la fórmula a evaluar, se procedió a realizar las variaciones de cada una y se dividieron en tres bloques:

- A. Pintura “estándar”, la cual no tenía agregados posteriores a su aplicación.
- B. Pintura del grupo A, a la cual se le aplicó una capa de mucílago de nopal una vez seca la pintura.
- C. Pintura del grupo A, a la cual se le agregó la misma cantidad de cal que de pigmento utilizado.
- D. De los tres grupos de pintura que se aplicaron posterior al sellado, se combinaron con las proporciones: 1%, 10%, 25%, 50% y 100%. Con esto se obtuvieron 5 concentraciones de pigmento, con 3 grupos de variantes por pigmento. Lo que dio como resultado un total de 45 probetas. (Ver Figura 47, Figura 48 y Figura 49)



Figura 47. Probetas de Cúrcuma, Grupo A en la primera línea (de arriba hacia abajo), Grupo B segunda línea y Grupo C en tercera línea. Con la concentración creciente de pigmento (de izquierda a derecha).

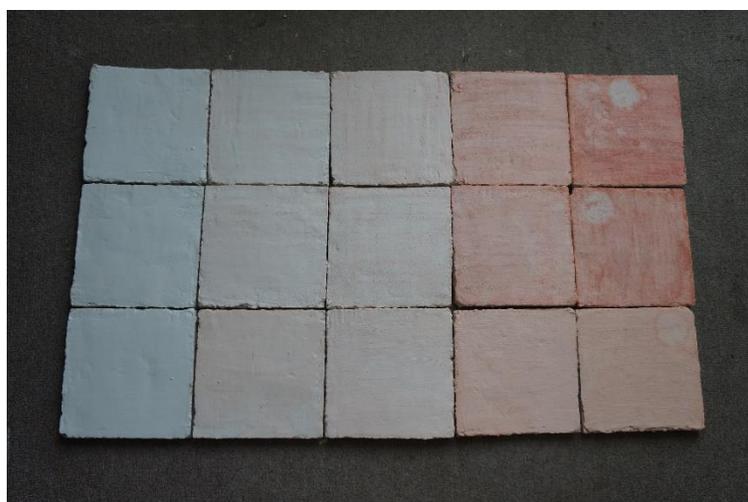


Figura 48. Probeta de Pimentón, Grupo A en la primera línea (de arriba hacia abajo), Grupo B segunda línea y Grupo C en tercera línea. Con la concentración creciente de pigmento (de izquierda a derecha).



Figura 49. Probeta de Paprika, Grupo A en la primera línea (de arriba hacia abajo), Grupo B segunda línea y Grupo C en tercera línea. Con la concentración creciente de pigmento (de izquierda a derecha).

4.2.5 Corrección de la fórmula

Después de la observación realizada durante la aplicación de las fórmulas previas de la pintura, se realizó una segunda formulación, en la cual la fórmula de caolín fue la que se seleccionó para la obtención del número de probetas en función de los porcentajes de concentración del pigmento (Ver Figura 50).

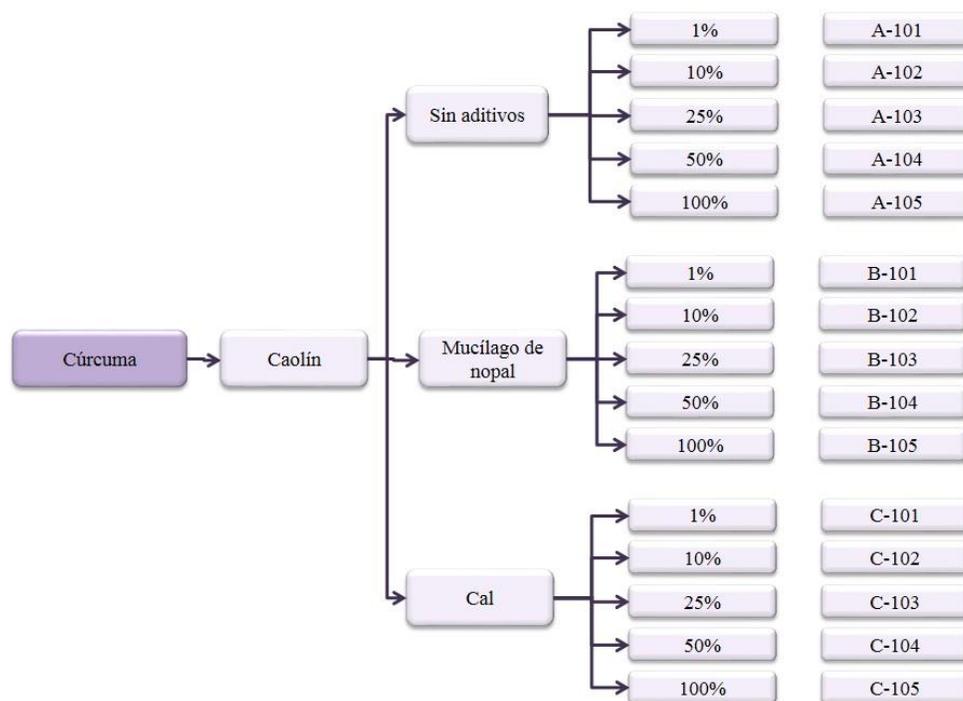


Figura 50. Obtención del número de proporciones de una fórmula de Cúrcuma, mediante el número de variables porcentuales.

Para la elaboración de cada una de las pinturas, se registró en el formato E-001 (Ver Figura 97 en página 167). De la misma manera que las fórmulas anteriores, primero se incorporaron los sólidos y posteriormente los líquidos. Una vez obtenida la pintura, se calculó el volumen de cada una de las 45 fórmulas previo a su aplicación.



Figura 51. Aplicación de la pintura elaborada a la tablilla de mortero con enlucido fino y sellado con mucílago de nopal.

Las pinturas se dejaron secar en un lugar ventilado, y sin contacto directo con el sol, para evitar agrietamientos y que el proceso de secado sea mediante la liberación de humedad por exposición solar. El tiempo de secado se cronometró, y comparó con la siguiente escala:

- Secado al polvo: se llama así cuando la película de pintura no atrapa el polvo que puede haber en el medio ambiente (...) en la pintura no debe quedar ninguna huella del paso del dedo.
- Secado al tacto: la película esta seca al tacto cuando, apoyando con mucho cuidado y sin ejercer presión, la yema del dedo medio sobre la película, no se nota ninguna pegajosidad.
- Secado total: es el tiempo que el objeto pintado puede considerarse manejable. Su determinación se hace sobre la película de pintura presionando con el dedo índice. El film de la pintura no debe notarse pegajoso ni debe quedar huella.
- Secado duro: el tiempo de secado duro debería corresponder al tiempo necesario para que el film de pintura alcance su máxima dureza. La determinación se efectúa cuando, al apoyar sobre la pintura el dedo pulgar ejerciendo fuerte presión y girando en un Angulo de 90°, no debe quedar huella en el film de la pintura (Carbonell, 2009, pág. 177)

Se procedió a hacer la primera toma de datos a las 24 horas posteriores de un secado total del mucílago sobre la superficie.

4.3 Sellado final de la superficie

Para el sellado final de la base en las probetas con clave B, se aplicó con brocha, una capa de mucílago de nopal sin diluir sobre la superficie seca de la capa pictórica.

4.4 Evaluación de probetas en laboratorio

4.4.1 Colorimetría

Esta prueba permitió determinar el índice de reflectancia de la superficie, para que el color de esta, pudiera ser determinada mediante coordenadas colorimétricas basadas en el sistema CIE L*a*b* (International Commission on Illumination, 2016) . Esta fue una de las pruebas más importantes, ya que en la presente investigación fue punto de referencia para determinar la magnitud de cambio de los pigmentos vegetales.

Para fines de la investigación, fue válido el uso de la aplicación ColorGrab⁴³, como sustitución de un espectrofotómetro al ser la versión portable de digitalizadores de color profesionales (Loomatix, 2016) .



Figura 52. Logo de la aplicación ColorGrab, con esta aplicación se llevaron a cabo las mediciones colorimétricas de las probetas.

Cada recolección de datos consistió en que, mediante la aplicación ColorGrab (Ver Figura 53). Se colocó el dispositivo móvil siempre en el mismo ángulo con respecto a la superficie de la tablilla y a la misma distancia, para descartar que esto fuera una variable de los datos recolectados.

⁴³ ColorGrab: Aplicación del desarrollador Loomatix, disponible para sistema operativo Android. Soporta modelos de color: RGB&Hex, HSV/HSB, HSL, Lab, Greyscale, Lightness& Darkness, Web-Safe, CMYK, CIE XYZ, CIE xyY, Hunter-Lab, LUV, LCH(uv), LCH(ab), YIQ, YUV SD & HD, YCvCr SD & HD y YPbPr SD & HD.

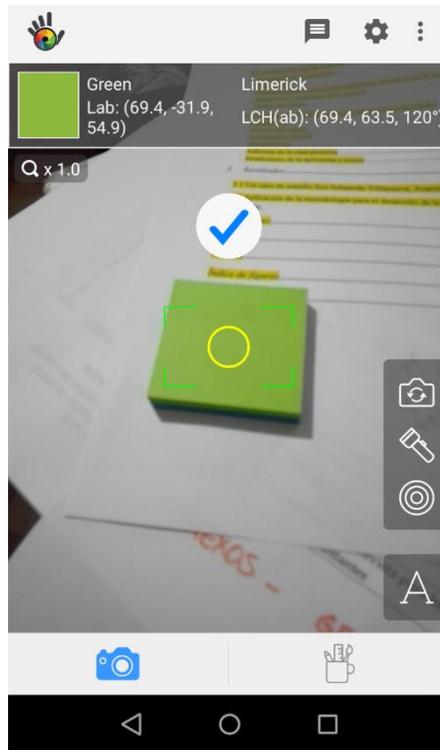


Figura 53. Captura de pantalla del uso de la aplicación ColorGrab en la recolección de las coordenadas colorimétricas (sup.).

4.4.2 Microscopía óptica

Esta prueba se realizó con dos tipos de microscopios. La primera, mediante un microscopio digital de mano MiScope[®], con el cual se caracterizó la homogeneidad de la superficie, de tal manera que se percibieron los cambios mecánicos productos de las ganancias y pérdidas de humedad, así como la acción del mucílago de nopal sobre la superficie (Ver Figura 54).



Figura 54. Microscopia óptica realizada con microscopio digital de mano con la cual se analiza una probeta posterior a las pruebas de permeabilidad.

El segundo tipo de microscopia que se realizó, fue con un microscopio petrográfico Zeiss. Se utilizaron los zoom: 5X, 10X y 20X, y se observaron los pigmentos a nivel microscópico. Se observó también el comportamiento de los pigmentos suspendidos en distintos medios: aceite mineral, agua o acetona (Ver Figura 55).



Figura 55. Pigmentos de cúrcuma, dos tipos de pimentón y paprika sobre portaobjetos (der.), previos a la incorporación de aceite mineral y acetona, para su análisis microscópico.

4.4.3 Resistencia al rayado

Esta permitió conocer la dureza de la capa pictórica durante el lapso del periodo experimental, y se observó la manera en que los agregados modifican esta propiedad. Dicha prueba consistió en rayar la capa pictórica y evaluarla según la escala de Mohs (Figura 56).



Figura 56. Materiales naturales de origen mineral, utilizados para la escala de Mohs.

Para la presente investigación, se sustituyeron los minerales de la escala de Mohs, por sus equivalentes:

- Uña: dureza mayor de 2
- Moneda de cobre: alrededor de 3
- Navaja de acero: mayor de 5
- Vidrio: 5.5

- Acero de lima: 6.5

El procedimiento de evaluación consistió en rayar la capa pictórica tres veces, con los materiales de sustitución, considerando que la capa pictórica se rayó cuando el enlucido fue evidente.

4.4.4 Permeabilidad

Mediante esta prueba, se obtuvo tiempo en el que la superficie absorbe un determinado volumen de agua. Esto determinó que tan porosa es la superficie que se propuso, y de qué manera el mucílago de nopal modificó esta propiedad. La permeabilidad se determinó de dos maneras: Mediante tubo Karsten, y prueba de gota.

En la primera, se procedió a colocar un tubo Karsten, y una vez sellado el perímetro del tubo con plastilina, se vertió agua destilada⁴⁴ sobre este, hasta llegar a la marca del cero. A partir de este momento, se cronometró el tiempo que tomó a la superficie, el absorber los 4mL contenidos en el tubo. Esto se indicó cuando el agua llegó a la marca del 0 en el tubo.

⁴⁴ Se utilizó agua destilada para evitar posteriores eflorescencias, producto de sales o minerales que pudieran estar contenidos en el agua.



Figura 57. Prueba de permeabilidad terminada, en la parte inferior del tubo Karsten se observa el halo de agua absorbido en la prueba.

La segunda prueba de permeabilidad realizada fue la prueba de gota, en la cual se colocó una gota de agua destilada en la superficie mediante un gotero, y se cronometró el tiempo en que la superficie absorbió la totalidad de la gota.

4.4.5 Adhesión de la capa pictórica

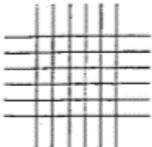
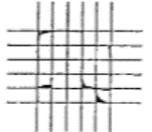
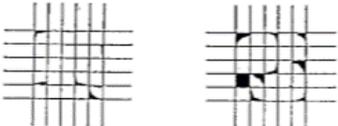
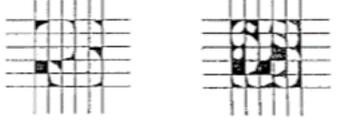
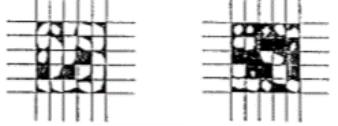
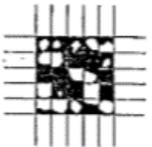
La prueba de adhesión al sustrato, fue utilizada para tener noción de la magnitud con la que la capa pictórica estuvo adherida a la superficie donde se aplicó. Se tomaron como fundamento, los parámetros establecidos por la norma (ASTM, 2016). En la cual se encontraron mencionados dos procedimientos principales: *por presión* y *por corte*.

En la presente investigación se hizo uso del primer método, ya que este fue el más factible de aplicar también en campo, según se encontró mencionado en la misma norma. Para esto, se siguieron los siguientes pasos:

- Se seleccionó el área limpia, seca y con menor número de imperfecciones Sobre la cual se colocó un trozo de cinta Scotch® 810 mágica⁴⁵ de 24mm, de por lo menos 3cm de longitud.
- Se presionó uniformemente toda la superficie de la cinta, con una goma de migajón.
- Después de 90 segundos se levantó la cinta, en sentido paralelo y uniforme.
- Se colocó sobre una superficie cuadrículada de 24mm, con separaciones a cada 4mm.

Una vez que se colocó la cinta sobre la cuadrícula, se hizo la evaluación mediante los siguientes parámetros (ASTM, 2016):

Tabla 15. Prueba de adhesividad según la norma ASTM-D-3359-02. Clasificación de la prueba de adhesividad en la cual se aprecian los grados de adhesión de la capa pictórica.

Clasificación de la prueba de adhesión al sustrato		
Clasificación	Porcentaje de área removida	Superficie del área de “corte cruzado” o “presión” desde el cual ocurrió la pérdida de escamas, y rango de adhesión en porcentaje
5B	0% nada	
4B	Menos de 5%	
3B	5-25%	
2B	25-35%	
1B	35-65%	
0B	Mayor del 65%	

⁴⁵ Se utiliza cinta 3M, en sustitución de la cinta Permacel 99 mencionada en la norma, debido a la disponibilidad.

4.5.6 Rendimiento de la aplicación y costos

El rendimiento de la aplicación y los costos, se obtuvo mediante el cálculo realizado con los datos registrados en el proceso de elaboración, en el formato diseñado para este fin. Dichos datos fueron: el volumen requerido para cubrir la superficie de la tablilla. Y en base a la cuantificación de los materiales utilizados en cada formulación, se obtuvieron los costos de producción a precio directo, así como el costo por m² de pintura aplicada.

4.5.7 Trabajo con la comunidad

La localidad de San Sebastián Villanueva, del municipio de Acatzingo, Puebla. Fue elegida para esta investigación, puesto que desde el año 2012 los habitantes de esta comunidad habían participado en la autoconstrucción de sus viviendas con un modelo financiero de ahorro-financiamiento-subsidio. Otro factor de selección fue que la actividad económica que representa la mayoría de su fuente de ingresos fue la producción de nopal, elemento que fue aportado para la extracción de mucílago de nopal.

De la primera reunión realizada en la localidad de San Sebastián Villanueva, de los 120 asistentes (Ver Figura 58), 11 propietarios de las viviendas decidieron formar un grupo para la elaboración y aplicación de pinturas con pigmentos vegetales. Los habitantes de la comunidad llegaron al acuerdo de que la persona que faltara a las reuniones posteriores, sería dado de baja del grupo.



Figura 58. Pobladores de la localidad de San Sebastián Villanueva, municipio de Acatzingo, Puebla. Previo a la reunión.

Una vez realizada toda la etapa de elaboración y evaluación de las probetas, se sintetizaron los resultados y se convocó a una segunda reunión en la cual se expuso el comportamiento de las probetas.



Figura 59. Integrantes de la comunidad eligiendo la pintura a utilizar en el taller de elaboración de pinturas

Los habitantes quienes en un principio habían decidido pintar cada una de las casas de los integrantes del grupo, modificaron su organización con respecto a la reducción número de asistentes en la segunda reunión. Decidieron aplicar entre todos los integrantes, únicamente en un cuarto de una de las viviendas con las fórmulas B-204, B-304 y C-304.

4.5.8 Selección de fórmulas a aplicar en campo

Después de la reunión en la comunidad, se tomaron las fórmulas seleccionadas y se corrigieron a partir de los resultados obtenidos en el laboratorio. Así también se diseñó un logo y un slogan que representaron las características y finalidad de la pintura que se estaba presentando. Así también el envase contenía las instrucciones en el envase, de manera que los participantes de la comunidad elaboraron la pintura sin la intervención de la autora de la investigación.

4.5 Evaluación de probetas en campo

En la cuarta reunión realizada, se llevó a cabo el taller de realización de las pinturas, en las cuales se les entregaron a los participantes, un paquete que consistía en tres envases con: pigmento, carga y cal (en el caso que aplicó).



Figura 60. Integrante de la comunidad que revisa las instrucciones de la pintura previa preparación de la misma.

Una vez que leyeron las instrucciones, los integrantes del grupo se organizaron y repartieron las actividades tales como: preparación de la pintura, preparación de la herramienta a utilizar, etc. Primero se elaboró la pintura que no llevara previo sellado con mucílago de nopal, así también se tomó un poco de la pintura realizada para aplicar sobre una tablilla preparada con el mismo enlucido fino utilizada para las probetas de laboratorio. Esto se realizó para las cuatro pinturas a realizar. De la misma manera, estas probetas se dejaron colocadas contiguas al muro donde se aplicó la pintura, para que tuvieran las mismas condiciones climáticas (Ver Figura 61).



Figura 61. Probeta colocada junto al muro, en el cual fue aplicada la misma pintura. A la izquierda se encuentra el termómetro con higrómetro para monitorear la temperatura y humedad.

Mientras una parte de los integrantes de la comunidad elaboró las pinturas (Ver Figura 62), otra parte del grupo comenzó la aplicación de la pintura, y así poco a poco se incorporaron el resto de las personas (Ver Figura 63).



Figura 62. Integrantes de la comunidad elaborando la pintura, agregando agua a la mezcla de carga y pigmento previamente incorporada.



Figura 63. Integrantes de la comunidad aplicando la pintura elaborada.

Posteriormente a la aplicación de las pinturas que no tuvieron agregados extras en su superficie, se sellaron dos de los muros con mucílago de nopal (Ver Figura 64) , del mismo tipo que se utilizó para el sellado de la superficie de las tablillas.



Figura 64. Habitantes de la comunidad aplicando el mucílago de nopal como sellador de la superficie, previo a la aplicación de la pintura.

Una vez que se pintaron los cuatro muros de la vivienda, se evaluó la pintura como producto, mediante la aplicación la de una encuesta, en la cual se indagó en la percepción que se tuvo acerca de la imagen en general de la pintura como producto, así también como el nivel de dificultad que percibieron para la elaboración y aplicación sobre la superficie de la vivienda trabajada.

La evaluación material de la pintura en campo se realizó de la misma manera que en el laboratorio, recolectando los mismos datos en las probetas que se dejaron en la zona de estudio.

5. Resultados

El haber considerado a la vivienda como un conjunto de procesos, permitió que se pudiera integrar de una manera metodológica, un proceso de rigor científico con fines sociales. De esta manera este proyecto productivo ganó certidumbre al tener datos cuantificables que respalden dichos procesos.

Entre los procesos sociales, el aporte más significativo fue el suministro de la materia prima por parte de los habitantes de San Sebastián Villanueva en el proceso sistemático de la extracción del mucílago de nopal, que dotó de un valor cuantificable esta aportación procedente de una especie de nopal que representa un porcentaje mínimo a comparación de la especie que se comercializa en la localidad, pero que aún conservaron como parte de su saber tradicional.

Una vez obtenidas las primeras fórmulas para las pinturas, después de la visita a la comunidad, del nopal recolectado se obtuvieron los siguientes datos del mucílago extraído:

Tabla 16. Rendimiento de la extracción de mucílago del nopal de San Sebastián Villanueva, en base al volumen obtenido.

Material	Cantidad
Nopal picado	8.91 Kg
Agua	4.455 L
Mucílago de nopal obtenido	4.81 L
Rendimiento	1.85 L de mucílago por Kg de nopal

La prueba de permeabilidad que se hizo previo a la aplicación del enlucido fino, dio como resultado que los 4mL de agua fueron absorbidos en 28s. Posteriormente a la aplicación de las pinturas, lo que se observó fue lo siguiente:

Tabla 17. Pinturas de la primera formulación, aplicadas sobre las tablillas

Clave	Reporte fotográfico de las fórmulas ya secas	Observaciones durante elaboración y aplicación
FP-001		<p>Los líquidos se segregaron. Al aplicarse, la superficie absorbió rápidamente los líquidos y esto ocasionó grumos. Solamente se dio una capa de pintura, puesto que una segunda aplicación removía la primera.</p>
FP-002		<p>El aceite se segregó rápidamente del agua en la elaboración. Al aplicarlo, el aceite fue el primero en entrar en contacto con la superficie y no permitió una aplicación homogénea de la pintura, por lo cual no se aplicó una segunda capa.</p>
FP-003		<p>Los materiales de la pintura se separaron lentamente y en menor medida que las anteriores. Su aplicación fue uniforme, con buena manejabilidad. Se aplicaron dos capas de pintura en el mismo sentido.</p>

FP-004



La mezcla resultó heterogénea, y la aplicación de ambas capas de pintura fue grumosa.

FP-005



La mezcla se segregó lentamente, La primera aplicación fue grumosa y la segunda fue parcialmente heterogénea. En el proceso de secado, el aceite se segregó hacia la superficie en forma de pequeñas gotas.

FP-006



La mezcla no presentó segregación, y su textura de aplicación fue homogénea en ambas capas.

FP-007



La mezcla no presentó segregación, y su textura de aplicación fue homogénea en ambas capas.

En el sellado de la superficie con mucílago de nopal previo a la aplicación de la pintura, se obtuvo un consumo que osciló entre los 19 a 30 mL de mucílago de nopal a tres manos, tomando un consumo promedio de 24mL por tablilla.

De las evaluaciones realizadas, los datos se recolectaron en el formato E-002. Durante la primera toma de datos de las probetas, en el momento en que se realizó la prueba de permeabilidad con el tubo Karsten, se observó la saturación de la capa pictórica de la probeta A-105 por acción del agua sobre la superficie (Ver Figura 65).

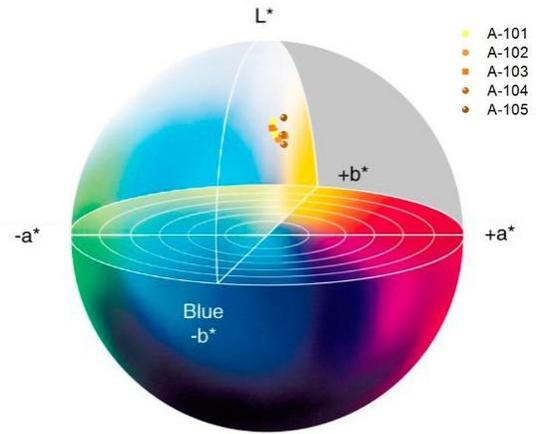


Figura 65. Saturación de la capa pictórica por acción del agua, en la probeta A-105

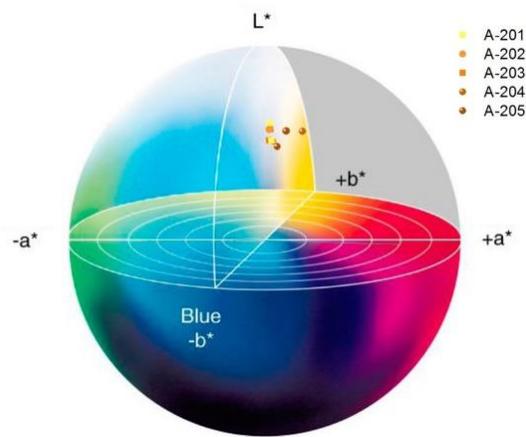
La saturación de la capa pictórica (ver Figura 65), modificó la técnica utilizada para medir la permeabilidad. Y se utilizó la prueba de permeabilidad *de gota* en sustitución de la del *tubo Karsten*.

En la de colorimetría se obtuvieron las siguientes gráficas, que representaron la posición promedio de cada una de las probetas dentro del espacio de color CIE L*a*b*. (Ver Figura 66,

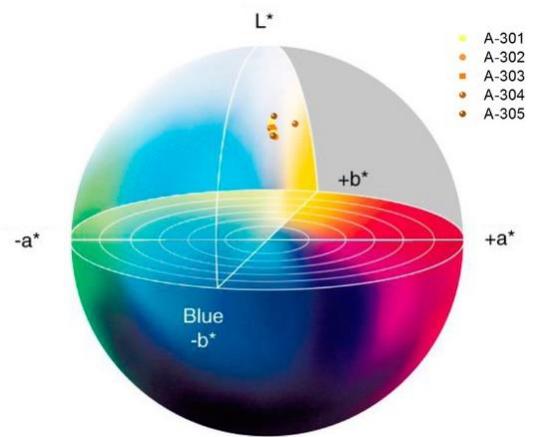
Figura 67 y Figura 68).



Gráfica L*a*b* A-10X

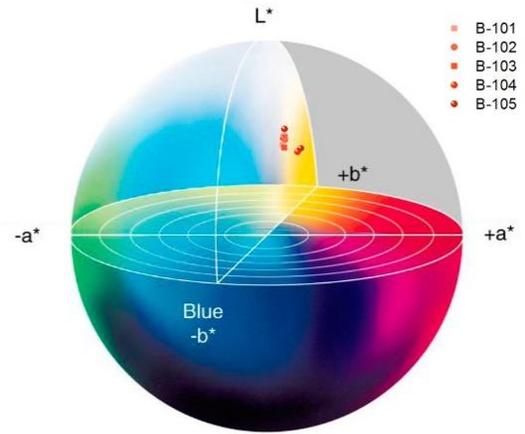
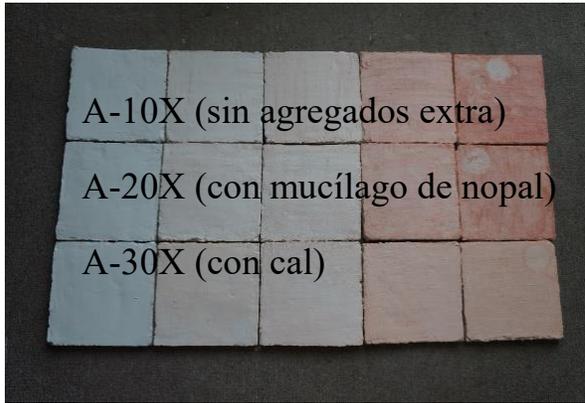


Gráfica L*a*b* A-20X

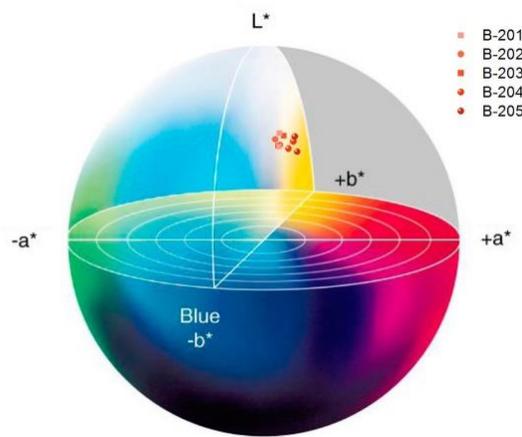


Gráfica L*a*b* A-30X

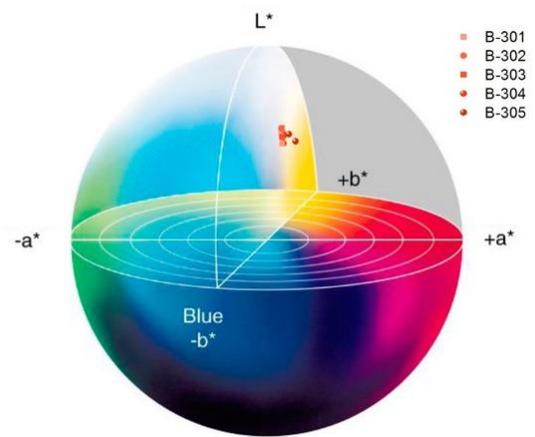
Figura 66. Gráficas L*a*b* de las 15 probetas de Cúrcuma. Se observa en cada gráfica, la posición en el espacio de color de cada una de las probetas.



Gráfica L*a*b* B-10X



Gráfica L*a*b* B-20X



Gráfica L*a*b* B-30X

Figura 67. Gráficas L*a*b* de las 15 probetas de Pimentón. Se observa en cada gráfica, la posición en el espacio de color de cada una de las probetas.

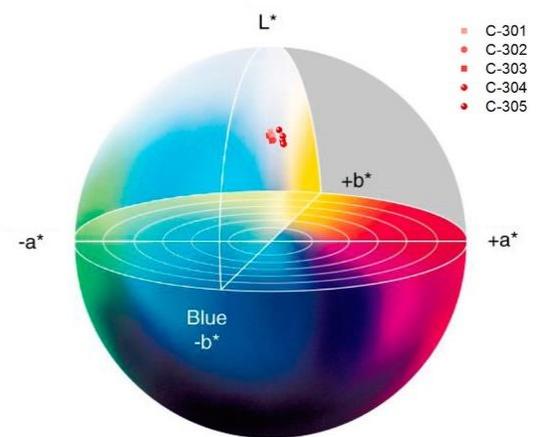
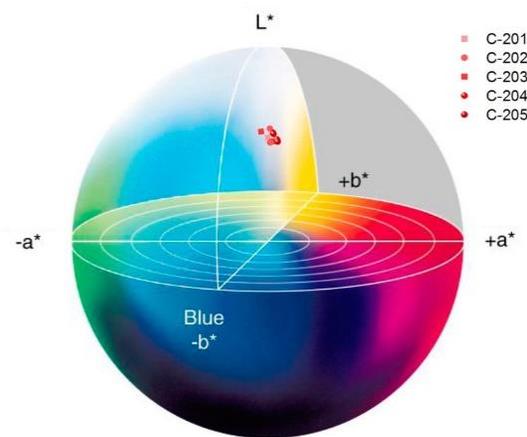
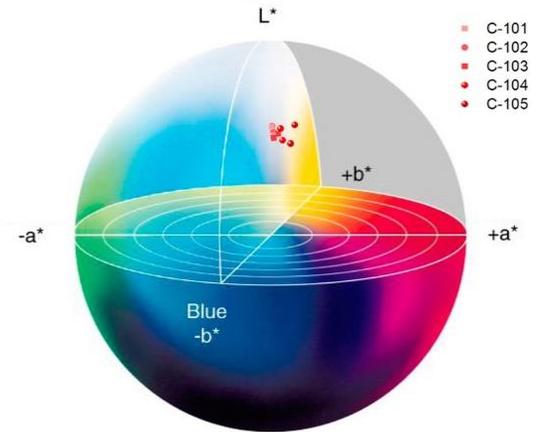
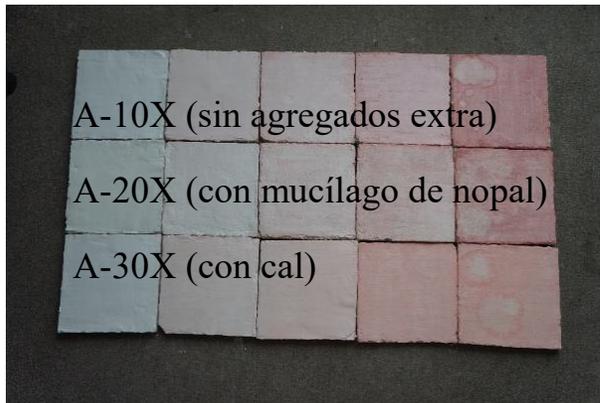


Figura 68. Gráficas $L^*a^*b^*$ de las 15 probetas de Papika. Se observa en cada gráfica, la posición en el espacio de color de cada una de las probetas.

Las coordenadas recabadas en las diez sesiones de recolección de datos de la etapa de la evaluación, se obtuvieron los siguientes resultados representados en cuatro gráficos:

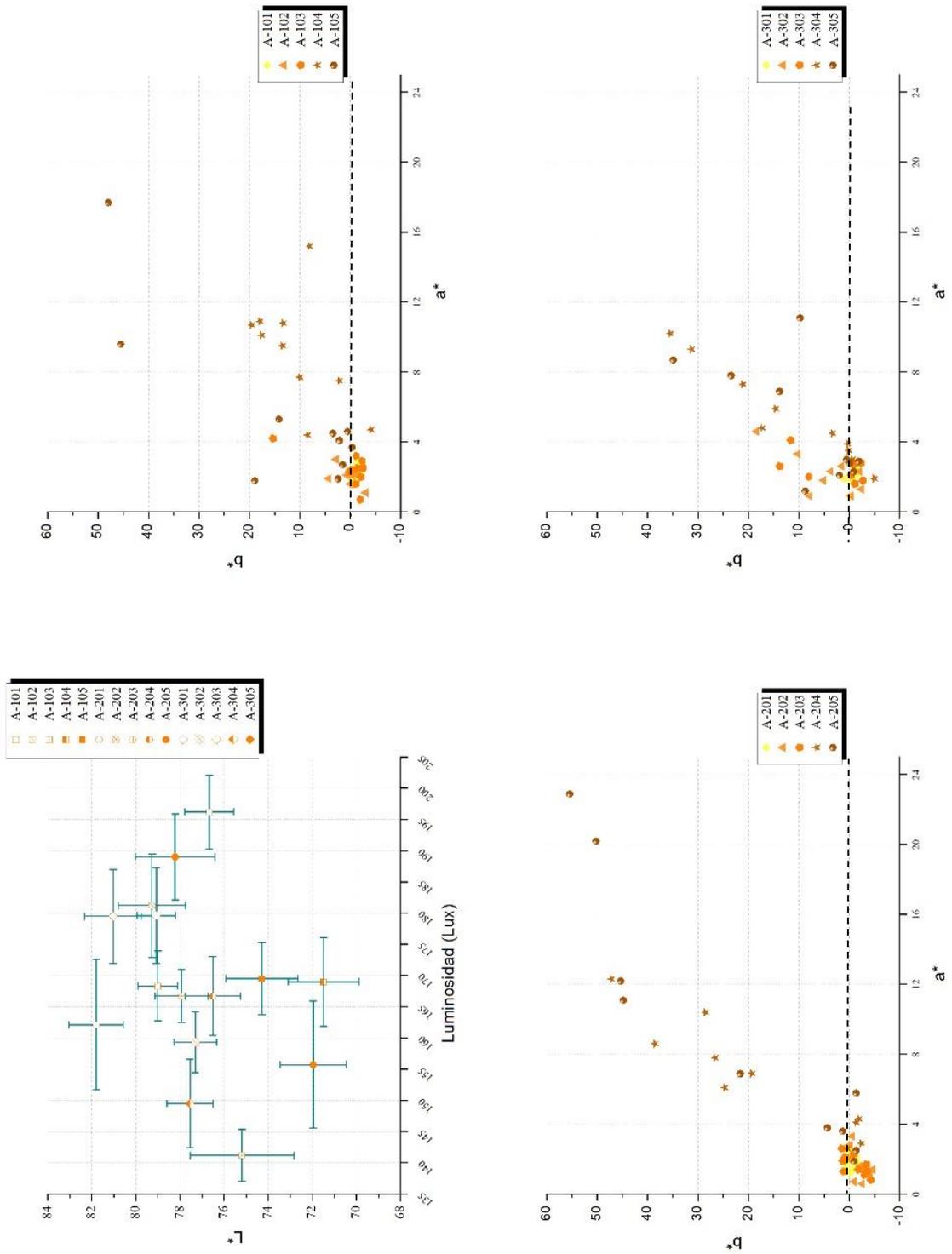


Figura 69. Gráfica L*vs Luminosidad (esq. Sup. Izq.) De las quince probetas de Cúrcuma y graficas de coordenadas b* y a* de cada uno de los bloques (A-10X, A-20X y A-30X).

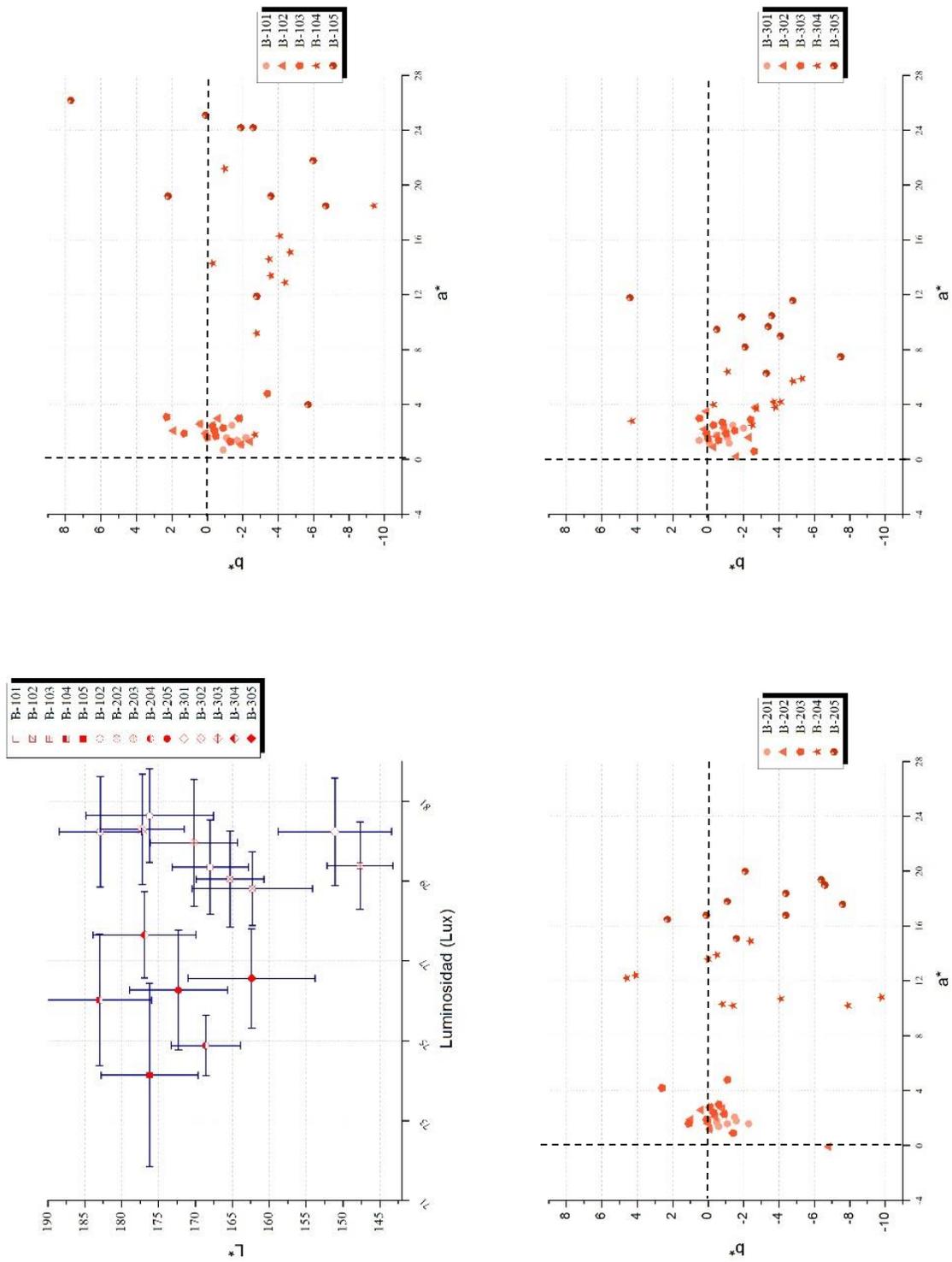


Figura 70. Gráfica L* vs Luminosidad (esq. Sup. Izq.) De las quince probetas de Pimentón y graficas de coordenadas b* y a* de cada uno de los bloques (B-10X, B-20X y B-30X)

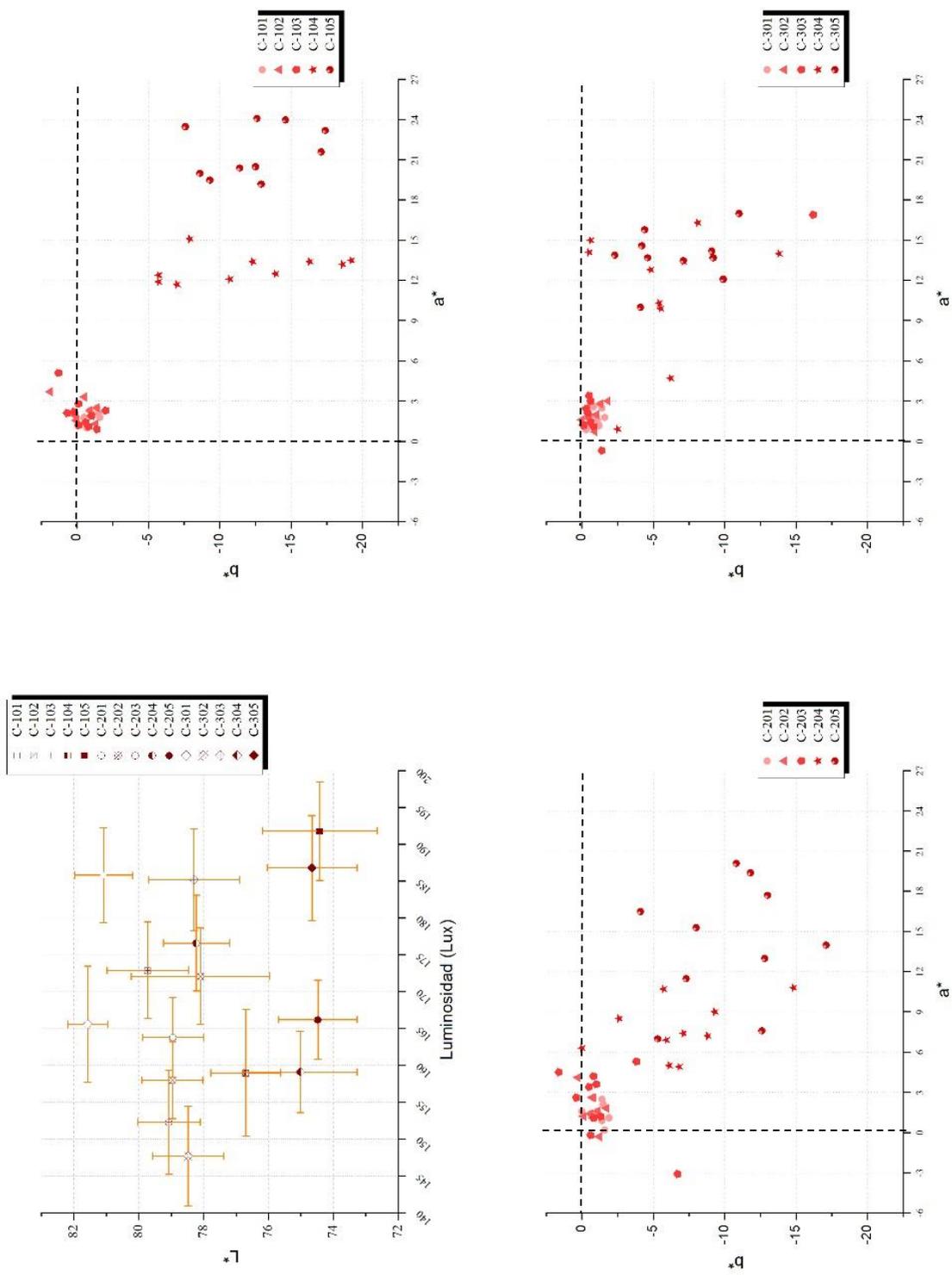


Figura 71. Gráfica L^* vs Luminosidad (esq. Sup. Izq.) De las quince probetas de Paprika y graficas de coordenadas b^* y a^* de cada uno de los bloques (C-10X, C-20X y C-30X).

La textura de la superficie no influyó en las medidas del color, porque esta era completamente homogénea.

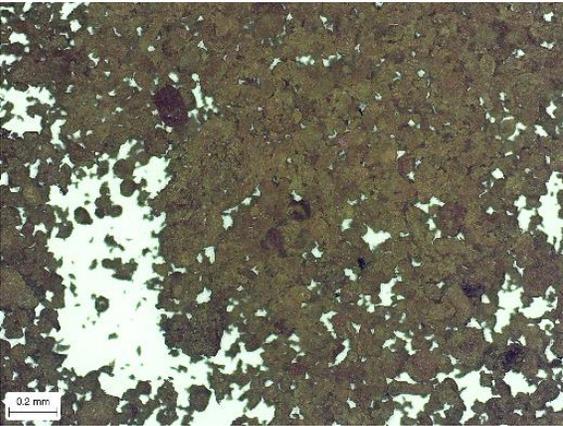
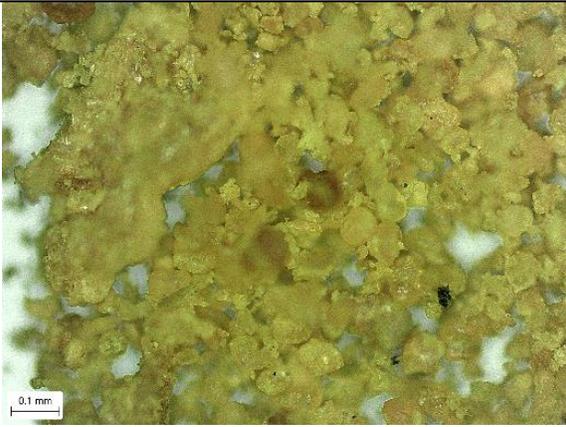
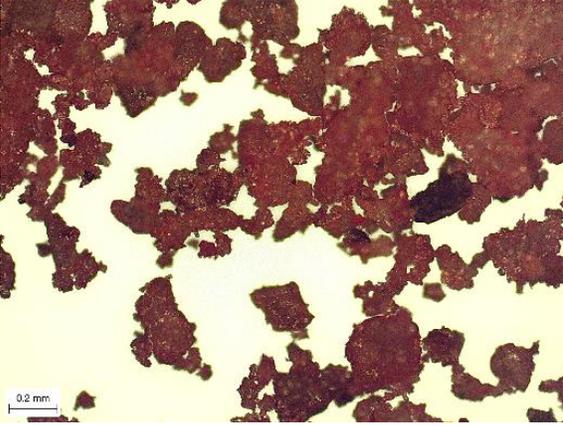
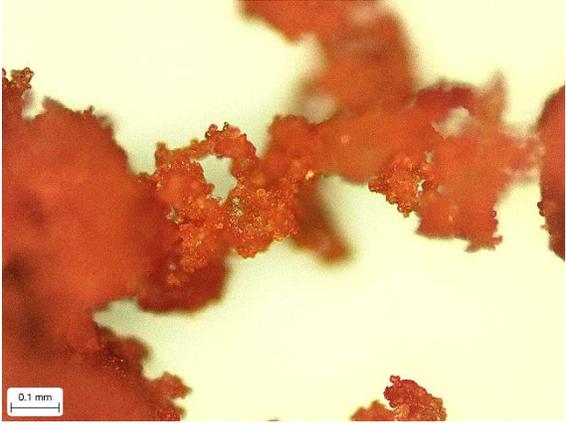
En las gráficas anteriores se observó la ubicación de las coordenadas de los tres pigmentos respecto al porcentaje de concentración y se observó una menor dispersión en las probetas con una concentración del 1% al 25%, mientras que la mayor dispersión se observó en las probetas con concentraciones del 50% y 100%.

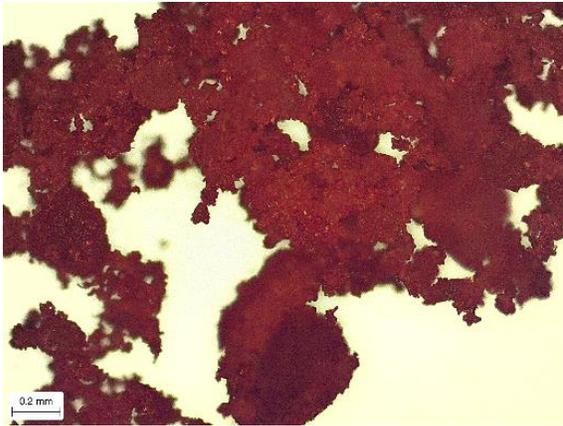
Al comparar los agregados en las probetas de Cúrcuma con concentración del 25%, no se observaron cambios entre la probeta sin agregados y la de mucílago de nopal, pero sí en la de cal, en la cual se observó una mayor saturación del color. En las probetas de Pimentón, el mayor cambio se observó en la probeta con concentración de 100% y con cal. En las probetas de Paprika con concentración del 100%, el mayor cambio se observó en que la que contenía cal.

Estos resultados indicaron que las probetas con concentraciones de 50% y 100% son poco viables económicamente debido al cambio de color, ya que la percepción que se tiene acerca de este cambio tiene una connotación negativa en las características de la pintura. Dicho cambio de color puede estar relacionado a características como el tamaño de partícula, cuyos resultados se muestran a continuación.

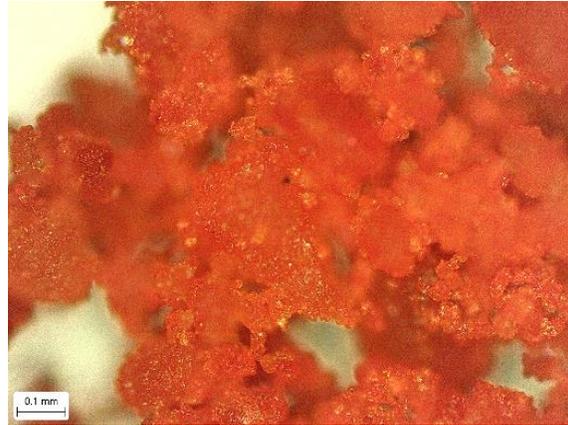
Los resultados de las pruebas de microscopia óptica se recopilaron en las siguientes tablas:

Tabla 18. Microscopía óptica de los pigmentos en su estado natural.

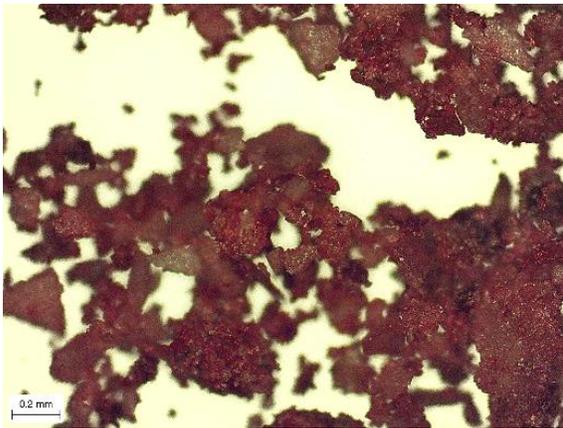
Zoom 5X	Zoom 10X
	
<p data-bbox="448 762 586 789">Cúrcuma 5X</p> <p data-bbox="256 793 781 884">Partículas con formas ovaladas y con tendencia a poligonales irregulares con trazas de partículas rojas.</p>	<p data-bbox="1029 732 1179 760">Cúrcuma 10X</p> <p data-bbox="829 764 1385 915">Las partículas se observan en forma de cristales cilíndricos, de gota e irregulares. Las trazas rojas en 5X, ahora se perciben cafés, con reflejos tornasol. La textura se observa opaca y lechosa en su mayoría.</p>
	
<p data-bbox="448 1356 586 1383">Pimentón 5X</p> <p data-bbox="245 1388 792 1501">Se observan dos tipos de partícula, una clara y otra oscura. La clara posee cristales de formas irregulares con trazas de colores tornasol en sentido horizontal y vertical</p>	<p data-bbox="1029 1356 1179 1383">Pimentón 10X</p> <p data-bbox="829 1388 1385 1501">Se observan las partículas en forma de cristales irregulares, con partículas pequeñas contiguas en forma de burbujas transparentes con reflejos tornasol</p>



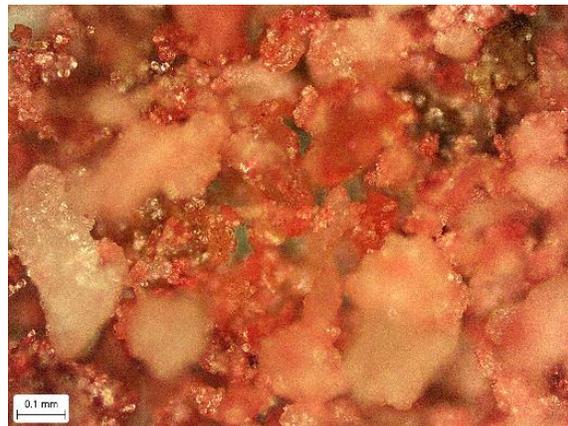
Pimentón 2 (de campo) 5X
Partículas pequeñas con gran homogeneidad en su color de tendencia roja-naranja



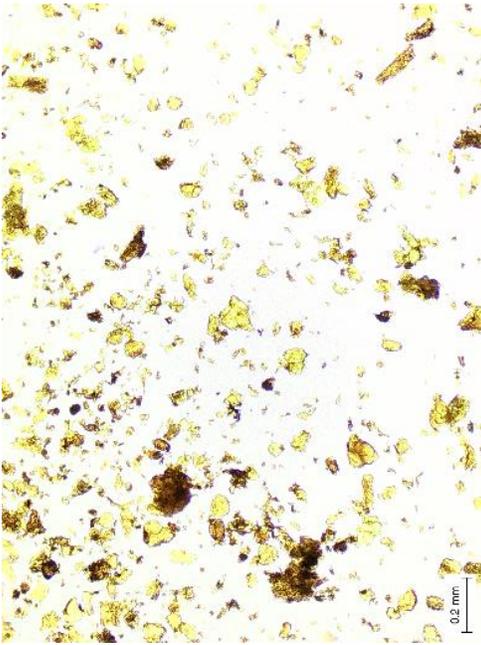
Pimentón 2 (de campo) 10X
Partículas con forma de gotas irregulares y textura rugosa, rodeada de cristales más pequeños de color tornasol.



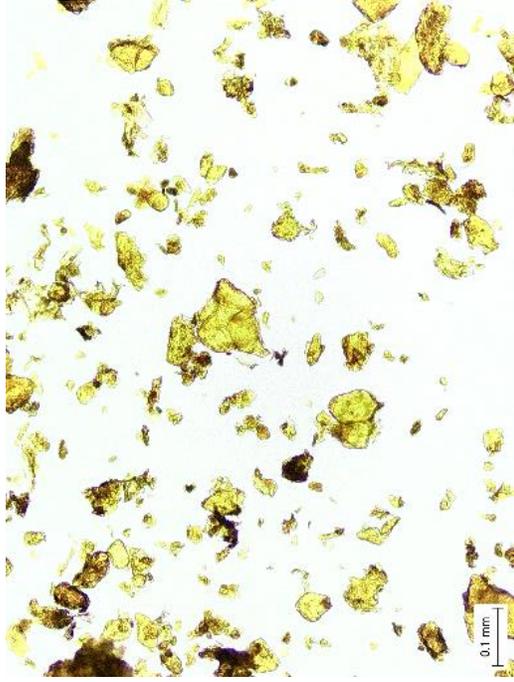
Paprika 5X
Partículas de forma irregular, en su mayoría con tendencias cilíndricas y redondas. De color tornasol con textura lechosa, rodeada de partículas rojas más pequeñas con brillos tornasol.



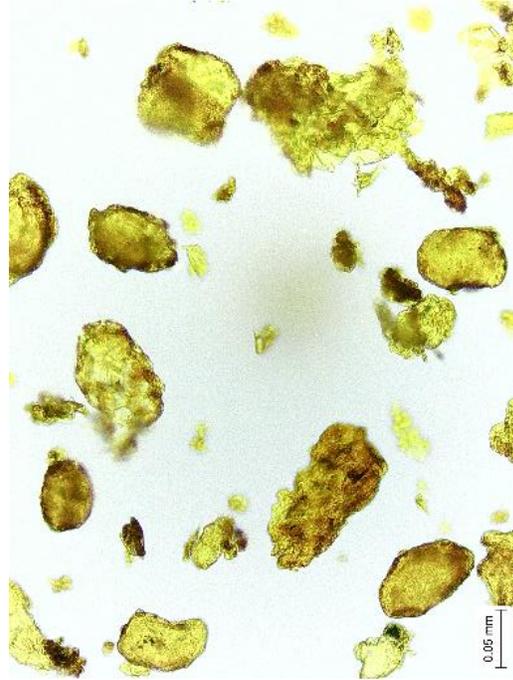
Paprika 10X
Se observan partículas en forma de gota irregular, rodeadas de cristales rojos-vino circulares más pequeños e irregulares.



Zoom 5X

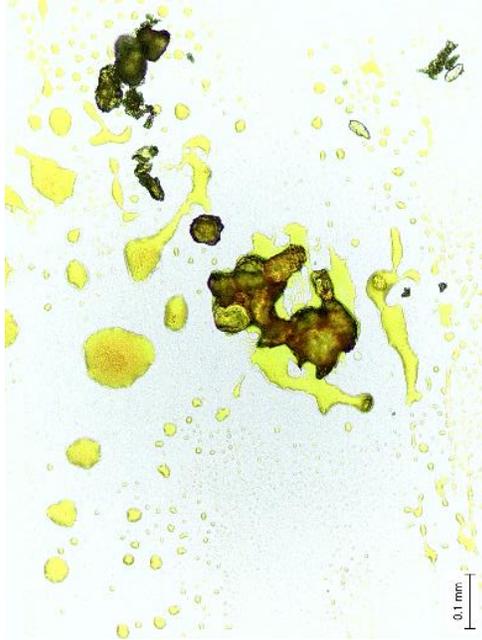


Zoom 10X



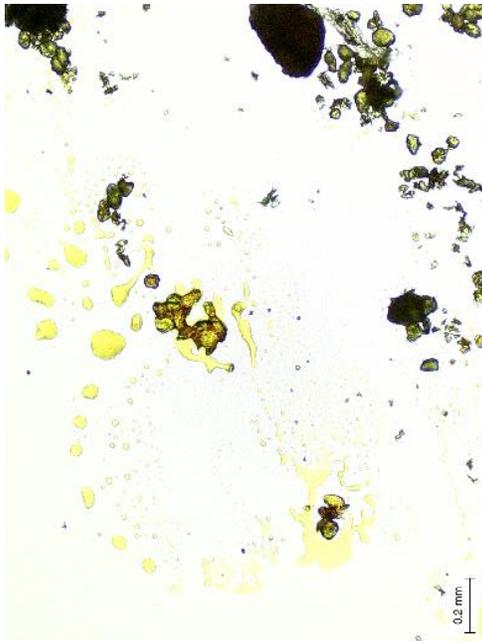
Zoom 20X

Figura 72. Microscopía óptica de la Cúrcuma suspendida en aceite mineral

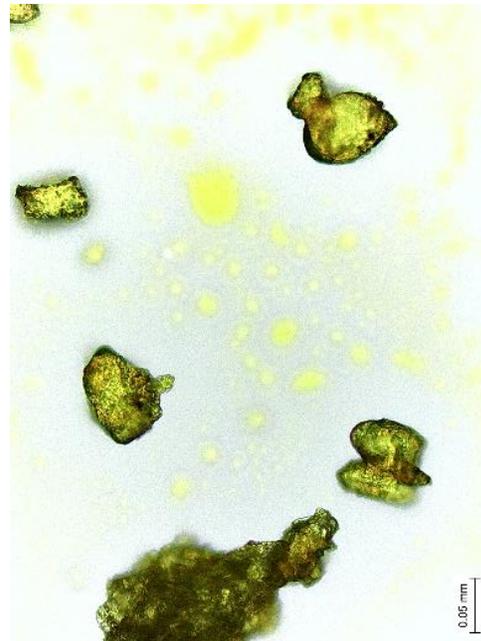


Zoom 10X

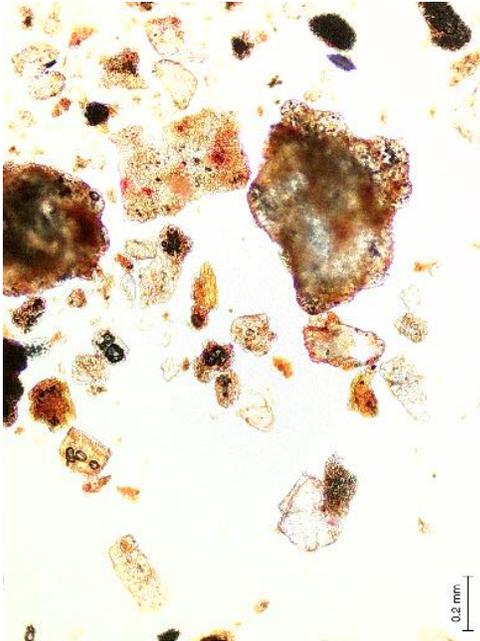
Figura 73. Microscopía óptica de Cúrcuma suspendida en acetona



Zoom 5X



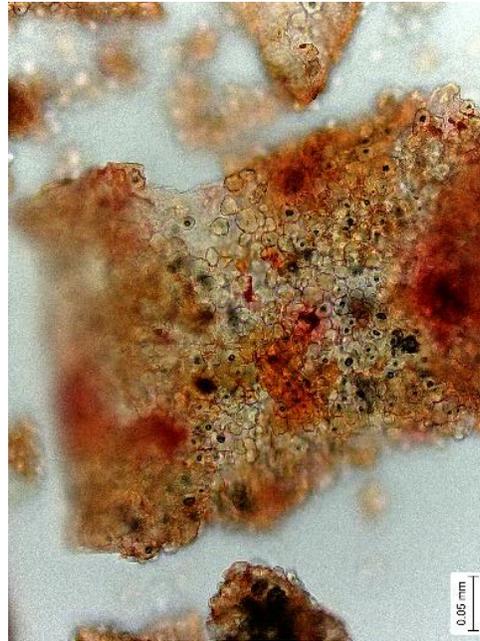
Zoom 20X



Zoom 5X

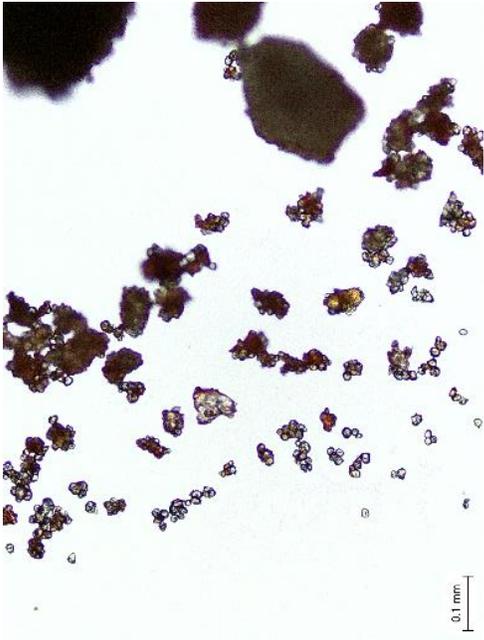


Zoom 10X



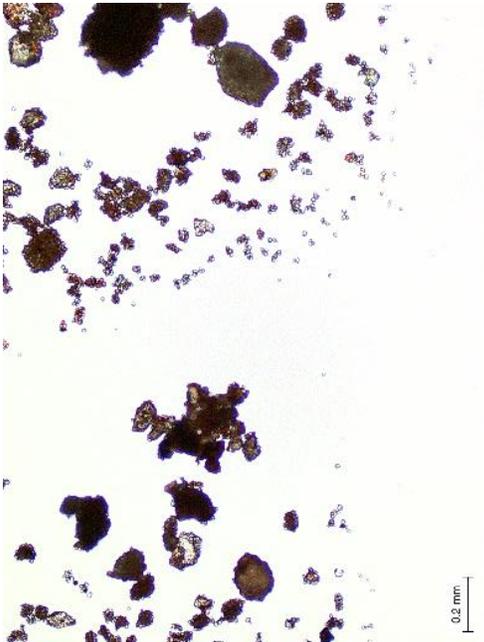
Zoom 20X

Figura 74. Microscopía óptica del Pimentón suspendido en aceite mineral

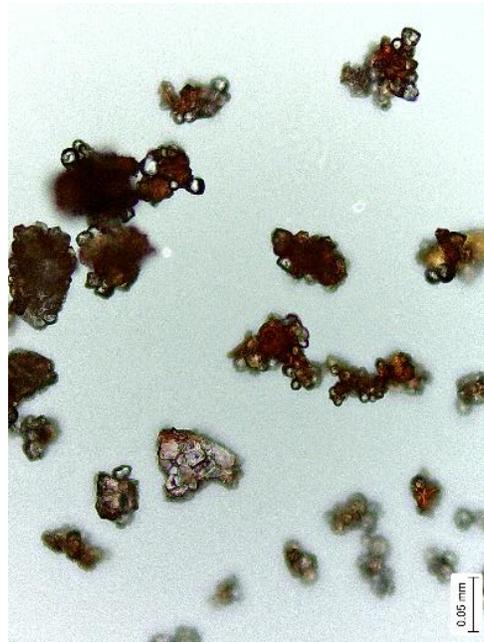


Zoom 10X

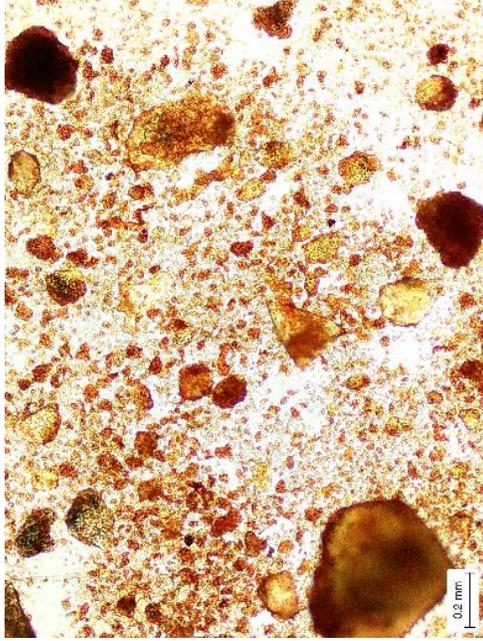
Figura 75. Microscopía óptica del Pimentón suspendido en acetona



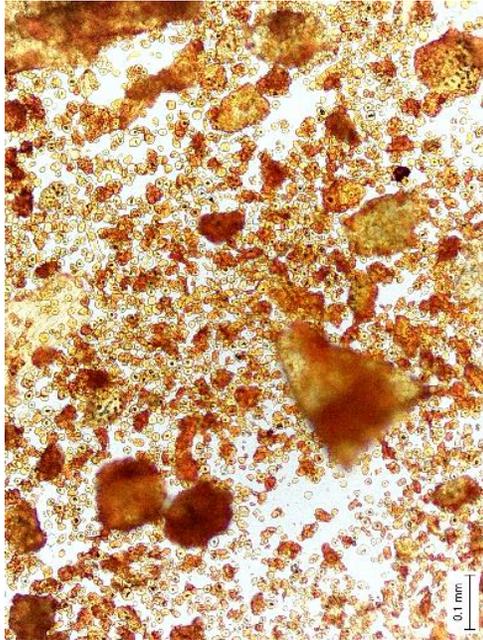
Zoom 5X



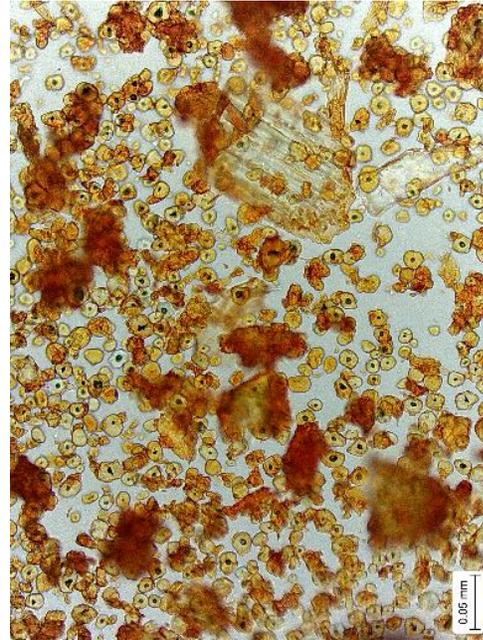
Zoom 20X



Zoom 5X

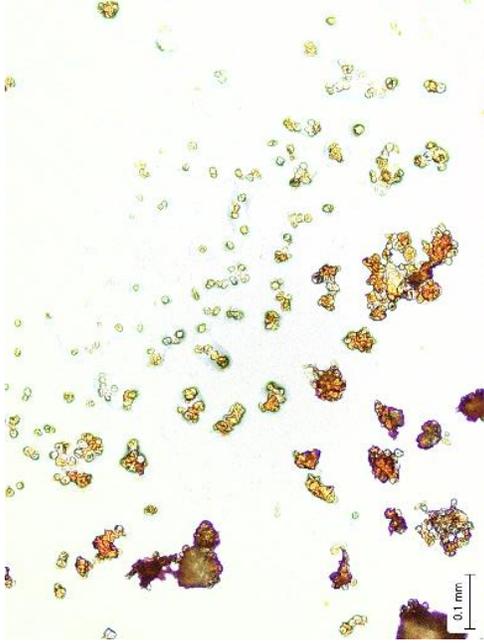


Zoom 10X

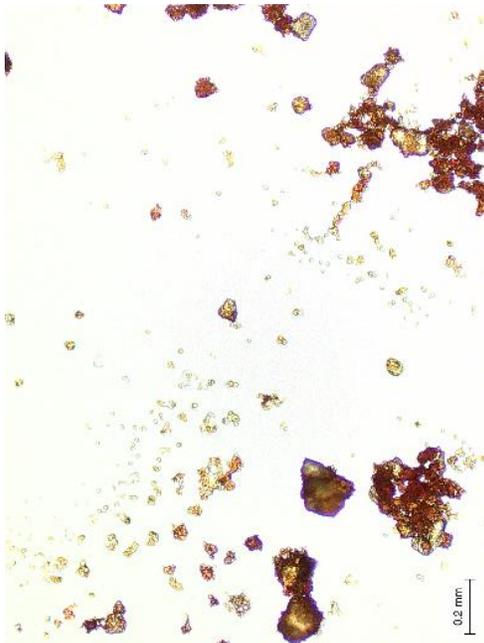


Zoom 20X

Figura 77. Microscopía óptica del Pimentón (2) suspendido en aceite mineral

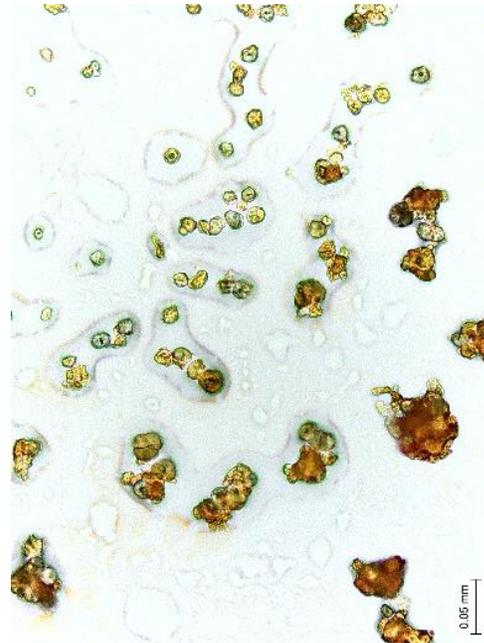


Zoom 10X

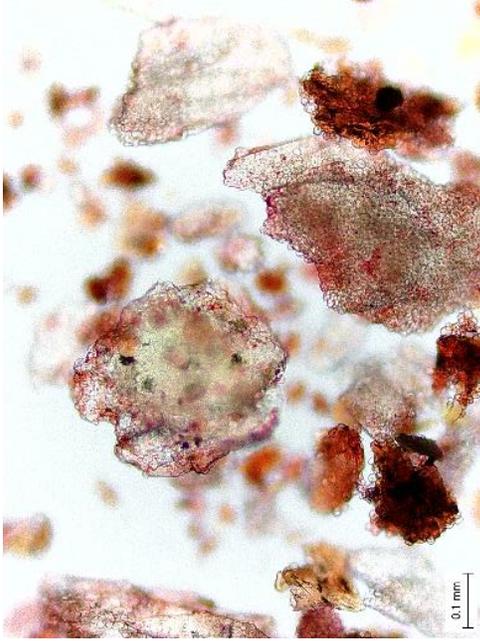


Zoom 5X

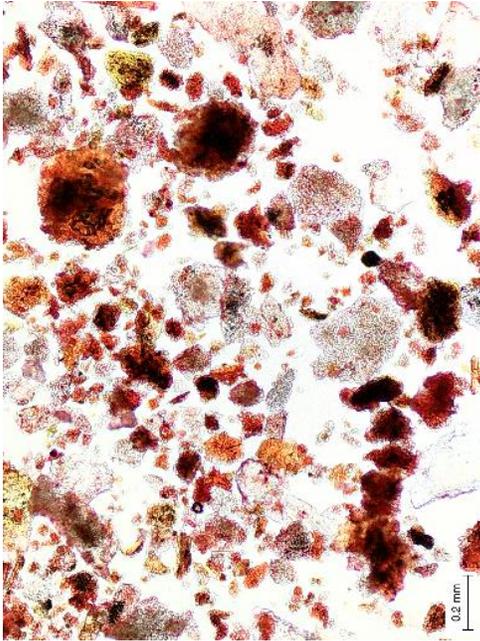
Figura 78. Microscopía óptica del Pimentón (2) suspendido en acetona



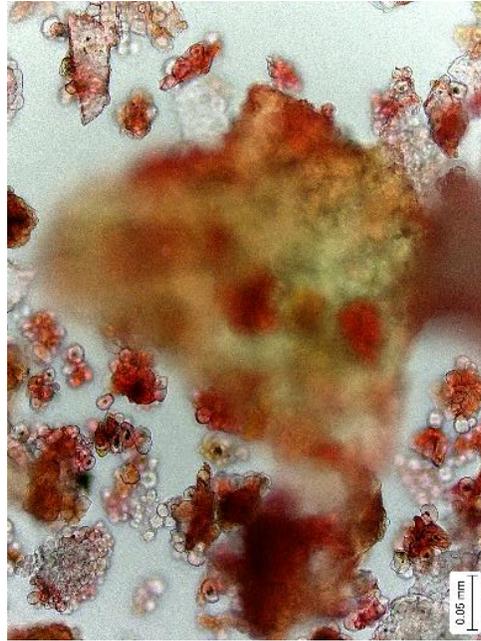
Zoom 20X



Zoom 10X

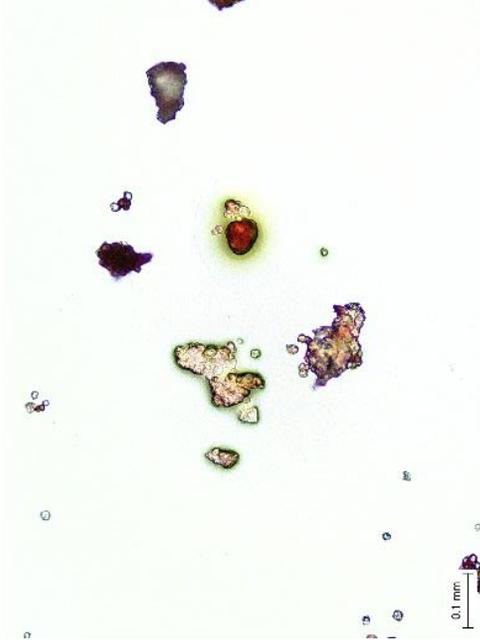


Zoom 5X



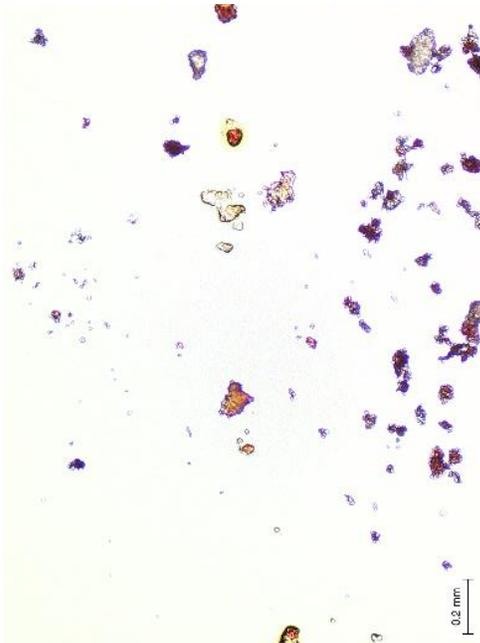
Zoom 20X

Figura 79. Microscopía óptica de la Paprika suspendida en aceite mineral

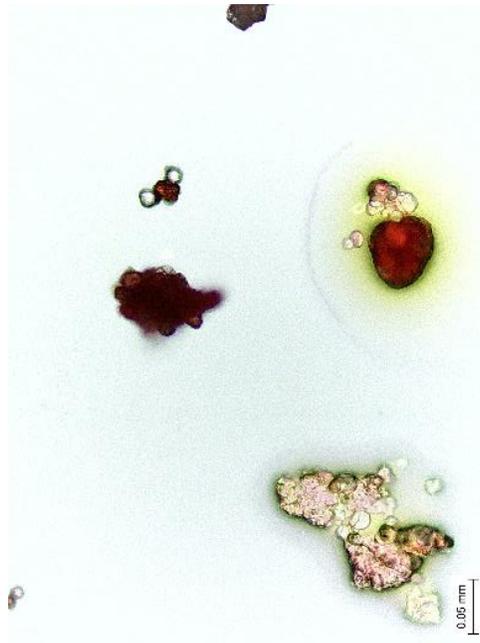


Zoom 10X

Figura 80. Microscopía óptica de la Paprika suspendida en acetona



Zoom 5X



Zoom 20X

En la microscopía de los pigmentos se observó que la forma de las partículas de la Cúrcuma tiene formas ovoides irregulares, sin embargo las del Pimentón y la Paprika se observaron con una estructura similar a las de un conjunto de burbujas.

En los medios de suspensión, los tres pigmentos se comportaron de manera similar al contacto con el aceite mineral, separando los aglomerados de las partículas observados en seco. En la suspensión en acetona se observó una coloración amarilla con la Cúrcuma, mientras que en el Pimentón se observó una reacción con la acetona, la cual cambió su color a verde en las partículas donde su tonalidad roja fue más oscura. En la Paprika, el cambio fue similar al del Pimentón pero con una mayor intensidad.

El tamaño de la partícula de la Cúrcuma fue de 0.05mm, mientras que la partícula del Pimentón fue de 0.01mm, este formaba aglomerados de 0.15mm. En la paprika se observó un tamaño de partícula similar al del Pimentón pero con aglomerados de hasta 0.2mm o mayores.

Con los datos anteriores, se esperó que la dispersión de los pigmentos en la carga fuera buena por el tamaño de partícula reducido en todos los pigmento. La Cúrcuma tuvo un tamaño de partícula menor y más dispersa que los otros pigmentos, se esperó que tuviera una mejor incorporación de los agregados. Se esperó que, la acción mecánica del mezclado dispersaría los aglomerados del Pimentón y la Paprika, y mediante la acción del agua, todos los ingredientes de la pintura que contenían las partículas de menor tamaño se incorporaran más fácilmente.

En la superficie de las probetas de Cúrcuma, se observó una textura homogénea. En las probetas donde se aplicó Pimentón y Paprika, en ambos casos se observaron ciertos grumos en la superficie, los cuales fueron aglomerados de partículas que no se dispersaron por completo en la pintura. Esto podría ser la causa de que en algunos sectores de la probeta, se tuviera una mayor concentración del color y la composición de la superficie al ser heterogénea se vuelve vulnerable a los efectos del agua.

Durante el desarrollo de la prueba de permeabilidad con el tubo Karsten, la capa pictórica al contacto con el agua, se saturó de tal manera que se separó del enlucido. En la

probeta A-105 (Ver Figura 81) que contenía el 100% de pigmento, se observó que en el caso de la Cúrcuma, el incremento de la concentración del pigmento hizo más vulnerable la capa pictórica a los efectos del agua.

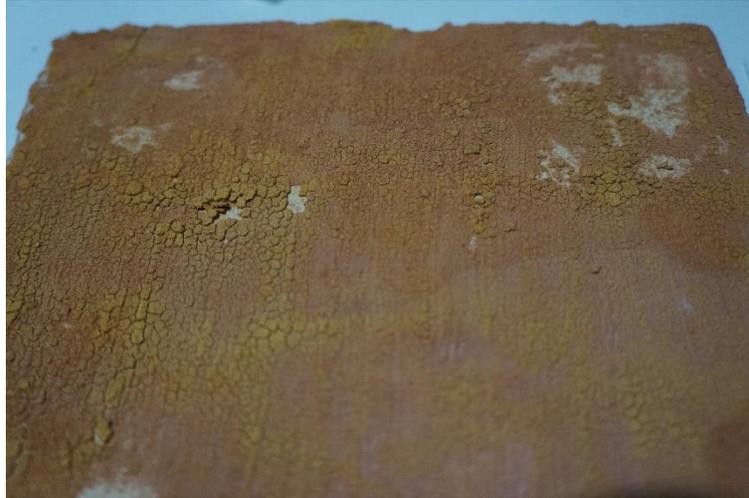


Figura 81. Superficie seca, posterior a la prueba de permeabilidad con el tubo *Karsten* de la probeta A-105

Se decidió cambiar la prueba de permeabilidad del tubo *Karsten* a la prueba de gota. Con esto se disminuyó el área a saturar de la probeta, y que esto permitiera tener área en buenas condiciones para las siguientes recolecciones de datos y pruebas. (Ver Figura 82).



Figura 82. Superficie de la probeta B-103, después de realizadas las pruebas de permeabilidad con el tubo *Karsten* y a la gota.

En los resultados de permeabilidad, las probetas a las que se le aplicó el mucílago de nopal como sellador final, aumentaron el tiempo en que la superficie absorbió el agua hasta cuatro

veces más, en comparación con las probetas que no tuvieron agregados extra o a las que se les agregó cal (Ver Figura 83), ya que el mucílago de nopal funcionó como agente reductor del tiempo de absorción de la capa pictórica.

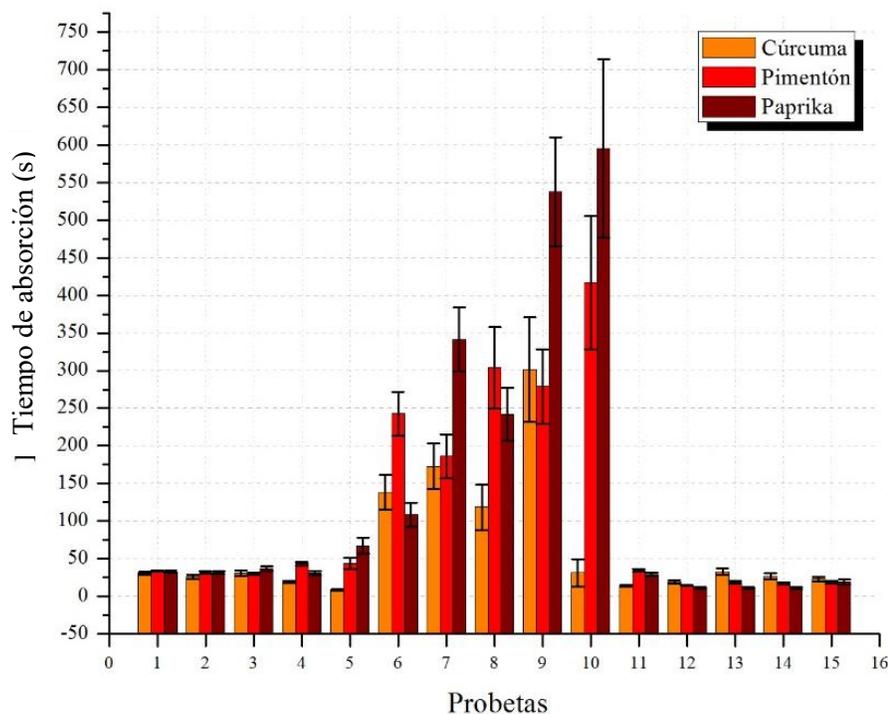


Figura 83. Resultados de permeabilidad de las probetas, en la cual de la 1-5 representan a las probetas sin agregados extra, del 6-10 son las probetas a las que se les agregó mucílago de nopal como sellador final y del 11-15 son aquellas a las que se les agregó cal

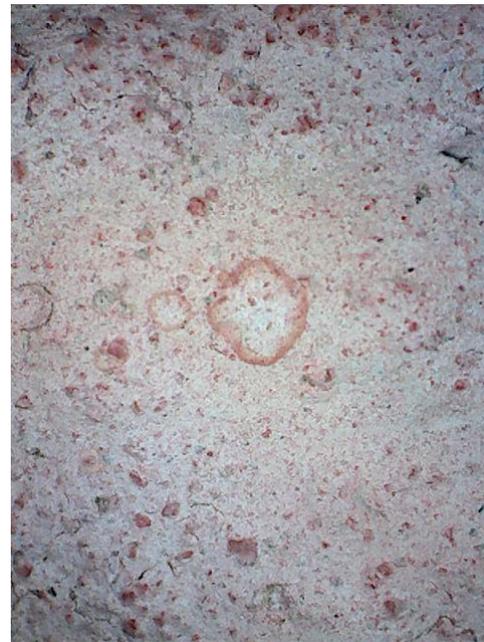
Con los resultados anteriores, se observó que el mucílago es viable como acabado final para la superficie de la capa pictórica, ya que modifica los tiempos de absorción. Otro factor que influyó en dichos tiempos fue el tamaño de partícula, que a pesar de que la Cúrcuma tuvo un tamaño de partícula mayor que el Pimentón y la Paprika ante la acción del agua, los aglomerados de las partículas se comportaron como una partícula de tamaño mayor, por tanto el tiempo de absorción fue mayor en ambos pigmentos, ya que después de atravesar la capa de mucílago, el agua penetró entre los aglomerados y al separarlos, tomó más tiempo que en el caso de la Cúrcuma.

En la microscopía óptica realizada con el microscopio portátil, se observó que en la superficie de la probeta C-103, el agua provocó que la distribución de las partículas en la superficie disminuyera en la zona que tuvo contacto con el agua, y se concentró en la orilla.

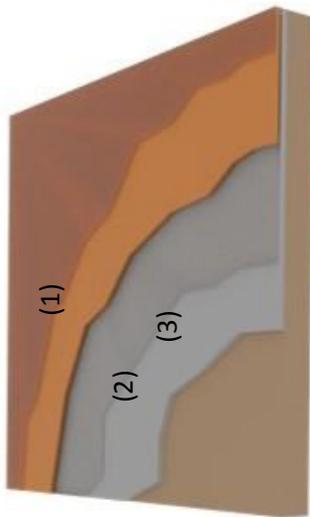
También se observó la formación de grietas en la superficie, por la contracción posterior a la pérdida de agua (Ver Figura 84).



(1)



(2)



(3)

Figura 84. Microscopía realizada con microscopio portátil

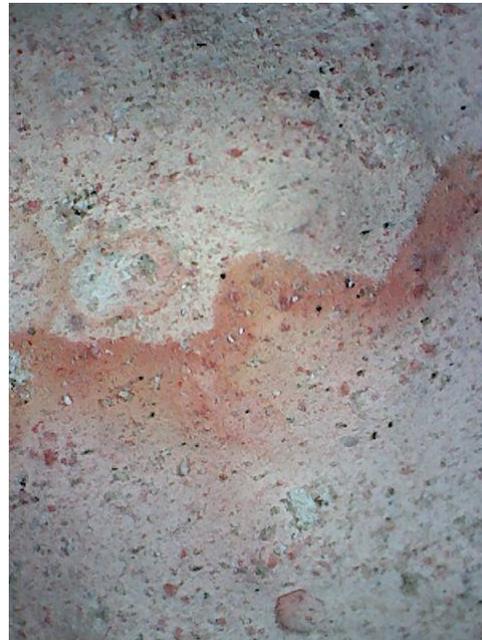
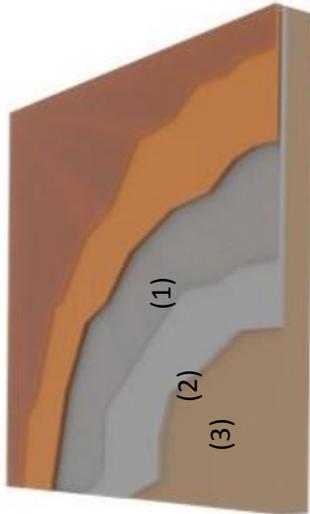
En la microscopía óptica realizada con el microscopio portátil en la superficie de la probeta C-303 (Ver Figura 85), se observaron características similares a las de la probeta C-103.



(1)



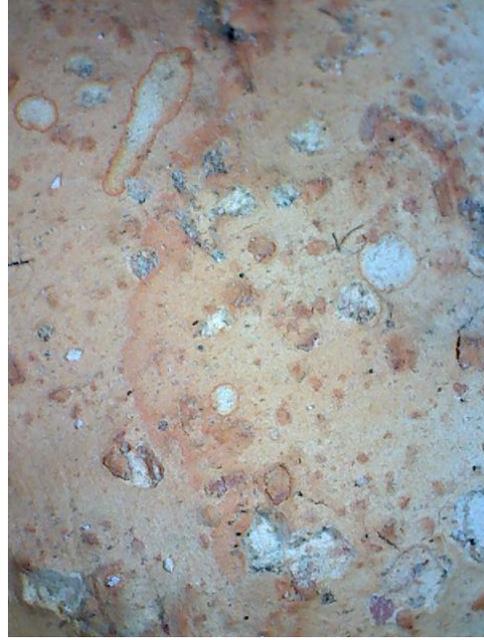
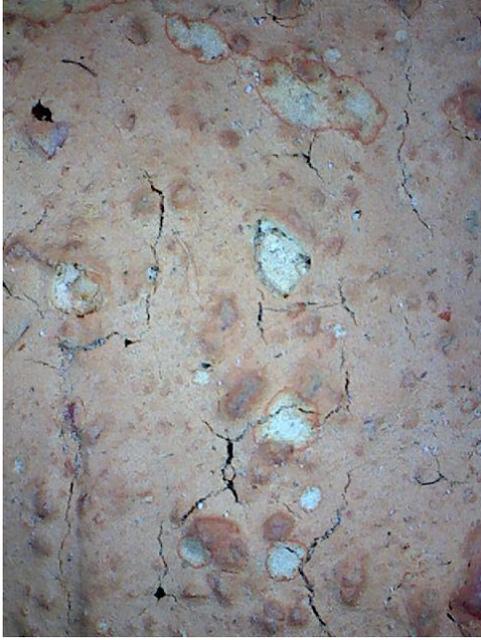
(2)



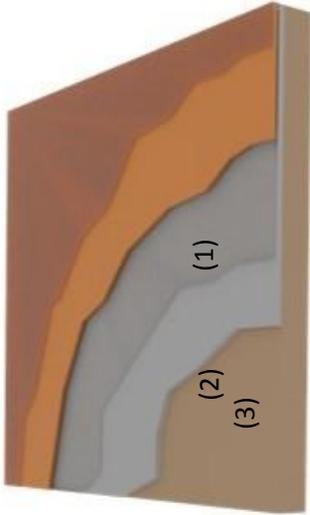
(3)

Figura 85. Microscopía realizada con microscopio portátil

En la microscopía óptica de la probeta B-103 se observaron grietas en las zonas en las cuales la capa pictórica no tuvo una uniformidad en el grosor. Además de observarse también halos de coloración en donde se tuvo contacto con el agua (Ver Figura 86).



(2)



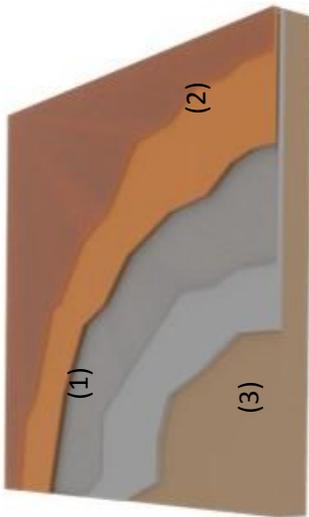
(3)

Figura 86. Microscopia realizada con microscopio portátil

En la microscopía óptica de la probeta B-303 se observaron grietas en las zonas en las cuales la capa pictórica tuvo contacto con el agua, y la formación de halos de coloración. (Ver Figura 86).



(2)



(3)

Figura 87. Microscopía realizada con microscopio portátil

De las figuras anteriores, se observó que la acción de agua modificó la capa pictórica, ya que saturó la superficie de la probeta, lo que provocó que los tres pigmentos se comportaran de la misma manera, suspendiendo los pigmentos en el agua de tal manera que mientras el agua se absorbía, los pigmentos se distribuyeron en la orilla del área de contacto. Con la prueba del rayado se buscó comprobar si la dureza se modificaba con el paso del tiempo.

Los resultados de la resistencia al rayado en las probetas de Cúrcuma que no tuvieron agregados extra (A-101 a A-105), solo una alcanzó una dureza de hasta 2. Mientras que las que tuvieron un acabado final de mucílago de nopal como sellador (A-201 a A-205), tres probetas de las cinco alcanzaron una dureza de 2. En las probetas en las que se agregó cal (A-301 a A-305) tres probetas alcanzaron dureza 3. (Ver Tabla 19).

Tabla 19. Dureza de las probetas A-101 a A-305, en donde se observa la dureza inicial, dureza intermedia, dureza final y la dureza promedio de cada probeta

Probeta	Dureza inicial (Semana 1)	Dureza intermedia (Semana 5)	Dureza final (Semana 10)
A-101	1	2	2
A-102	1	2	2
A-103	1	2	2
A-104	1	2	2
A-105	1	2	2
A-201	1	2	2
A-202	1	2	2
A-203	1	2	2
A-204	1	3	3
A-205	1	2	2
A-301	1	2	2
A-302	1	2	2
A-303	1	2	3
A-304	1	2	3
A-305	2	2	3

La dureza de las probetas de Pimentón que no tuvieron agregados extra (B-101 a B-105) tres de las cinco probetas alcanzaron una dureza de 2. En el caso de las probetas con mucílago de nopal como sellador (B-201 a B-205) dos probetas alcanzaron dureza 2 y otras dos probetas alcanzaron 3. Y en el caso de las probetas a las que se les agregó cal (B-301 a B-305) tres de las cinco alcanzaron una dureza 3. (Ver Tabla 20).

Tabla 20. Dureza de las probetas B-101 a B-305, en donde se observa la dureza inicial, dureza intermedia, dureza final y la dureza promedio de cada probeta

Probeta	Dureza inicial (Semana 1)	Dureza intermedia (Semana 5)	Dureza final (Semana 10)
B-101	1	2	2
B-102	1	2	2
B-103	1	2	2
B-104	1	2	2
B-105	1	2	2
B-201	1	2	2
B-202	1	2	2
B-203	1	2	2
B-204	1	2	3
B-205	1	2	3
B-301	1	2	2
B-302	1	2	2
B-303	1	2	3
B-304	1	2	3
B-305	2	3	3

La dureza de las probetas de Paprika que no tuvieron agregados extra (C-101 a C-105) dos de las cinco probetas alcanzaron una dureza de 2. En las probetas en la que se agregó mucílago de nopal como sellador final (B-101 a B-105), tres probetas alcanzaron una dureza de 3. Y en las probetas a las que se les agregó cal (C-101 a C-105) dos probetas alcanzaron dureza 3 (Ver Tabla 21).

Tabla 21. Dureza de las probetas C-101 a C-305, en donde se observa la dureza inicial, dureza intermedia, dureza final y la dureza promedio de cada probeta

Probeta	Dureza inicial (Semana 1)	Dureza intermedia (Semana 5)	Dureza final (Semana 10)
C-101	1	2	2
C-102	1	2	2
C-103	1	2	2
C-104	1	2	2
C-105	1	2	2
C-201	1	2	2
C-202	1	2	2
C-203	1	2	3
C-204	1	2	3
C-205	1	2	3
C-301	1	2	2
C-302	1	2	2
C-303	1	2	2
C-304	1	2	3
C-305	1	3	3

Con los resultados anteriores, se observó que en los tres pigmentos, la dureza aumenta en las concentraciones de 50% y 100% ya que hay una mayor cantidad de material que se resiste al rayado. Sin embargo, las probetas que alcanzaron la mayor dureza en un menor tiempo fueron las A-204, B-305 y C-305. Esto indica que, el mucílago de nopal es capaz de alcanzar una dureza similar al de la cal en un menor tiempo al acoplarse con las partículas de Cúrcuma. Además, que mientras las partículas de calcita contenidas en la capa pictórica forman una película rígida que ante la acción del rayado provoca un desprendimiento de la película. En el caso del mucílago de nopal, forma una película flexible que ante el rayado se observa la incidencia sin desprendimiento de material. Estos resultados se compararon con la prueba de adhesividad.

En la adhesividad de la capa pictórica que se obtuvo del primer grupo de formulaciones previas, se observó que las que tuvieron una mayor adhesión, presentaron una

baja maleabilidad como pintura, sin embargo no se descartó la probabilidad de ser utilizado como mortero. De estas fórmulas, se seleccionó la FP-007 por ser la que tuvo el mejor comportamiento en su aplicación a pesar de que fue la fórmula que presentó la mayor pulverulencia. Por lo cual se buscó un agregado que aumentara su adhesividad.

Con los lineamientos establecidos por la norma su clasificación fue la siguiente (ASTM, 2016):

Tabla 22. Clasificación de la adherencia de la capa pictórica de las probetas FP-001 a FP-007 según la norma ASTM-D-3359-02

Probeta	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
FP-001	0B	0B	1B
FP-002	3B	4B	4B
FP-003	0B	1B	1B
FP-004	3B	5B	5B
FP-005	0B	1B	0B
FP-006	1B	0B	1B
FP-007	0B	0B	1B

En las probetas finales, con los lineamientos establecidos por la norma ASTM-D-3359-02 su clasificación fue la siguiente:

Tabla 23. Clasificación de la adherencia de la capa pictórica de las probetas A-101 a 1-305 según la norma ASTM-D-3359-02

Probeta	Semana 1	Semana 5	Semana 10
A-101	5B	4B	4B
A-102	1B	1B	1B
A-103	0B	0B	0B
A-104	1B	0B	0B
A-105	1B	0B	0B
A-201	4B	4B	4B
A-202	0B	0B	0B
A-203	1B	1B	1B
A-204	1B	0B	1B
A-205	2B	0B	1B
A-301	4B	4B	4B
A-302	2B	1B	1B
A-303	1B	2B	2B
A-304	0B	1B	2B
A-305	2B	1B	1B

Con los lineamientos establecidos por la norma ASTM-D-3359-02 su clasificación fue la siguiente:

Tabla 24. Clasificación de la adherencia de la capa pictórica de las probetas FP-001 a FP-007 según la norma ASTM-D-3359-02

Probeta	Semana 1	Semana 5	Semana 10
B-101	4B	4B	4B
B-102	4B	4B	4B
B-103	1B	2B	2B
B-104	1B	1B	0B
B-105	0B	0B	0B
B-201	2B	3B	3B
B-202	2B	2B	3B
B-203	1B	2B	2B
B-204	0B	0B	1B
B-205	3B	0B	0B
B-301	4B	4B	4B
B-302	0B	1B	1B
B-303	2B	1B	0B
B-304	0B	1B	2B
B-305	2B	3B	2B

Tomando como referencia los lineamientos establecidos por la norma ASTM-D-3359-02 su clasificación fue la siguiente:

Tabla 25. Clasificación de la adherencia de la capa pictórica de las probetas C-101 a C-305 según la norma ASTM-D-3359-02

Probeta	Semana 1	Semana 5	Semana 10
C-101	4B	4B	4B
C-102	3B	3B	3B
C-103	2B	1B	2B
C-104	0B	1B	0B
C-105	0B	0B	0B
C-201	3B	2B	1B
C-202	1B	1B	1B
C-203	1B	1B	0B
C-204	1B	0B	0B
C-205	0B	0B	0B
C-301	4B	4B	4B
C-302	2B	1B	1B
C-303	0B	0B	0B
C-304	0B	0B	0B
C-305	2B	0B	3B

Con los datos anteriores se observó que, en las probetas de 50% y 100% de concentración, no hubo adhesión de la pintura al sustrato en las probetas sin agregados y con mucílago de nopal. Esto fue resultado de la sobre saturación provocada por la cantidad pigmento. En el caso de las probetas a las que se les agregó cal, tuvieron mayor adhesividad, pero esto solo es reproducible en las probetas de Pimentón. En el caso de la concentración de 1%, la adhesividad tuvo valor de 4B en todos los casos, ya que la cantidad de pigmento no fue significativa para formar una película que se pudiera desprender. En el caso de la concentración de 10% y 25% se observaron cambios en el experimento, ya que la Cúrcuma tuvo una menor adhesión que el Pimentón y la Paprika.

Los rendimientos de cada una de las fórmulas aplicadas en las tablillas, tuvieron los siguientes resultados:

Tabla 26. Rendimiento de la pintura aplicada en tablilla de laboratorio y costos del m² aplicado a 2 manos

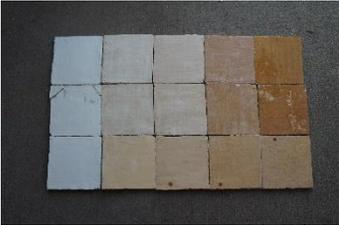
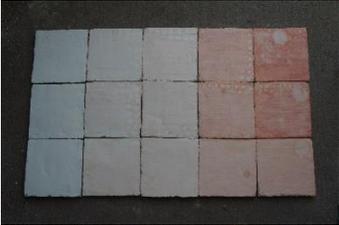
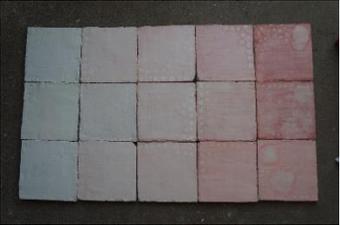
Fórmula	Rendimiento por litro (m ² /L) ⁴⁶	Precio del m ² a dos manos ⁴⁷	Fórmula	Rendimiento por litro (m ² /L)	Precio del m ² a dos manos	Fórmula	Rendimiento por litro (m ² /L)	Precio del m ² a dos manos
A-101	6.15	\$16.88	B-101	5.33	\$19.24	C-101	4.00	\$25.47
A-102	3.2	\$41.98	B-102	4.00	\$32.07	C-102	5.33	\$22.74
A-103	3.48	\$48.99	B-103	5.33	\$30.16	C-103	5.33	\$26.28
A-104	3.2	\$70.11	B-104	4.00	\$46.09	C-104	5.33	\$30.07
A-105	3.2	\$80.18	B-105	3.2	\$66.69	C-105	3.20	\$56.19
A-201	6.15	\$16.88	B-201	5.33	\$19.24	C-201	4.00	\$25.47
A-202	5.33	\$25.19	B-202	4.00	\$32.07	C-202	5.33	\$22.74
A-203	3.48	\$48.99	B-203	5.33	\$30.16	C-203	5.33	\$26.28
A-204	3.2	\$70.11	B-204	4.00	\$46.09	C-204	3.20	\$50.11
A-205	3.2	\$80.18	B-205	1.84	\$116.04	C-205	3.20	\$56.19
A-301	4	\$24.45	B-301	10.00	\$11.15	C-301	6.15	\$16.56
A-302	3.2	\$35.72	B-302	2.67	\$41.86	C-302	3.20	\$36.41
A-303	2.16	\$58.39	B-303	2.67	\$50.97	C-303	3.20	\$39.61
A-304	2.67	\$64.11	B-304	2.29	\$58.92	C-304	2.29	\$49.21
A-305	3.2	\$56.23	B-305	2.29	\$63.22	C-305	3.20	\$40.24

Se presentaron las fotografías impresas en las cuales se colocaron los grupos de probetas por pigmento y su cambio de coloración en 10 semanas. Se realizó una reunión y se presentaron con las personas integrantes de la localidad de San Sebastián Villanueva, los resultados de la degradación del color de las probetas.

⁴⁶ Los datos del rendimiento no incluyen desperdicios por aplicación.

⁴⁷ El precio del metro cuadrado de pintura aplicada incluye: aplicación de dos manos de pintura y el costo directo de la pintura. No incluye costos indirectos de elaboración y aplicación de la pintura. Los precios son tomados de Marzo del 2017.

Tabla 27. Probetas en las que se observan las tres etapas de la experimentación de Cúrcuma (izquierda), Pimentón (centro) y Paprika (derecha)

Probetas de Cúrcuma	Probetas de Pimentón	Probetas de Paprika
		
1º semana	1º semana	1º semana
		
5º semana	5º semana	5º semana
		
10º semana	10º semana	10º semana

Las pinturas elegidas por los integrantes de la comunidad fueron: B-304, B-204 y C-304, a las cuales se les agregaron las siguientes variables para tener las siguientes probetas:

Tabla 28. Características de las probetas, de acuerdo a las pinturas que fueron seleccionadas por los integrantes de la comunidad

Probeta	Características
M-001	B-304
M-002	B-204 + recubrimiento final de mucílago de nopal
M-003	C-304
M-004	C-304 + recubrimiento final de mucílago de nopal

La pintura se presentó como un producto, con nombre y logo (Ver Figura 88). La finalidad del desarrollo de la pintura como producto fue el facilitar el proceso de la transferencia

tecnológica de la experimentación en laboratorio hacia el desarrollo en la comunidad. Se necesitaba que el producto fuera lo suficientemente claro para poder elaborarse por parte de una persona totalmente ajena al proceso de elaboración en laboratorio.

Se eligió la palabra *Boon* del idioma maya que significa “color”, una palabra corta de fácil pronunciación. Al logo se le agregó una imagen que formó parte tanto del nombre como para enfatizar el origen vegetal de la pintura. Y finalmente un slogan que representó la finalidad de elaborar el producto.



Figura 88. Logo y slogan de la pintura desarrollada

Junto con la pintura también se agregaron las instrucciones para que su elaboración fuera totalmente realizada por parte de los participantes sin intervenciones de personas externas. Además el recipiente mismo se cuantificó de tal manera que fungiera como herramienta de medición para los líquidos a agregar para la pintura. Teniendo tres etiquetas para los diferentes componentes de la pintura: la carga (Ver Figura 89), el pigmento (Ver Figura 90) y la cal (Ver Figura 91).

<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Agregue agua hasta la marca</p> <p>RECOMENDACIONES PREVIAS A LA APLICACIÓN DE LA PINTURA:</p> <p>Asegúrese de que la superficie a pintar se encuentre limpia, libre de grasa y/o polvo.</p> <p>Conserve este recipiente en un ambiente fresco y seco.</p> <p>EQUIPO DE SEGURIDAD RECOMENDADO:</p> <p>Guantes Mascarilla respirador desechable Lentes de seguridad</p> <p>PRECAUCIÓN:</p> <p>No ingiera el contenido de este recipiente.</p> <p>Manténgase lejos del alcance de los niños.</p> <p>Mantenga el producto en un lugar fresco y seco.</p>	<p>Pintura vegetal para interiores</p> <p>1</p> 	<p>INSTRUCCIONES:</p> <p>⇒ Vacíe el contenido del recipiente 1 en un recipiente, junto con el recipiente no. 2.</p> <p>⇒ Incorpore ambos ingredientes con una espátula cuidadosamente hasta integrar los materiales..</p> <p>⇒ Agregue el contenido del recipiente 3 hasta que el color sea completamente uniforme.</p> <p>⇒ Llenar los recipientes 1 y 2 con agua hasta la señal <i>Agregue agua hasta la marca</i>, e incorporarlo poco a poco.</p> <p>⇒ Agitar vigorosamente hasta incorporar todos los ingredientes, descartando la presencia de grumos.</p> <p>⇒ Cuando la mezcla sea homogénea, esta se encuentra lista para aplicar</p> <p>⇒ Mover la mezcla cada vez que se vaya a tomar pintura con la brocha.</p>
--	---	--

Figura 89. Etiqueta del envase de la carga, en la cual se observan las medidas, equipo de seguridad necesario para la manipulación del material e instrucciones de la elaboración de la pintura

<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Agregue agua hasta la marca</p> <p>EQUIPO DE SEGURIDAD RECOMENDADO:</p> <p>Guantes Mascarilla respirador desechable Lentes de seguridad</p> <p>PRECAUCIÓN:</p> <p>No ingiera el contenido de este recipiente.</p> <p>Manténgase lejos del alcance de los niños.</p>	<p>Pintura vegetal para interiores</p> <p>2</p> 	<p>La pintura <i>Boon</i>, viene del vocablo maya que significa <i>color</i>.</p> <p>Esta pintura está elaborada con ingredientes naturales, libres de procesos químicos tóxicos. .</p> <p>Conserve este recipiente en un ambiente fresco y seco.</p>
--	---	---

Figura 90. Etiqueta del envase del pigmento, en la cual se observan las medidas y equipos de seguridad necesarios para la manipulación del material, y una breve reseña del producto



Figura 91. Etiqueta del envase de cal, en la cual se observan las medidas y equipos de seguridad necesarios para la manipulación del material, y una breve reseña del producto

En la reunión de la elaboración de la pintura, la primera reacción de los habitantes fue preguntarse qué era cada uno de los envases que se les presentaron. Tomaron los envases y leyeron las instrucciones, además se organizaron en tres cuadrillas de: elaboración de la pintura, sellado de la superficie y aplicación de la pintura, así como un rol en el cual todos participaron en cada una de las actividades. En general la recepción de los habitantes hacia la pintura fue buena.

Los resultados obtenidos de la colorimetría fueron los siguientes:

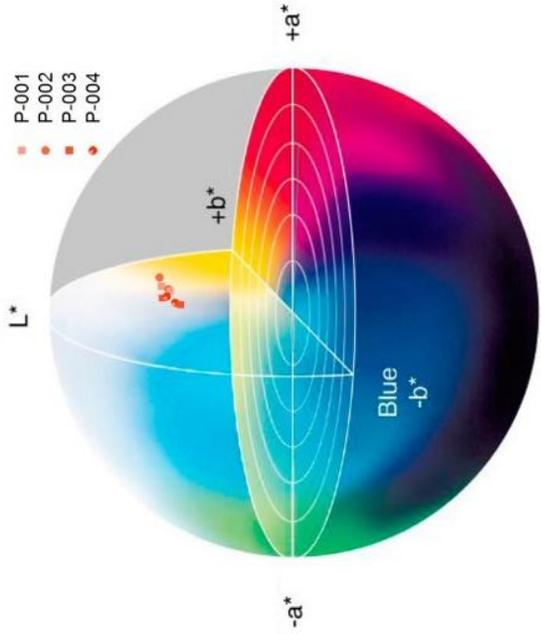
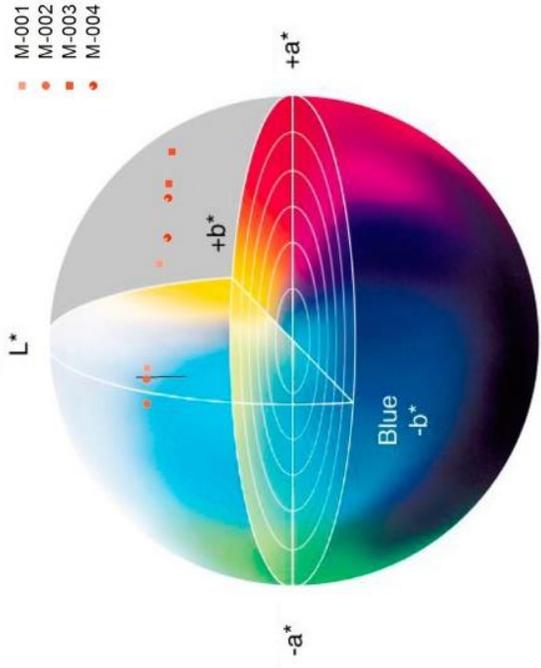
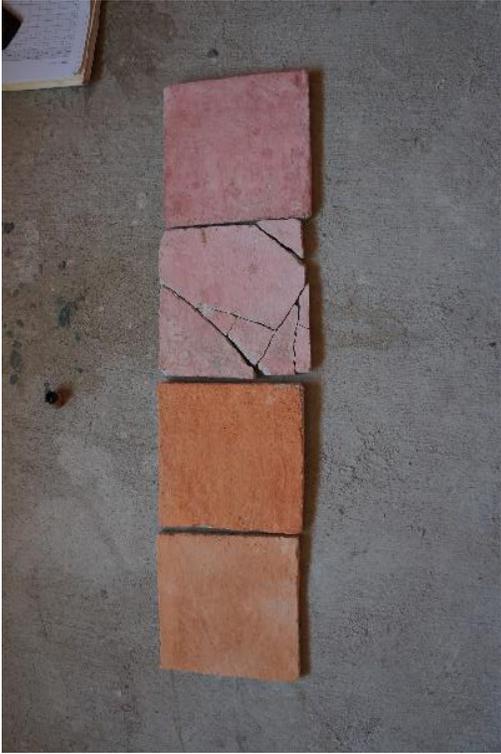
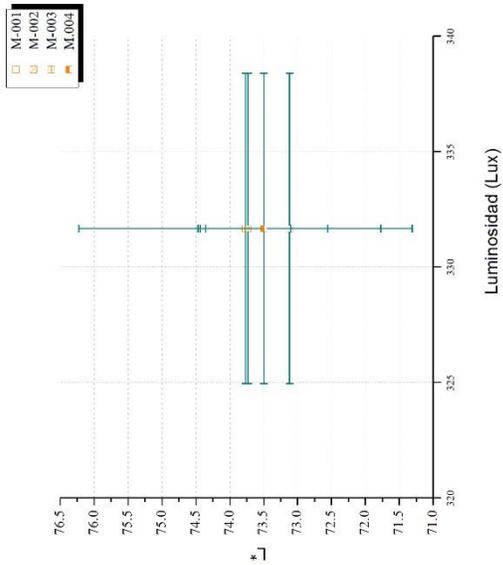
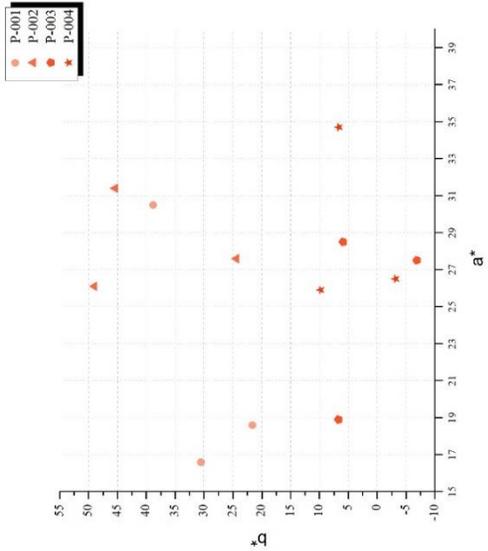


Figura 92. Probetas de campo (izquierda) y pintura puesta en muro, debajo las gráficas de coordenadas $L^*a^*b^*$ de ambos tipos de probetas (derecha)

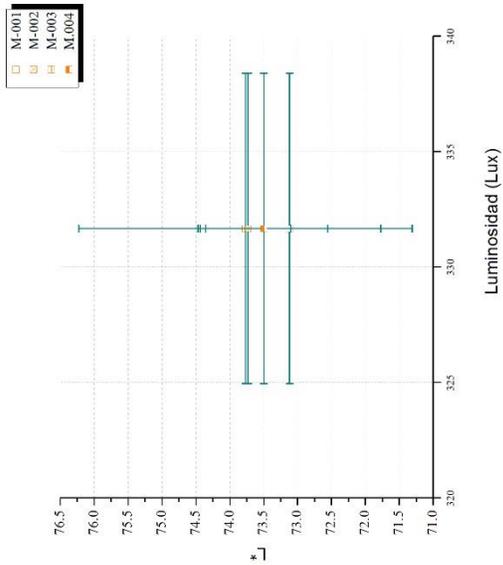
Las coordenadas recabadas en las tres sesiones de recolección de datos en el formato E-002, de la etapa de la evaluación con una duración de diez semanas. En la colorimetría se obtuvieron las siguientes gráficas, que se representaron la posición promedio de cada una de las probetas dentro del espacio de color CIE $L^*a^*b^*$. Se obtuvieron los siguientes resultados representados en la siguiente figura:



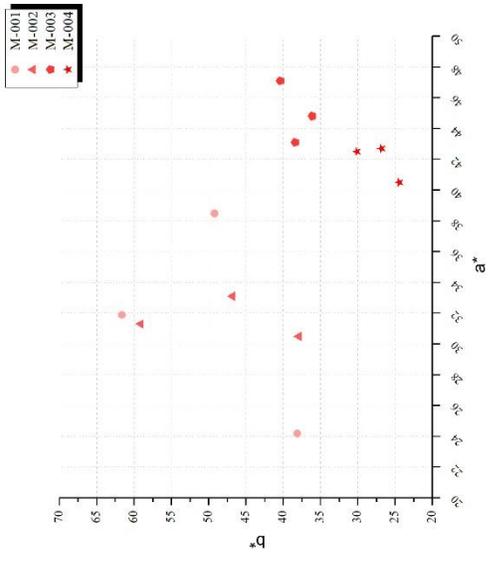
(1)



(3)



(2)



(4)

Figura 93. (1) Coordenada L^*/Lux de las probetas de laboratorio (P-001 a P-004), (2) Coordenada L^*/Lux de las probetas de campo (M-001 a M-004), (3) Coordenadas a^*/b^* de las probetas de laboratorio (P-001 a P-004), (4) Coordenadas a^*/b^* de las probetas de campo (M-001 a M-004)

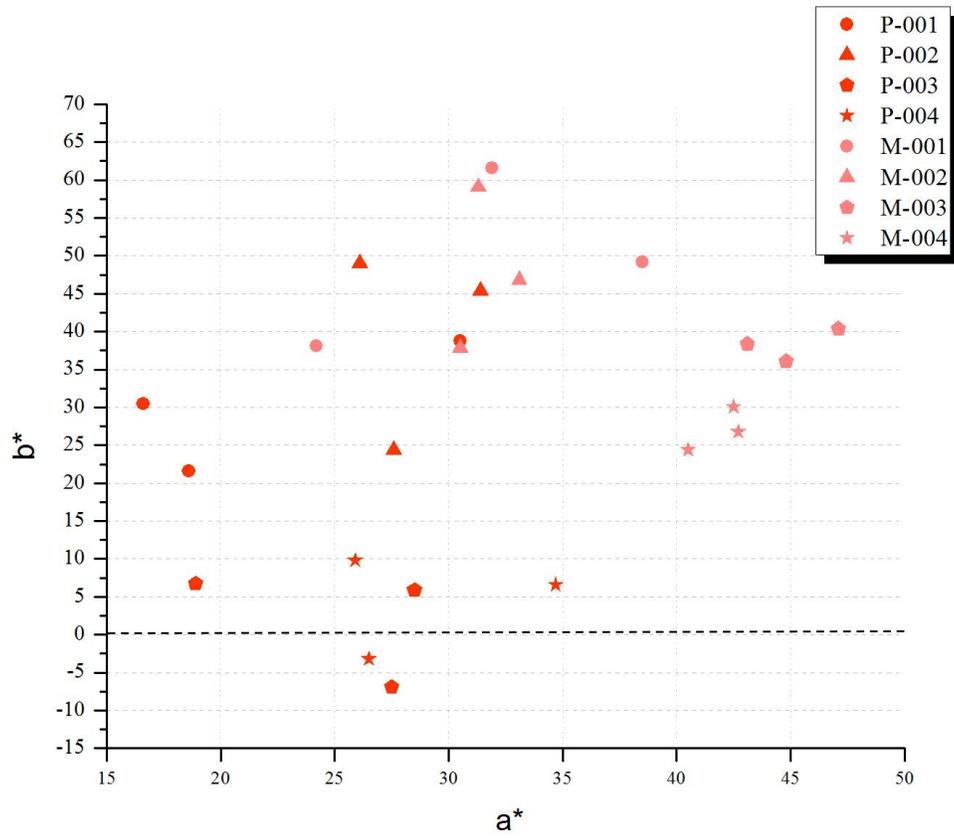


Figura 94. Coordenadas a*/b* de las probetas probadas en campo, en donde se observó el comportamiento de la degradación del color con los dos enlucidos de cada superficie

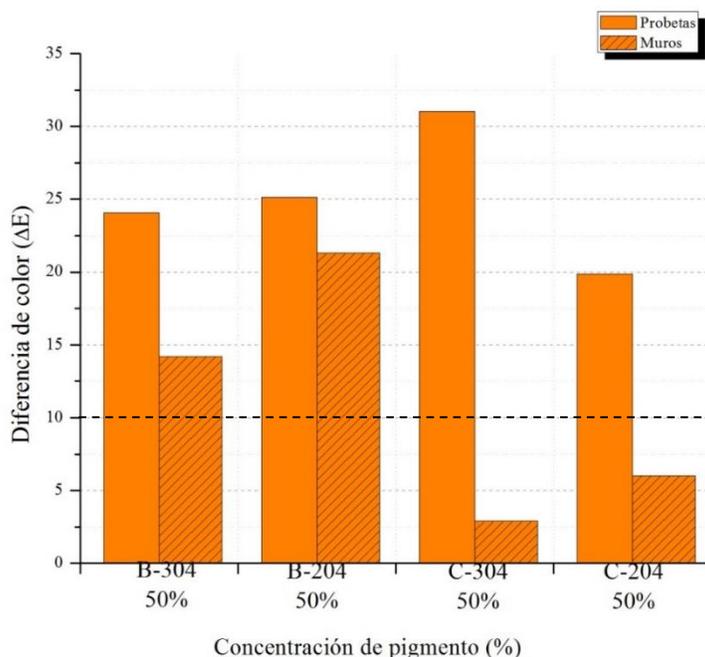


Figura 95. Diferencia de color (ΔE) de cada pintura evaluada en campo según su porcentaje de concentración de pigmento, en probeta y en muro

La textura de la superficie tanto de las probetas como las muestras en muro, no influyeron en las medidas del color, porque esta era completamente homogénea. En estos resultados, la concentración del pigmento no incluyó en los resultados, ya que se utilizó la misma concentración del 50% para todas las probetas.

En las gráficas anteriores se observó la ubicación de las coordenadas de color con respecto al soporte de la capa pictórica y se observó una mayor dispersión en las probetas con el enlucido fino preparado en laboratorio que en soporte del muro de la vivienda.

Al comparar los agregados en las probetas de Pimentón, las que tenían el enlucido fino de laboratorio, tuvieron una diferencia de color mayor que la pintura que se aplicó sobre el enlucido del muro de la vivienda, mientras que en la probeta en la que no se aplicó mucilago de nopal como acabado final no. En las probetas de Paprika, las que se aplicaron en el muro fueron las que tuvieron una diferencia mayor de color. Dicho cambio de color puede estar relacionado a las características de los materiales de los soportes ya mencionados y que modifican las características de la capa pictórica y que se a continuación se mencionan.

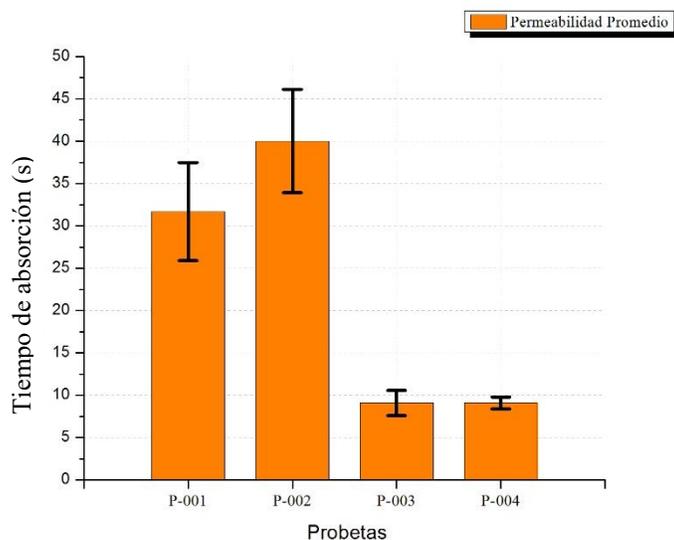


Figura 96. Permeabilidad promedio de las Probetas P-001 a P-004 evaluadas en campo indicando la variación estándar.

La prueba de permeabilidad se realizó solo en las probetas con el enlucido fino del laboratorio, en las que la probeta a la que se le aplicó cal, aumentó su tiempo de absorción tres veces más y la probeta a la que se le aplicó mucílago de nopal hasta cinco veces más, en comparación con las probetas que contenían cal, ya que el mucílago de nopal funcionó como agente reductor del tiempo de absorción de la capa pictórica.

Tabla 29. Dureza de las probetas P-001 a P-004, en donde se observa la dureza inicial, dureza intermedia, dureza final y la dureza promedio de cada probeta

Probeta	Dureza inicial (Semana 1)	Dureza intermedia (Semana 5)	Dureza final (Semana 10)
P-001	2	1	1
P-002	1	2	2
P-003	1	2	2
P-004	2	3	2

Tabla 30. Dureza de las probetas M-001 a M-004, en donde se observa la dureza inicial, dureza intermedia, dureza final y la dureza promedio de cada probeta

Probeta	Dureza inicial (Semana 1)	Dureza intermedia (Semana 5)	Dureza final (Semana 10)
M-001	1	2	1
M-002	1	3	2
M-003	2	2	3
M-004	1	2	2

Con los resultados anteriores se confirmó que el mucílago de nopal es viable como acabado final para la superficie de la capa pictórica y observada anteriormente en la fase de laboratorio. En esta etapa, el factor del tamaño de partícula se descartó, ya que de los observado en la fase de laboratorio, ya que las partículas de Pimentón y Paprika tuvieron un comportamiento similar, tres de las probetas (P-002 a P-004) alcanzaron una de dureza dos. (Ver Tabla 29) En las probetas del enlucido del muro de la vivienda solo una probeta (M-004) alcanzó la dureza tres (Ver Tabla 30).

Con los resultados anteriores, se observó que la dureza mayor se alcanzó en la probeta con el enlucido del muro de la vivienda, pero con la incorporación del mucílago de nopal se puede aumentar la dureza de la capa pictórica que no contiene cal.

La adhesividad de la capa pictórica de la pintura aplicada en las tablillas, evaluada mediante los lineamientos establecidos por la norma (ASTM, 2016), su clasificación fue la siguiente:

Tabla 31. Clasificación de la adherencia de la capa pictórica de las probetas C-101 a C-305 según la norma ASTM-D-3359-02 .

Probeta	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
P-001	1B	0B	1B
P-002	3B	2B	1B
P-003	2B	1B	0B
P-004	3B	1B	0B

La adhesividad de la capa pictórica de la pintura aplicada en los muros de la vivienda de la localidad, evaluada mediante los lineamientos establecidos por la norma (ASTM, 2016), su clasificación fue la siguiente:

Tabla 32. Clasificación de la adherencia de la capa pictórica de las probetas C-101 a C-305 según la norma ASTM-D-3359-02

Probeta	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
M-001	1B	1B	0B
M-002	1B	2B	1B
M-003	1B	0B	1B
M-004	2B	2B	1B

En la adhesividad de la capa pictórica en las probetas de enlucido del laboratorio, se observó que no hubo adhesión al final de la toma de datos en las probetas de Paprika (P-003 y P-004). En las probetas con el enlucido del muro de la vivienda, no hubo adhesión en una probeta (M-001). Mientras que las demás probetas tuvieron una adhesividad muy baja.

Los rendimientos y precios de la pintura fueron los siguientes:

Tabla 33. Rendimientos y Precios de las pinturas aplicadas en campo

Probeta	Rendimiento (m ² /L) ⁴⁸	Precio (\$/L) ⁴⁹
M-001	1.54	\$38.35
M-002	2.11	\$32.96
M-003	1.36	\$82.57
M-004	1.36	\$82.57

La percepción de la pintura como producto por parte de los habitantes al aplicarles la encuesta con el formato E-003 (Ver Figura 99).

⁴⁸ Los datos del rendimiento no incluyen desperdicios por aplicación.

⁴⁹ El precio de la pintura es a Precio Directo. No incluye herramientas, mano de obra ni indirectos. Los precios son tomados de marzo del 2015.

Los resultados de la encuesta fueron:

- El 100% de los encuestados relacionaron el logo con una pintura comercial
- El 33% de los encuestados consideró *Excelente* la imagen del producto, mientras que el 67% la considero *Buena*.
- El 67% de los encuestados consideró que la claridad de la explicación de los procedimientos del manual para la elaboración de la pintura fue *Muy Claro*, mientras que el 33% la consideró *Claro*.
- El 50% de los encuestados consideró que la aplicación de la pintura fue *Muy Fácil*, y el otro 50% la consideró *Fácil*.
- El 33% de los encuestados consideró que el secado de la pintura fue *Rápido* y el 67% consideró el secado como *Normal*.
- La pregunta 8 de la encuesta no fue contestada por alguno de los encuestados.

El mucílago de nopal en conjunto con la pintura, se presentaron como un producto con la capacidad de ser utilizado como herramienta social, ya que mediante la elaboración *in situ* y la aplicación fue posible volver a integrar y organizar a un grupo de los habitantes de la comunidad, quienes previamente participaron en procesos de autoconstrucción de su vivienda.

Es importante señalar, que uno de los factores clave para que estos procesos fueran llevados a cabo con éxito, fue la participación y colaboración de los líderes de las comunidades/colonias/ grupo de habitantes. Puesto que ellos representan un puente entre la ONG y la comunidad. Porque a pesar de que los habitantes ya conocían a los asesores técnicos, continuaron siendo agentes externos, ajenos a la comunidad, pero con el apoyo y comunicación con los líderes, este modelo de trabajo fue factible de reproducirse en campo posterior a la etapa de laboratorio.

Conclusiones

Los resultados de la presente investigación permiten conocer la factibilidad de la metodología diseñada para la elaboración de una pintura con pigmentos vegetales como herramientas de fortalecimiento del tejido social.

El tejido social se fortaleció con el uso de la pintura con pigmentos vegetales mediante el proceso del trabajo con la comunidad, ya que la metodología consiguió que los integrantes retomaran la cohesión social de su grupo de trabajo al tomar las decisiones con respecto a la organización y logística de las reuniones, el taller de elaboración y aplicación de la pintura en la vivienda. Además de comprobar que la pintura es factible como material para el mejoramiento de las viviendas.

El comportamiento de las pinturas en el interior de la vivienda fue bueno, debido a que cumplió con el tiempo establecido de la evaluación, ya que el cambio de color en las capas pictóricas fue aceptable, tanto en las probetas que no contenían agregados extra, como a las que se les agregó cal.

Se cumplió con el objetivo de que la pintura fuera una herramienta para fortalecer el tejido social, resultado de que la metodología realizada con rigor científico permitió que los habitantes se apropiaran de los procesos, al resolver la limitante de la transferencia tecnológica mediante el desarrollo de una imagen de la pintura como producto. Es importante señalar que uno de los factores que pueden ser determinantes para que un proceso de este tipo sea llevado a cabo con éxito, es la participación de los líderes de las comunidades/colonias/grupos de los habitantes. Puesto que ellos representan un puente entre los investigadores y la comunidad, porque a pesar de que los habitantes ya conocieran a los asesores técnicos, continúan siendo agentes externos a la comunidad.

El desarrollo de la imagen de la pintura como producto, hizo el proceso de elaboración de la pintura más dinámico, puesto que tomando sus propias decisiones pudieron reproducir el fenómeno de cooperación y participación de los integrantes del grupo de la comunidad.

De esa investigación se desprenden varias líneas pendientes por continuar, aquellas en las que las comunidades son factibles de aportar no solamente materia prima para la

elaboración de productos como la pintura, si no el rescatar y promover las técnicas locales utilizadas en las edificaciones. También en el terreno de la pintura, aún quedan por investigar materiales para los soportes, enlucidos, así como los diferentes tipos de pigmentos.

Además una de las principales aportaciones de esta investigación, es el que mediante la metodología de extracción del nopal se desarrolló un producto factible para la comercialización que incluso puede ser utilizado para trabajos como lo de restauración, contando con el respaldo de ser un producto garantizado, y que esto represente una fuente de ingresos para los habitantes de la comunidad, además de preservar una especie de representación minoritaria respecto a las demás especies que se producen en la comunidad.

Anexo

ELABORACION DE LA PROBETA		Probeta:	
Mortero Base:			
FORMULACIÓN	Pigmento	<input type="text"/>	ml
	Carga	<input type="text"/>	ml
	Resina	<input type="text"/>	ml
	Solvente	<input type="text"/>	ml
		OBSERVACIONES	
		<input type="text"/>	
ELABORACION		TIEMPO DE MEZCLADO	
fecha	<input type="text"/>	pigmento	<input type="text"/> : <input type="text"/>
hora	<input type="text"/>	carga	<input type="text"/> : <input type="text"/>
temperatura	<input type="text"/> °C	resina	<input type="text"/> : <input type="text"/>
humedad	<input type="text"/> %	disolvente	<input type="text"/> : <input type="text"/>
OBSERVACIONES		vol. Obtenido	
<input type="text"/>			
APLICACIÓN DE LA PINTURA		SECADO	
hora	<input type="text"/>	Secado al polvo	<input type="text"/> : <input type="text"/>
temperatura	<input type="text"/> °C	Secado al tacto	<input type="text"/> : <input type="text"/>
humedad	<input type="text"/> %	Seco duro	<input type="text"/> : <input type="text"/>
OBSERVACIONES		OBSERVACIONES	
<input type="text"/>		<input type="text"/>	

Figura 97. Formato E-001 de evaluación de las tablillas.

Eval.	Fecha	Hora	Temp.	Hum.	Lux	Dureza	CIE $L^*a^*b^*$			CMYK				Permeabilidad
			°C	%			L^*	a^*	b^*	C	M	Y	K	
							°	°	°	%	%	%	%	
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														

Figura 98. Formato E-002 para la recolección de datos en la evaluación de las probetas

Tabla 34. Representación gráfica de la prueba de adhesión de la capa pictórica de las probetas FP-001 a FP-007

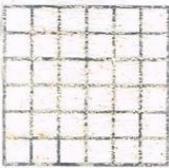
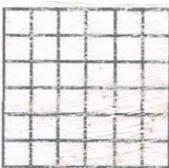
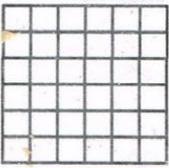
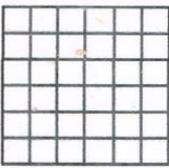
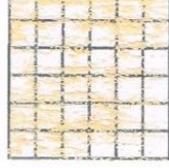
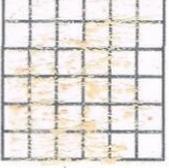
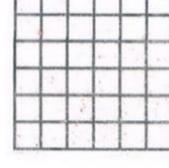
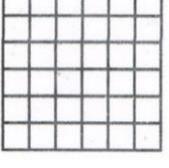
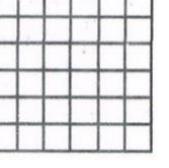
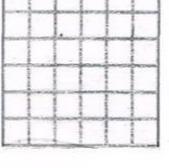
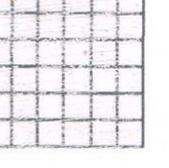
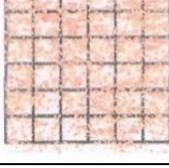
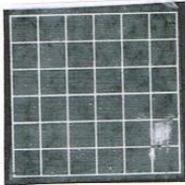
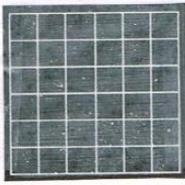
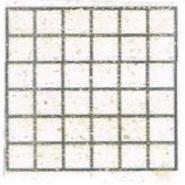
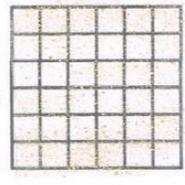
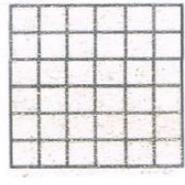
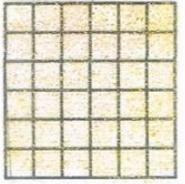
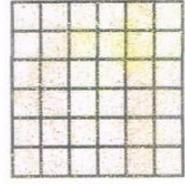
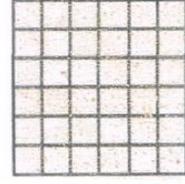
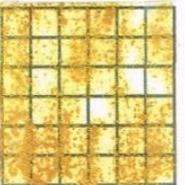
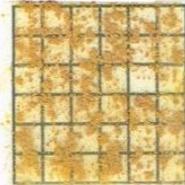
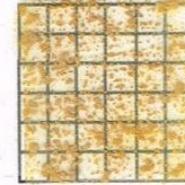
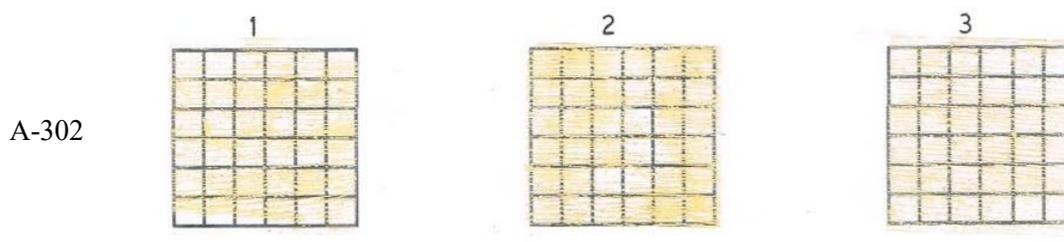
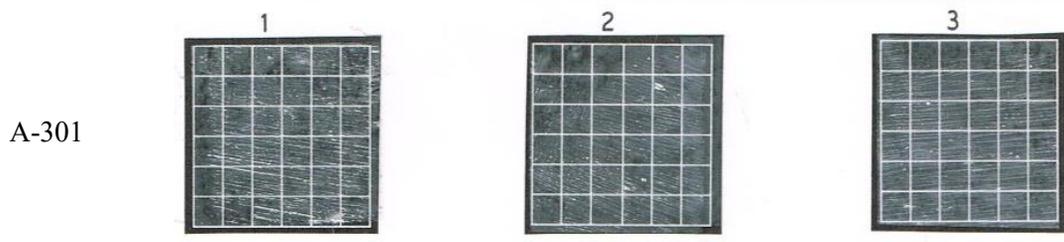
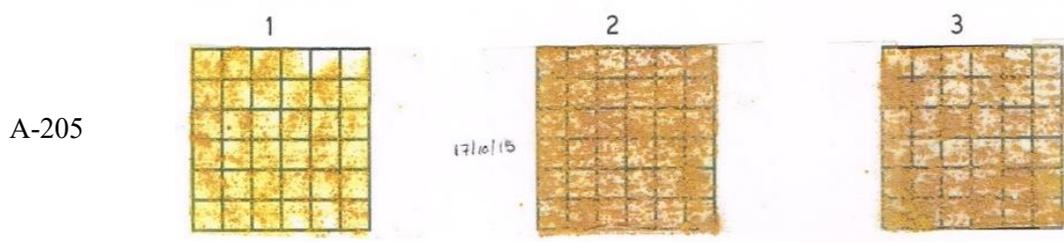
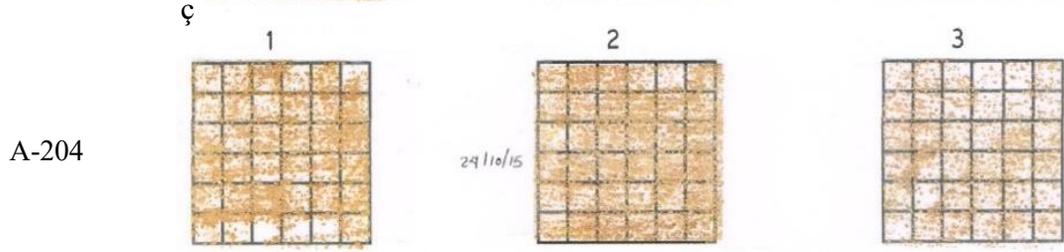
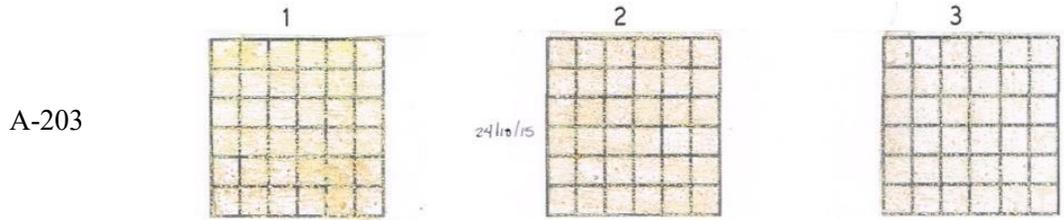
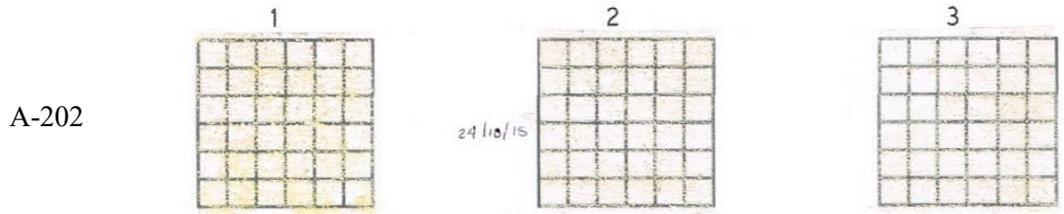
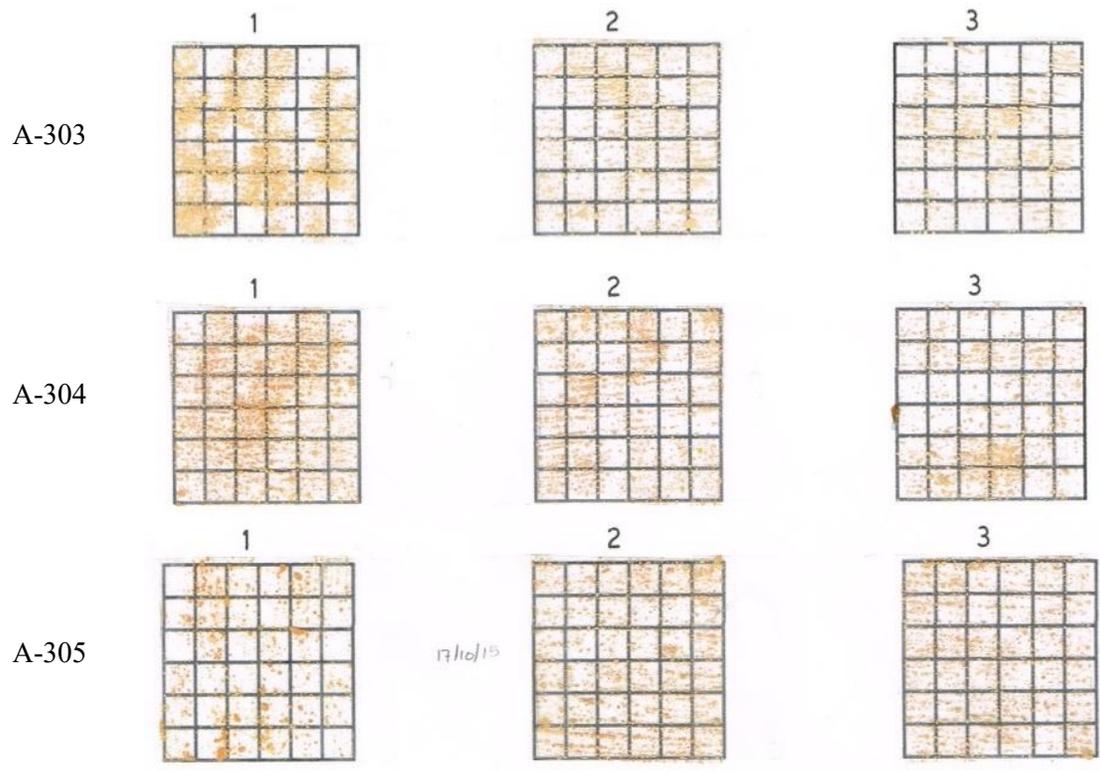
Probeta	Muestras 1, 2 y 3		
FP-001	<p>1</p> 	<p>2</p> 	<p>3</p> 
FP-002	<p>1</p> 	<p>2</p> 	<p>3</p> 
FP-003	<p>1</p> 	<p>2</p> 	<p>3</p> 
FP-004	<p>1</p> 	<p>2</p> 	<p>3</p> 
FP-005	<p>1</p> 	<p>2</p> 	<p>3</p> 
FP-006	<p>1</p> 	<p>2</p> 	<p>3</p> 
FP-007	<p>1</p> 	<p>2</p> 	<p>3</p> 

Tabla 35. Representación gráfica de la prueba de adhesión de la capa pictórica de las probetas A-101 a A-305 de Cúrcuma

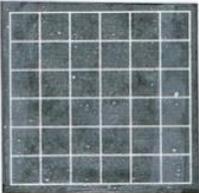
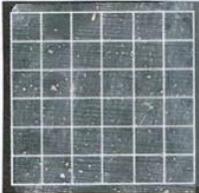
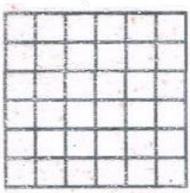
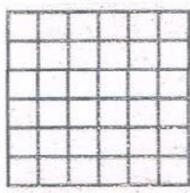
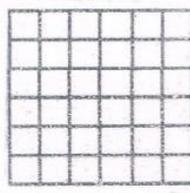
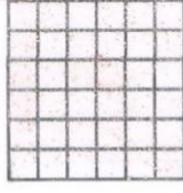
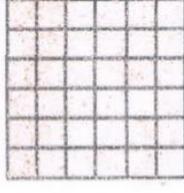
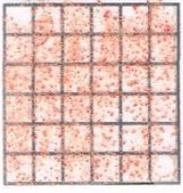
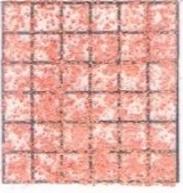
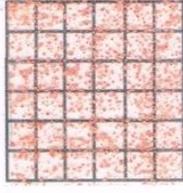
Probeta	Muestra 1, 2 y 3		
A-101	<p>1</p> 	<p>2</p> <p>24/10/15</p> 	<p>3</p> 
A-102	<p>1</p> 	<p>2</p> <p>24/10/15</p> 	<p>3</p> 
A-103	<p>1</p> 	<p>2</p> <p>24/10/15</p> 	<p>3</p> 
A-104	<p>1</p> 	<p>2</p> <p>24/10/15</p> 	<p>3</p> 
A-105	<p>1</p> 	<p>2</p> <p>17/10/15</p> 	<p>3</p> 
A-201	<p>1</p> 	<p>2</p> <p>24/10/15</p> 	<p>3</p> 

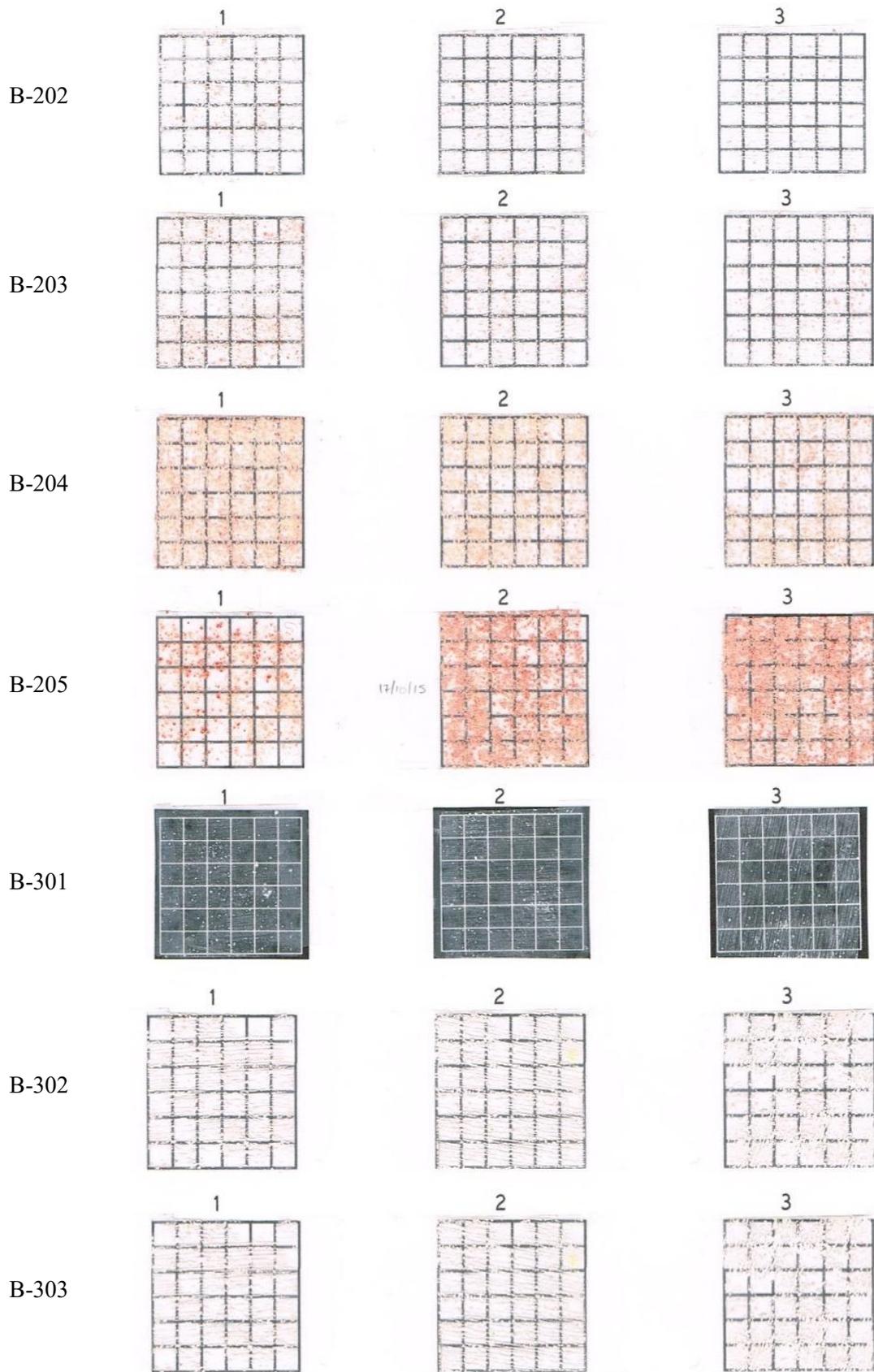




17/10/15

Tabla 36. Representación gráfica de la prueba de adhesión de la capa pictórica de las probetas A-101 a A-305 de Pimentón

Probeta	Muestra 1, 2 y 3		
B-101	<p style="text-align: center;">1</p> 	<p style="text-align: center;">2</p> 	<p style="text-align: center;">3</p> 
B-102	<p style="text-align: center;">1</p> 	<p style="text-align: center;">2</p> 	<p style="text-align: center;">3</p> 
B-103	<p style="text-align: center;">1</p> 	<p style="text-align: center;">2</p> 	<p style="text-align: center;">3</p> 
B-104	<p style="text-align: center;">1</p> 	<p style="text-align: center;">2</p> 	<p style="text-align: center;">3</p> 
B-105	<p style="text-align: center;">1</p> 	<p style="text-align: center;">2</p> <p style="text-align: center;">17/10/15</p> 	<p style="text-align: center;">3</p> 
B-201	<p style="text-align: center;">1</p> 	<p style="text-align: center;">2</p> 	<p style="text-align: center;">3</p> 



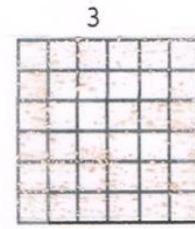
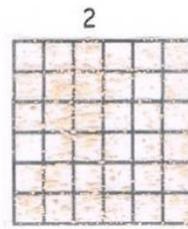
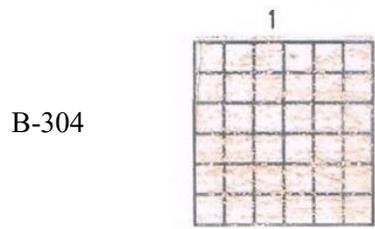
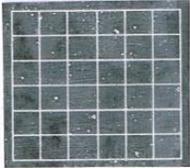
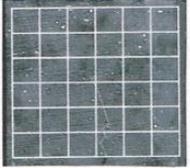
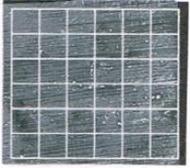
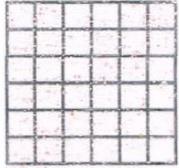
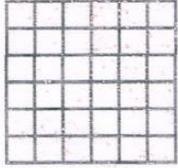
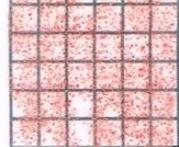
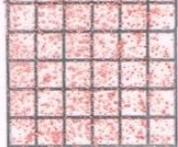
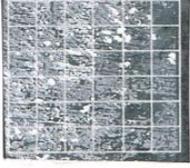
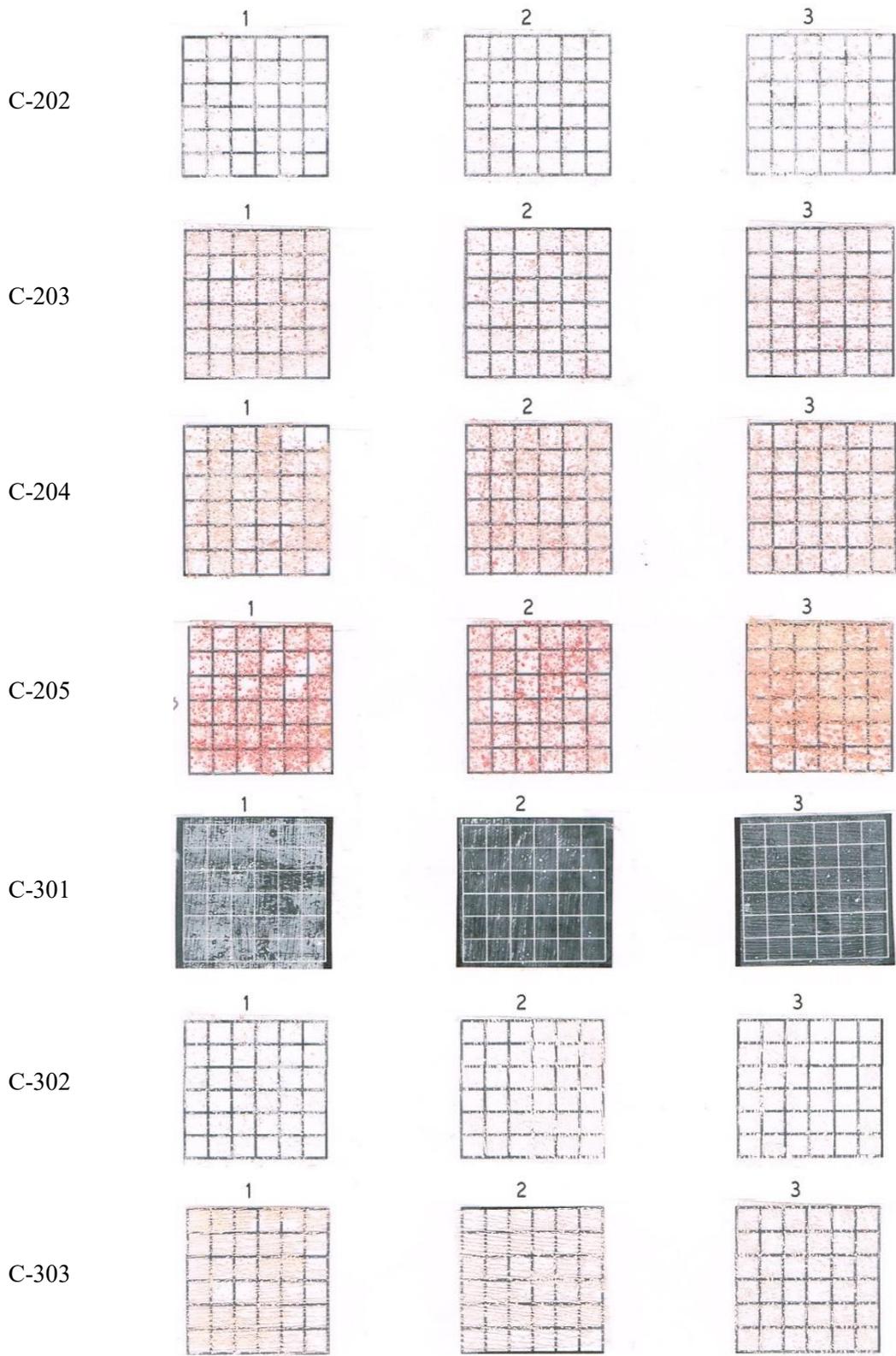


Tabla 37. Representación gráfica de la prueba de adhesión de la capa pictórica de las probetas A-101 a A-305 de Paprika

Probeta	Muestra		
C-101	<p style="text-align: center;">1</p> 	<p style="text-align: center;">2</p> 	<p style="text-align: center;">3</p> 
C-102	<p style="text-align: center;">1</p> 	<p style="text-align: center;">2</p> 	<p style="text-align: center;">3</p> 
C-103	<p style="text-align: center;">1</p> 	<p style="text-align: center;">2</p> 	<p style="text-align: center;">3</p> 
C-104	<p style="text-align: center;">1</p> 	<p style="text-align: center;">2</p> 	<p style="text-align: center;">3</p> 
C-105	<p style="text-align: center;">1</p> 	<p style="text-align: center;">2</p> 	<p style="text-align: center;">3</p> 
C-201	<p style="text-align: center;">1</p> 	<p style="text-align: center;">2</p> 	<p style="text-align: center;">3</p> 



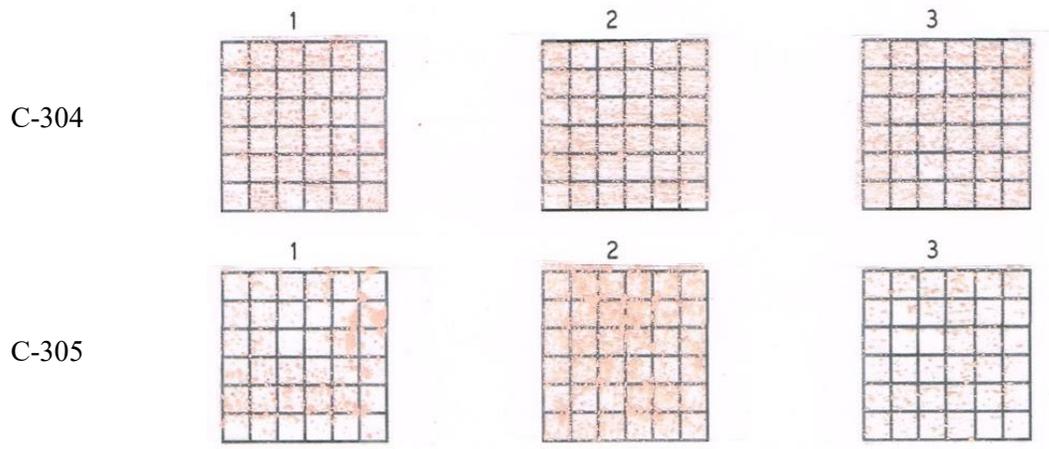


Tabla 38. Representación gráfica de la prueba de adhesión de la capa pictórica de las probetas P-001 a P-004 aplicada en las tablillas

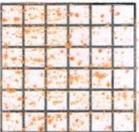
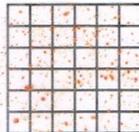
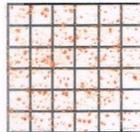
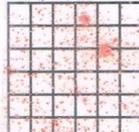
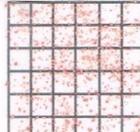
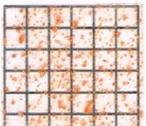
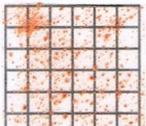
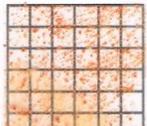
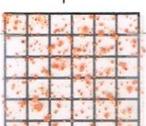
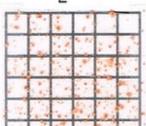
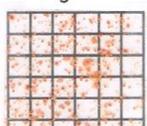
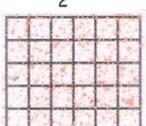
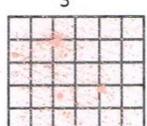
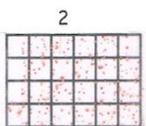
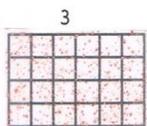
Probeta	Muestra 1, 2 y 3		
P-001	<p>1</p> 	<p>2</p> 	<p>3</p> 
P-002	<p>1</p> 	<p>2</p> 	<p>3</p> 
P-003	<p>1</p> 	<p>2</p> 	<p>3</p> 
P-004	<p>1</p> 	<p>2</p> 	<p>3</p> 

Tabla 39. Representación gráfica de la prueba de adhesión de la capa pictórica de las probetas M-001 a M-004 aplicada en muros.

Probeta	Muestra 1, 2 y 3		
M-101	<p style="text-align: center;">1</p> 	<p style="text-align: center;">2</p> 	<p style="text-align: center;">3</p> 
M-102	<p style="text-align: center;">1</p> 	<p style="text-align: center;">2</p> 	<p style="text-align: center;">3</p> 
M-103	<p style="text-align: center;">1</p> 	<p style="text-align: center;">2</p> 	<p style="text-align: center;">3</p> 
M-104	<p style="text-align: center;">1</p> 	<p style="text-align: center;">2</p> 	<p style="text-align: center;">3</p> 

Universidad Nacional Autónoma de México
Encuesta de Taller de Elaboración de Pinturas,
Proyecto: Pintura con Pigmentos Vegetales
Responda por favor las siguientes preguntas:

1. *¿Qué piensa que se trata el producto cuando ve el logo?*

2. *¿Relaciona el logo con el tema de las pinturas?*
 Sí
 No

3. *En general, ¿Cómo considera la imagen de la pintura como producto?*
 Excelente Buena Mala
 Muy buena Regular Pésima

4. *¿Con que claridad fueron explicados los procedimientos en el manual?*
 Muy claro Poco claro Muy confuso
 Claro Confuso

5. *¿Cómo fue la elaboración de la pintura?*
 Muy fácil Un poco difícil Muy difícil
 Fácil Difícil

6. *¿Cómo fue la aplicación de la pintura?*
 Muy fácil Un poco difícil Muy difícil
 Fácil Difícil

7. *¿Cómo fue el secado de la pintura?*
 Muy rápido Normal Muy lento
 Rápido Lento

8. *¿Qué características mejoraría de la pintura?*

Figura 99. Formato E-003, encuesta de percepción de la pintura

Fuentes

- ASTM. (Febrero de 10 de 2016). Obtenido de <http://files.instrument.com.cn/bbs/upfile/2007103192622.pdf>
- Bazant, J. (2011). Procesos de desarrollo urbano de las ciudades. En *La vivienda popular en México. Retos para el siglo XXI*. México: UAM.
- Bentley, J., & Turner, G. (1999). *Química y Tecnología de Pinturas y Revestimientos* (1ª edición española ed.). Madrid, España: Ediciones A. Madrid Vicente.
- Briggs, D. (5 de Noviembre de 2016). *The Dimensions of the Colour*. Obtenido de <http://www.huevaluechroma.com/>
- Carbonell, J. C. (2009). *Pinturas y recubrimientos: Introducción a su tecnología*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, S.A.
- Cennini, C. (1988). *El libro del arte*. Madrid, España: AKAL.
- Chiari, G., Giustetto, R., & Carson, D. (Enero-Abril de 2008). Azul Maya: una maravillosa nanotecnología precolombina. *Boletín de Monumentos Históricos*(12).
- CONAVI. (2014). Obtenido de <http://www.conavi.gob.mx/>
- Consumidor, P. F. (2010). Calidad de Brocha Gorda. *Revista del Consumidor*(10).
- Coulomb, R., León, P., Puebla, C., & Castro, J. (Agosto de 2009). Efectos de la promoción privada en la producción de vivienda de interés social en México. *Tecnología y Construcción*, 25(2).
- Doener, M. (2001). *Los materiales de pintura y su empleo en el arte*. Barcelona, España: Editorial Reverté, S.A.
- Fuente, B. d. (Noviembre-Diciembre de 1995). La pintura mural prehispánica en México. *Arqueología Mexicana*, III(16).
- García, B. (2010). Vivienda Social en México (1940-1999). *Cuadernos de vivienda y urbanismo*, 3(5), 34-49.
- Guirola, C. (Marzo de 2010). Tintes Naturales, su uso en Mesoamérica desde la época prehispánica. (A. Cajas, Ed.) *FLAAR Mesoamérica*.
- Habitat para la Humanidad México A.C.* (4 de Mayo de 2016). Obtenido de <http://www.habitatmexico.org>
- Hirasa, K., & Takemasa, M. (2002). *Ciencia y Tecnología de las Especies*. España: ACRIBIA, S.A.

- International Commission on Illumination*. (5 de Marzo de 2016). Obtenido de <http://www.cie.co.at/index.php/LEFTMENU/About+us/General+Information>
- Kerpel, D. M. (2008). Los colores de la selva. Procedimientos, materiales y colores en la pintura mural maya. *Arqueología Mexicana*(93).
- Loomatix*. (6 de Marzo de 2016). Obtenido de <http://www.loomatix.com/#colorgrab>
- Magaloni, D. (Noviembre-Diciembre de 1995). Técnicas de la pintura mural en Mesoamérica. *Arqueología Mexicana*, III(16).
- Magaloni, D. (1998). El arte en el hacer: Técnica Pictórica y color en las pinturas de Bonampak. En *La pintura prehispánica en México* (Vol. II). México, D.F., México: Instituto de Investigaciones Estéticas, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Magaloni, D. (2001). La pintura mural prehispánica en México: Área Maya. En B. d. Fuente (Ed.), *Materiales y técnicas de la pintura mural maya* (págs. 155-198). México: Instituto de Investigaciones Estéticas, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Magaloni, D., & Falcón, T. (2008). Pintando otro mundo: técnicas de pintura mural en las tumbas zapotecas. En *La pintura prehispánica en México* (Vol. III). México, D.F.: Instituto de Investigaciones Estéticas, Universidad Nacional Autónoma de México.
- MINOLTA, K. (8 de Enero de 2016). *KONICA MINOLTA Sensing America*. Obtenido de <http://sensing.konicaminolta.com.mx/2014/09/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/>
- Monterroso, I. d. (2008). Ciencia y técnica maya. En M. I. Bravo (Ed.), *El arte sale de las casas: los tintes naturales en San Juan la Laguna, Sololá* (págs. 101-133). Guatemala: Fundación Solar.
- Orna, M. V. (2013). *The Chemical History of Color*. New York, USA: Springer.
- Ortiz, E. (2012). *Producción social de la vivienda y el hábitat. Bases conceptuales y correlación con los procesos habitacionales*. D.F., México: Habitat International Coalition HIC.
- Pérez, N. A. (2009). *Fórmula de un mortero de inyección con mucílago de nopal para restauración de pintura mural*. Tlaquepaque, Jalisco, México: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente.
- Reinhard, E., Khan, E. A., Oğuz Akyüz, A., & Johnson, G. (2008). *Color Imaging, Fundamentals and Applications*. A K Peters, Ltd.

Ross, J. L. (1971). *Pigments Used in Late Medieval Western European Manuscript Illumination*. Austin: University of Texas at Austin.

Sánchez, M. (Enero-Abril de 2008). 2002-2006: cuatro años investigando el azul maya. *Boletín de Monumentos Históricos*(12).

Shirata, Y. (2007). *Colorantes Naturales en México*. México.

Índice de figuras

Figura 1. La vivienda como. Concepciones contrastantes de a vivienda según los distintos enfoques	20
Figura 2. El proceso habitacional. Se observan las cinco etapas del proceso habitacional, comenzando por la promoción e integración.....	23
Figura 3. El proceso habitacional Se observan las cinco etapas del proceso habitacional, comenzando por la promoción e integración.....	27
Figura 4. Fenómeno del color. Se señalan los tres componentes necesarios para que se pueda llevar a cabo el color	31
Figura 5. Prisma de Newton en el cual se puede apreciar el fenómeno de la difracción de la luz.....	32
Figura 6. Esfera modelada en Photoshop CS2 en la cual se puede observar la interacción de la síntesis aditiva y sustractiva de los colores. En la parte superior de la esfera se observa la luz blanca, producto de las tres luces primarias y a los costados los colores de la síntesis sustractiva.....	34
Figura 7. Síntesis aditiva (sup) y síntesis sustractiva (inf) y su comportamiento en una pintura (centro).	34
Figura 8. Fenómeno del color, en el que las flechas de colores representan la luz blanca [proveniente del sol] en sus diferentes longitudes de onda las cuales son absorbidas por el cuerpo con el que interactúa [esfera], absorbiendo todas las longitudes de onda menos la del color rojo, la cual es la única visible para el ojo humano.....	35
Figura 9. Bisonte, cueva de Altamira, España. Se puede observar el uso de los óxidos ferrosos (los cuales se encuentran generalmente en la tierra) en el cuerpo del bisonte para el color rojo.	36
Figura 10. Oropimente (en rojo) y rejalgal (amarillo), se encuentran juntos en las vetas de extracción.	38
Figura 11. Retrato de la emperatriz Teodora (al centro), esposa del emperador bizantino Justiniano. Esta pintura del siglo VI, muestra la capa de la emperatriz de color purpura.	39
Figura 12. Publicidad de la década de 1950-1960, se observa la creciente industria que ofrecía distintos productos de consumo doméstico: maquillaje, alimentos, publicidad, ropa, etc.	41
Figura 13. Espacios del color utilizados desde la época de Newton (1704) hasta el 2002. Se observa la evolución de los espacios de color en base a la concepción del color.	43
Figura 14. Matiz, tono y saturación del color rojo.	43
Figura 15. 48 diferentes círculos cromáticos, en los que a pesar de que sus formas difieren, utilizan el mismo principio en la distribución de colores primarios y la obtención de colores secundarios.	44
Figura 16. Tabla Munsell, en ella se observa la ubicación de un color primero ubicando su matiz (hue), seguido de su tono (value o lightness) que va del blanco al negro, y al último la saturación (chroma).....	45
Figura 17. Ley de la simetría de Grassman en donde coincide la línea A-C y B+D.	46
Figura 18. Espacio de color CIE Lab 1931, se desprende del planteamiento de la percepción triestimulo (RGB) del ojo humano para obtener la visión de los demás colores.	47
Figura 19. Diagrama de cromaticidad del espacio de color $L^*a^*b^*$ en donde se muestran los ejes a (verde y rojo) y b (amarillo y azul) a manera de plano cartesiano, con valores que van desde -60 a +60 para determinar el color de la manzana.....	50
Figura 20. Representación tridimensional del espacio del color CIE Lab, en el cual se aprecian las coordenadas $L^*a^*b^*$	51
Figura 21. Espacio de color en donde se encuentran las coordenadas $L^*a^*b^*$ y $L^*c^*h^*$, se puede observar que ambos espacios de color poseen tres coordenadas, en los cuales coinciden con tener la coordenada L^* (luminosidad) pero difieren en el tipo de medición ya que una es ortogonal (a^* y b^*) y la otra polar (c^* y h^*).	53
Figura 22. Clasificación de las pinturas artísticas según Doerner en el que se señalan aquellas pinturas que no contienen pigmento (izq) las que tienen pigmento (centro) y los colorantes para las pinturas con pigmento (der).....	57

<i>Figura 23. Clasificación de materias colorantes en los cuales se incluyen tanto pigmentos como materias colorantes, dependiendo de la naturaleza de su origen.</i>	59
<i>Figura 24. Componentes de las pinturas según la clasificación de Bentley y Turner en las que se identifican las dos partes necesarias para formar una pintura.</i>	62
<i>Figura 25. Clasificación de las características de las pinturas, señalando cada una y la característica final a obtener.</i>	66
<i>Figura 26. Mural maya en Bonampak, se puede observar la temática y cosmogonía maya que refleja su época y situación social, así como la diferencia de la pintura rupestre, ya que cuenta con un enlucido sobre el cual se encuentra la capa pictórica.</i>	68
<i>Figura 27. Mural teotihuacano de Tlalocan, en el cual se puede observar la textura obtenida mediante el bruñido en el área de color rojo.</i>	70
<i>Figura 28. Textil teñido con vegetales, se observan las plantas utilizadas</i>	72
<i>Figura 29. Diagrama de flujo de la metodología propuesta para la investigación del tema, señalando sus seis etapas.</i>	78
<i>Figura 30. Probeta utilizada en la investigación. Consistió en que sobre una tablilla (1), se colocó el enlucido fino (2), un sellado de mucílago de nopal (3), la pintura desarrollada (4) y una capa de sellador a base de mucílago de nopal (5).</i>	79
<i>Figura 31. Las cinco capas que integraron la probeta de la investigación, 1) tablilla, 2)enlucido fino, 3)sellado con mucílago de nopal, 4) pintura, 5) sellado con mucílago de nopal.</i>	84
<i>Figura 32. Molde para colado de tablillas, en la figura se observan los espacios para nueve tablillas de 20cmX20cm.</i>	87
<i>Figura 33. Pieza principal del molde, en la figura se pueden observar las muescas en donde se unirán con los demás elementos para formar el molde completo.</i>	88
<i>Figura 34. Detalle de las tiras del molde, previo a su colocación.</i>	88
<i>Figura 35. Detalle de la unión de las muescas en el molde para las tablillas.</i>	88
<i>Figura 36. Molde de tablillas ya coladas con mortero cal-arena 1:3, cuenta con un plástico de las tablillas para un desmoldado más fácil y que reduzca las probabilidades de daño en las tablillas.</i>	89
<i>Figura 37. (Izq.) Arena sin tamizar, (Der.) Arena tamizada, utilizada para la elaboración de las tablillas.</i>	90
<i>Figura 38. Báscula de precisión con la arena sin cribar, previo a la prueba de granulometría.</i>	90
<i>Figura 39. Criba mecánica, con las cribas No.60, No.100, No.200 y No.325 (en orden descendente).</i>	91
<i>Figura 40. Material retenido por la malla: No.60 (sup. izq), No. 100 (sup. central), No.200 (sup. der.), No.325 (inf. izq.) y la menor de 325 (inf. der.). (Julio 2015).</i>	93
<i>Figura 41. Nopal utilizado en la extracción del mucílago, proveniente de San Sebastián Villanueva</i>	94
<i>Figura 42. Trozos de nopal cortado de aproximadamente 1-1.5x1-1.5cm, previo a la cocción.</i>	95
<i>Figura 43. Mucílago de nopal obtenido de la cocción, el envase cuenta con alcohol incorporado previo a su preservación.</i>	95
<i>Figura 44. Mezcla para el enlucido fino, contiene arena tamizada con malla No.325, cal hidráulica y mucílago de nopal, previo a su colocación en la tablilla.</i>	96
<i>Figura 45. Tablilla seccionada, en la parte izquierda se colocó enlucido fino.</i>	97
<i>Figura 46. Diagrama de las combinaciones de la primera formulación de las pinturas.</i>	98
<i>Figura 47. Probetas de Cúrcuma, Grupo A en la primera línea (de arriba hacia abajo), Grupo B segunda línea y Grupo C en tercera línea. Con la concentración creciente de pigmento (de izquierda a derecha).</i>	100
<i>Figura 48. Probeta de Pimentón, Grupo A en la primera línea (de arriba hacia abajo), Grupo B segunda línea y Grupo C en tercera línea. Con la concentración creciente de pigmento (de izquierda a derecha).</i>	100
<i>Figura 49. Probeta de Paprika, Grupo A en la primera línea (de arriba hacia abajo), Grupo B segunda línea y Grupo C en tercera línea. Con la concentración creciente de pigmento (de izquierda a derecha).</i>	101
<i>Figura 50. Obtención del número de proporciones de una fórmula de Cúrcuma, mediante el número de variables porcentuales.</i>	102

Figura 51. Aplicación de la pintura elaborada a la tablilla de mortero con enlucido fino y sellado con mucílago de nopal.	103
Figura 52. Logo de la aplicación ColorGrab, con esta aplicación se llevaron a cabo las mediciones colorimétricas de las probetas.	104
Figura 53. Captura de pantalla del uso de la aplicación ColorGrab en la recolección de las coordenadas colorimétricas (sup.).	105
Figura 54. Microscopía óptica realizada con microscopio digital de mano con la cual se analiza una probeta posterior a las pruebas de permeabilidad.	106
Figura 55. Pigmentos de cúrcuma, dos tipos de pimentón y paprika sobre portaobjetos (der.), previos a la incorporación de aceite mineral y acetona, para su análisis microscópico.	107
Figura 56. Materiales naturales de origen mineral, utilizados para la escala de Mohs.	107
Figura 57. Prueba de permeabilidad terminada, en la parte inferior del tubo Karsten se observa el halo de agua absorbido en la prueba.	109
Figura 58. Pobladores de la localidad de San Sebastián Villanueva, municipio de Acatzingo, Puebla. Previo a la reunión.	111
Figura 59. Integrantes de la comunidad eligiendo la pintura a utilizar en el taller de elaboración de pinturas.	112
Figura 60. Integrante de la comunidad que revisa las instrucciones de la pintura previa preparación de la misma.	113
Figura 61. Probeta colocada junto al muro, en el cual fue aplicada la misma pintura. A la izquierda se encuentra el termómetro con higrómetro para monitorear la temperatura y humedad.	114
Figura 62. Integrantes de la comunidad elaborando la pintura, agregando agua a la mezcla de carga y pigmento previamente incorporada.	114
Figura 63. Integrantes de la comunidad aplicando la pintura elaborada.	115
Figura 64. Habitantes de la comunidad aplicando el mucílago de nopal como sellador de la superficie, previo a la aplicación de la pintura.	115
Figura 65. Saturación de la capa pictórica por acción del agua, en la probeta A-105.	120
Figura 66. Gráficas $L^*a^*b^*$ de las 15 probetas de Cúrcuma. Se observa en cada gráfica, la posición en el espacio de color de cada una de las probetas.	121
Figura 67. Gráficas $L^*a^*b^*$ de las 15 probetas de Pimentón. Se observa en cada gráfica, la posición en el espacio de color de cada una de las probetas.	122
Figura 68. Gráficas $L^*a^*b^*$ de las 15 probetas de Paprika. Se observa en cada gráfica, la posición en el espacio de color de cada una de las probetas.	123
Figura 69. Gráfica L^* vs Luminosidad (esq. Sup. Izq.) de las quince probetas de Cúrcuma y graficas de coordenadas b^* y a^* de cada uno de los bloques (A-10X, A-20X y A-30X).	124
Figura 70. Gráfica L^* vs Luminosidad (esq. Sup. Izq.) de las quince probetas de Pimentón y graficas de coordenadas b^* y a^* de cada uno de los bloques (B-10X, B-20X y B-30X).	125
Figura 71. Gráfica L^* vs Luminosidad (esq. Sup. Izq.) de las quince probetas de Cúrcuma y graficas de coordenadas b^* y a^* de cada uno de los bloques (C-10X, C-20X y C-30X).	126
Figura 72. Microscopía óptica de la Cúrcuma suspendida en aceite mineral.	130
Figura 73. Microscopía óptica de Cúrcuma suspendida en acetona.	131
Figura 74. Microscopía óptica del Pimentón suspendido en aceite mineral.	132
Figura 75. Microscopía óptica del Pimentón suspendido en acetona.	133
Figura 76. Microscopía óptica del Pimentón suspendido en acetona.	133
Figura 77. Microscopía óptica del Pimentón (2) suspendido en aceite mineral.	134
Figura 78. Microscopía óptica del Pimentón (2) suspendido en acetona.	135
Figura 79. Microscopía óptica de la Paprika suspendida en aceite mineral.	136
Figura 80. Microscopía óptica de la Paprika suspendida en acetona.	137

<i>Figura 81. Superficie seca, posterior a la prueba de permeabilidad con el tubo Karsten de la probeta A-105</i>	139
<i>Figura 82. Superficie de la probeta B-103, después de realizadas las pruebas de permeabilidad con el tubo Karsten y a la gota.</i>	139
<i>Figura 83. Resultados de permeabilidad de las probetas, en la cual de la 1-5 representan a las probetas sin agregados extra, del 6-10 son las probetas a las que se les agregó mucílago de nopal como sellador final y del 11-15 son aquellas a las que se les agregó cal.</i>	140
<i>Figura 84. Microscopía realizada con microscopio portátil.</i>	141
<i>Figura 85. Microscopía realizada con microscopio portátil.</i>	142
<i>Figura 86. Microscopía realizada con microscopio portátil.</i>	143
<i>Figura 87. Microscopía realizada con microscopio portátil.</i>	144
<i>Figura 88. Logo y slogan de la pintura desarrollada</i>	154
<i>Figura 89. Etiqueta del envase de la carga, en la cual se observan las medidas, equipo de seguridad necesario para la manipulación del material e instrucciones de la elaboración de la pintura</i>	155
<i>Figura 90. Etiqueta del envase del pigmento, en la cual se observan las medidas y equipos de seguridad necesarios para la manipulación del material, y una breve reseña del producto</i>	155
<i>Figura 91. Etiqueta del envase de cal, en la cual se observan las medidas y equipos de seguridad necesarios para la manipulación del material, y una breve reseña del producto</i>	156
<i>Figura 92. Probetas de campo (izquierda) y pintura puesta en muro, debajo las gráficas de coordenadas L*a*b* de ambos tipos de probetas (derecha).</i>	157
<i>93. (1) Coordenada L*/Lux de las probetas de laboratorio (P-001 a P-004), (2) Coordenada L*/Lux de las probetas de campo (M-001 a M-004), (3) Coordenadas a*/b* de las probetas de laboratorio (P-001 a P-004), (4) Coordenadas a*/b* de las probetas de campo (M-001 a M-004).</i>	159
<i>Figura 94. Coordenadas a*/b* de las probetas probadas en campo, en donde se observó el comportamiento de la degradación del color con los dos enlucidos de cada superficie.</i>	159
<i>Figura 95. Diferencia de color (ΔE) de cada pintura evaluada en campo según su porcentaje de concentración de pigmento, en probeta y en muro.</i>	160
<i>Figura 96. Permeabilidad promedio de las Probetas P-001 a P-004 evaluadas en campo indicando la variación estándar.</i>	161
<i>Figura 97. Formato E-001 de evaluación de las tablillas.</i>	167
<i>Figura 98. Formato E-002 para la recolección de datos en la evaluación de las probetas</i>	168
<i>Figura 99. Formato E-003, encuesta de percepción de la pintura</i>	181

Índice de tablas

Tabla 1. Rango de longitudes de onda para cada color. Longitudes de onda correspondientes para cada uno de los colores.....	32
Tabla 2. Clasificación de modelos de espacio del color. Cada conjunto de modelos de color corresponde a una clasificación, y a una representación gráfica genérica para ese grupo. Dentro del grupo de modelos CIE, se observa el modelo CIE Lab y CIE Lch utilizados en esta investigación.	48
Tabla 3. Rangos de percepción de diferencias de color para el ojo humano. La tabla muestra a partir de que rango, la diferencia de color es perceptible para el ojo humano.....	52
Tabla 4. Técnicas del color según Doerner. Disolvente/Diluyente propio de cada color, el cual puede ser el mismo o distinto que el aglutinante dependiendo del tipo de técnica	58
Tabla 5. Compuestos colorantes de las especias. Colores que poseen cada una de las especias debido a su compuesto colorante.....	76
Tabla 6. Resistencia de las especias utilizadas. Resistencia de cada una de las especias utilizadas en esta investigación en la cual se presenta su comportamiento ante cada una de los factores	77
Tabla 7. Dimensionamiento requerido por prueba. Pruebas a realizar en las tablillas, se encuentra las características de cada una de ellas, así como especificación de la naturaleza de la prueba, y la dimensión que esa requiere.	85
Tabla 8. Cálculo de toma de muestras. Calculo de toma de muestras en base al tiempo del experimento y la frecuencia de la toma de muestras.	86
Tabla 9. Calculo del área de tablilla. Obtención de la superficie de la tablilla mediante el cálculo del número de evaluaciones a realizar y el área requerida por cada prueba.....	86
Tabla 10. Análisis granulométrico de la arena sin tamizar. Análisis granulométrico en el que se señalan las cribas utilizadas, la cantidad de material retenido por estas y el porcentaje representativo.	91
Tabla 11. Análisis granulométrico de la arena tamizada. Análisis granulométrico en el que se señalan las cribas utilizadas, la cantidad de material retenido por estas y el porcentaje representativo.	92
Tabla 12. Proporciones y materiales del enlucido fino, en sus dos fases: solido-sólido y solido-liquido.....	92
Tabla 13. Pesos volumétricos de los materiales utilizados para la primera etapa de formulación.	93
Tabla 14. Formulaciones del grupo FP-XXX.....	99
Tabla 15. Prueba de adhesividad según la norma ASTM-D-3359-02. Clasificación de la prueba de adhesividad en la cual se aprecian los grados de adhesión de la capa pictórica.	110
Tabla 16. Rendimiento de la extracción de mucílago del nopal de San Sebastián Villanueva, en base al volumen obtenido.	117
Tabla 17. Pinturas de la primera formulación, aplicadas sobre las tablillas.....	118
Tabla 18. Microscopía óptica de los pigmentos en su estado natural.....	128
Tabla 19. Dureza de las probetas A-101 a A-305, en donde se observa la dureza inicial, dureza intermedia, dureza final y la dureza promedio de cada probeta.....	145
Tabla 20. Dureza de las probetas B-101 a B-305, en donde se observa la dureza inicial, dureza intermedia, dureza final y la dureza promedio de cada probeta.....	146
Tabla 21. Dureza de las probetas C-101 a C-305, en donde se observa la dureza inicial, dureza intermedia, dureza final y la dureza promedio de cada probeta.....	147
Tabla 22. Clasificación de la adherencia de la capa pictórica de las probetas FP-001 a FP-007 según la norma ASTM-D-3359-02.....	148
Tabla 23. Clasificación de la adherencia de la capa pictórica de las probetas A-101 a I-305 según la norma ASTM-D-3359-02.....	149
Tabla 24. Clasificación de la adherencia de la capa pictórica de las probetas FP-001 a FP-007 según la norma ASTM-D-3359-02.....	150

Tabla 25. Clasificación de la adherencia de la capa pictórica de las probetas C-101 a C-305 según la norma ASTM-D-3359-02	151
Tabla 26. Rendimiento de la pintura aplicada en tablilla de laboratorio y costos del m ² aplicado a 2 manos	152
Tabla 27. Probetas en las que se observan las tres etapas de la experimentación de Cúrcuma (izquierda), Pimentón (centro) y Paprika (derecha).....	153
Tabla 28. Características de las probetas, de acuerdo a las pinturas que fueron seleccionadas por los integrantes de la comunidad	153
Tabla 29. Dureza de las probetas P-001 a P-004, en donde se observa la dureza inicial, dureza intermedia, dureza final y la dureza promedio de cada probeta	161
Tabla 30. Dureza de las probetas M-001 a M-004, en donde se observa la dureza inicial, dureza intermedia, dureza final y la dureza promedio de cada probeta	162
Tabla 31. Clasificación de la adherencia de la capa pictórica de las probetas C-101 a C-305 según la norma ASTM-D-3359-02	162
Tabla 32. Clasificación de la adherencia de la capa pictórica de las probetas C-101 a C-305 según la norma ASTM-D-3359-02	163
Tabla 33. Rendimientos y Precios de las pinturas aplicadas en campo.....	163
Tabla 34. Representación gráfica de la prueba de adhesión de la capa pictórica de las probetas FP-001 a FP-007.....	169
Tabla 35. Representación gráfica de la prueba de adhesión de la capa pictórica de las probetas A-101 a A-305 de Cúrcuma	170
Tabla 36. Representación gráfica de la prueba de adhesión de la capa pictórica de las probetas A-101 a A-305 de Pimentón.....	173
Tabla 37. Representación gráfica de la prueba de adhesión de la capa pictórica de las probetas A-101 a A-305 de Paprika	176
Tabla 38. Representación gráfica de la prueba de adhesión de la capa pictórica de las probetas P-001 a P-004 aplicada en las tablillas.....	179
Tabla 39. Representación gráfica de la prueba de adhesión de la capa pictórica de las probetas M-001 a M-004 aplicada en muros.	180