



Universidad Nacional Autónoma de México

FAD U N A M
FACULTAD DE
ARTES Y DISEÑO

Facultad de Artes y Diseño

**Metodología para el estudio de pigmentos y colorantes
en obras de arte y patrimonio cultural mediante
la técnica de imagen infrarroja de falso color**

Tesis
Que para obtener el Título de:
Licenciado en Diseño y Comunicación Visual

Presenta: Isaac Rangel Chávez
Directora de Tesis: Dra. María de las Mercedes Sierra Kehoe

CDMX 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

Dedicatoria



A mis padres, Leticia Chávez Moreno y Jaime Adrián Rangel Terrazas, por ser mi modelo de perseverancia. Gracias por todo el amor y el apoyo incondicional que me han dado a lo largo de toda mi vida.

A la amada memoria de mis abuelos Teresa Terrazas Terrazas y Raúl Rangel García. Gracias por todo el amor y el apoyo que me han dado, sobre todo, gracias por el legado de la Unidad y por ser un faro de luz en mi vida.

A mis hermanos Marcos, Mariana, Silvia, Moisés, y Josué.

A mis tíos Alfonso Rangel, Héctor Rangel, Carlos Rangel, Raúl Rangel y Leticia Rangel.

A mis tíos Marcela Terrazas y Jesús Álvarez, Carmen Terrazas y Fernando Terrazas; gracias por el cariño y el apoyo que durante más de diez años hemos podido compartir en el Salón Valle del Sur.

A Jesús López Vázquez, gracias por el don de tu amistad.

Agradecimientos



A Dulce María Aguilar Téllez, gracias por legarme la técnica de imagen infrarroja de falso color, pero sobre todo, gracias por ser una gran amiga y mentora durante mis inicios en el Instituto de Física de la UNAM.

A José Luis Ruvalcaba Sil, gracias por abrirme las puertas del LANCIC, por el respaldo y la confianza depositados en mí y en este desarrollo metodológico.

A Mercedes Sierra Kehoe, gracias por la dirección, la amistad, el apoyo y la libertad dada a este proyecto de investigación.

A la familia LANCIC-IF: Alejandro Mitrani, Miguel Maynez, Ingrid Jiménez, Lorena Meza, Angélica García, Nathael Cano, Griselda Pérez, Mayra Manrique, Mayte Ramírez, Soledad Ortiz, Nora Pérez, Edgar Casanova, Óscar De Lucio, Valentina Aguilar, Xareni Galindo, Ana Cadena, Andrea Torres, Ángela Ejarque, Carlos Tozani y Angélica López; gracias por su asesoría y por la grata experiencia interdisciplinaria.

A los técnicos académicos del grupo: Ing. Francisco Jaimes Beristaín y al Dr. Alejandro Mitrani Viggiano.

Al Instituto de Física de la UNAM, gracias por darme la oportunidad de hacer mi servicio social, prácticas profesionales y tesis al interior de esta maravillosa institución.

Se agradece el apoyo del Laboratorio Nacional de Ciencias para la Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural LANCIC sede Instituto de Física UNAM, a través de los proyectos CONACYT LN 279740, LN293904 y CB239609; así como al proyecto PAPIIT UNAM IN112018.

Al área de Fotografía y Diseño del Instituto de Física de la UNAM; en particular a Luis Novoa Sandoval.

Al Dr. Miguel Ángel Maynez Rojas del LANCIC-IFUNAM por facilitar su colección de fibras teñidas con recetas de época.

Agradecimientos

A la Biblioteca Francisco de Burgoa de Oaxaca por las facilidades para estudiar el Códice de San Bartolo Yautepec, y otros lienzos coloniales de comunidades de Oaxaca.

A la Academia de San Carlos de la UNAM por dar acceso a su colección de Numismática, dentro del marco del estudio de ceras de la Rest. Samira Macias Flores de la Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía del INAH.

Al Museo de El Carmen del INAH y a la Dra. Emma Yañez Rizo de la Dirección de Estudios Históricos del INAH por las facilidades dadas al estudio de los mosaicos de las criptas y de los altares del Exconvento e Iglesia del mismo.

Al Museo Nacional de San Carlos del INBA y a las Dras. Clara Bargellini y Elsa Arroyo del Instituto de Investigaciones Estéticas de la UNAM por la invitación a hacer el registro de falso color de la pintura “Las Siete Virtudes” y “La Virgen de la Leche”.

A la Dra. María Elena Ruiz Gallut del Instituto de Investigaciones Estéticas de la UNAM por la invitación para colaborar en el proyecto “De hombres y animales: su integración plástica en los murales de Techinantitla, Teotihuacan”.

A la Mtra. Mercedes Salomon y a la Biblioteca José Maria Lafragua, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, por la invitación las facilidades prestadas al estudio del “Códice Sierra”.

Al Dr. Lauro Bucio Galindo y la Fis. Samantha Pérez Arevalo del Insituto de Física de la UNAM, por la invitación a participar en el proyecto de “Registro en video del crecimiento de cristales de alumbre de cromo con el tiempo y el proceso de deshidratación con la temperatura”.

Al Dr. Fernando Berrojalbiz del Instituto de Investigaciones Estéticas de la UNAM sede Oaxaca y al Centro INAH Oaxaca por la invitación y las facilidades dadas al Estudio de las pinturas rupestres de “La Bacuana”.

Al Museo Nacional de Arte del INBA y a la Lic. Eumelia Hernández del Instituto de Investigaciones Estéticas de la UNAM por la invitación y las facilidades dadas al estudio de la obra “Santa Cecilia”.

A los Drs. Saburo Sugiyama y Nawa Sugiyama por la invitación y las facilidades dadas al estudio de pintura mural teotihuacana del proyecto Plaza de las Columnas.

Al Museo Mural Mural Diego Rivera del INBA y a la Dra. Mercedes Sierra Kehoe, por la invitación y las facilidades prestadas al estudio de la obra “Sueño de una Tarde Dominical en la Alameda Central” de Diego Rivera.

Al Antiguo Colegio de San Idelfonso, UNAM, y a la Mtra. Sandra Zetina Hernández del Instituto de Investigaciones Estéticas de la UNAM por su invitación y facilidades prestadas al estudio del mural “La Creación”, de Diego Rivera.

A la Dirección General de Patrimonio Universitario de la UNAM por la invitación y las facilidades dadas al estudio del mural “El pueblo a la Universidad y la Universidad al pueblo” de D.A. Siqueiros, y otros murales de la Ciudad Universitaria.

Agradecimientos

Al Dr. Héctor Hernández Álvarez de la Universidad Autónoma de Yucatán, y a Ana Clara Cadena Irizar por la invitación para colaborar en el estudio de las “Muestras históricas de vidrios procedentes de la Ex Hacienda de San Pedro Cholul, Yucatán”.

Al Museo Nacional del Virreinato del INAH y a la Mtra. Ingrid Karina Jiménez Cosme de la Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía del INAH, por la invitación y las facilidades prestadas al estudio de las figuras de arte novohispano de “San Gabriel” y “San Rafael” en dicho acervo.

Al Laboratorio de Diagnóstico de Obras de Arte, del Instituto de Investigaciones Estéticas de la UNAM. Y a la Dra. Elsa Minerva Arroyo Lemus por facilitar el estudio de las tablas de pigmentos al temple Y4 y C1, realizadas con el apoyo del proyecto PAPIIT UNAM IN402007.

A Misiones Coloniales de Chihuahua A.C. y a la Mtra. Karla Muñoz Alcocer por la invitación y las facilidades dadas para el estudio de los techos policromados de las Misiones Jesuitas en Chihuahua.

A la Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas, por permitirnos analizar parte de su colección de textiles históricos.

Índice



Página

Introducción	1
Capítulo 1	
MARCO TEÓRICO	5
Pseudocolor y Falso Color	5
El color	7
La luz	8
Percepción del color	10
Cualidades del color	12
Los siete contrastes de color.....	13
RGB.....	16
CIE LAB.....	18
HSB ó HSV.....	19
Apariencia del color	20
Captura digital de imágenes.....	23
Obras de arte y patrimonio cultural.....	25

Pigmentos y colorantes27

Capítulo 2

ANTECEDENTES28

Imágenes multiespectrales28

1. Reflectografía ultravioleta31

2. Luminiscencia visible inducida por ultravioleta.32

3. Reflectografía de luz visible32

4. Luminiscencia visible inducida por luz visible33

5. Reflectografía infrarroja33

6. Luminiscencia infrarroja inducida por luz visible34

7. Imagen infrarroja de falso color.34

8. Imagen ultravioleta de falso color35

9. Falso color por corrimiento de canales35

10. Falso color por reflectografías infrarrojas.36

Fotogrametría36

Falso color mediante DStretch37

Reflectance Transformation Imaging (RTI)37

3D Photoscan38

Capítulo 3

**METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE
FALSO COLOR, APLICADA AL ESTUDIO
DE PIGMENTOS Y COLORANTES EN
OBRAS DE ARTE Y PATRIMONIO CULTURAL**39

	Página
Instrumentación	40
Etapas de la implementación metodológica	43
Etapa 1 Delimitación del objeto de estudio	43
Etapa 2 Adquisición de reflectografías (visibles e infrarrojas)	44
1. La obra	44
2. Montaje del set fotográfico	45
3. Controles de la cámara	46
4. Ajustes de la cámara	47
5. El encuadre	51
6. Orden en la captura de las reflectografías	52
Etapa 3 Procesamiento de reflectografías (visibles e infrarrojas) y generación de imágenes infrarrojas de falso color	52
1. Calibración de monitor o pantalla	53
2. Gestión de color	59
3. Importación y manejo de las imágenes	61
4. Organización y renombrado de los archivos de imagen	62
5. Calibración de color en las reflectografías visibles	64
6. Elaboración de la imagen infrarroja de falso color	67
7. Desaturación de las reflectografías infrarrojas	70
8. Sumario de archivos de la etapa 3	71
Etapa 4 Análisis cromático comparativo entre reflectografía visible e imagen infrarroja de falso color	72
1. Alternativas para ajustar el color del monitor sin un dispositivo calibrador	72
2. Pre visualización de la reflectografía visible V.S. imagen infrarroja de falso color	83

Página

3. Muestreo y promediado de color	85
4. Medición del color	87
5. Graficación del color	88
Etapa 5 Interpretación de resultados	97
1. Matiz de intervalo	98
2. Calculo del contraste de saturación y brillo	100
3. Calculo del contraste de matiz	100
4. Registro del matiz, saturación y luminosidad	101
5. Interpretación del contraste en el matiz, saturación y luminosidad	109
6. Obtención de datos colorimétricos en materiales de referencia	110
7. Tabla de referencia, Tabla C1	110
8. Asociación de composición en común entre dos o más muestras sin caracterización del material.	124
9. Muestras Históricas de Vidrios procedentes de la Ex-Hacienda Henequenera San Pedro Cholul, en el estado de Yucatán, México	124
10. Determinación de tendencias compositivas por confrontación de información empleando datos obtenidos de materiales de referencia indirectamente comparables . . .	149
11. Análisis de Corladuras verdes V.S. Tabla de referencia Y4	150
Tabla Y4	150
Corladuras verdes – Figuras de arte novohispano	165
San Gabriel	166
San Rafael	169
12. Caracterización del material por confrontación de información empleando datos obtenidos de materiales de referencia directamente comparables	172
13. Análisis del color azul, en la pintura “Virgen de la leche”	172

Índice

Página

14. Caracterización del material por confrontación de información empleando datos obtenidos de materiales caracterizados por técnicas espectroscópicas	176
15. Análisis del color rojo en un fragmento del techo de la misión de “Santamaría de Cuevas” con Imagen Infrarroja de Falso Color	176
16. Asociación de composición en común entre dos o más muestras con distintos grados de preservación de color	183
17. Análisis de Falso Color de un Morral Otomí perteneciente a la Colección de textiles, de la Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas V.S. Base de datos de Fibras teñidas y envejecidas	184
Fibras teñidas y envejecidas	184
Morral Otomí	200
Etapa 6 Presentación de resultados	202
Capítulo 4	
CONCLUSIONES	203
Bibliografía	
y fuentes digitales de consulta	207

Introducción



El Diseño y Comunicación Visual, es una disciplina que interactúa con cualquier área del conocimiento que requiera emplear discursos visuales, manipulación de gráficos de diversas procedencias y naturalezas, así como sus distintas áreas de especialización, tales como: los soportes tridimensionales, simbología, ilustración, fotografía, soportes multimedia, diseño editorial, y todas las áreas teóricas y técnicas.

En el ámbito de la ciencia y la tecnología, el diseño está tomando una relevancia significativa, al contribuir con la creación de entornos gráficos bidimensionales, tridimensionales o multimedia, que soportan la difusión de nueva información y la implementación de nuevas herramientas o recursos visuales. Todo esto es gracias al uso de la plástica, la ergonomía, la semiótica y la sintaxis de la imagen.

Sobre todo en el área de las ciencias físicas, químicas y biológicas; hay un nicho que necesita la producción de materiales gráficos especializados, que deben de estar orientados a la producción, creación y difusión de nuevo conocimiento.

El diseñador y comunicador visual tiene una formación que lo habilita como un codificador de información que le permite hacer fluir adecuadamente los mensajes entre el emisor y el receptor. En el caso del desarrollo de los temas de investigación científicos, para poder realizar una correcta codificación de la información, es necesario conocer y comprender las disciplinas de estudio que producen la información, así como las posibles audiencias que serán receptoras y usuarias de éste.

La caracterización de materiales por medios no destructivos, es un trabajo interdisciplinario que ha sido importante para el estudio y conservación del patrimonio cultural a nivel mundial. México es un país rico en manifestaciones materiales culturales que están en proceso de ser descubiertas o de comenzar a estudiarse con este tipo de técnicas.

En el ámbito del estudio y conservación de obras de arte y patrimonio cultural, hay una técnica de imagen conocida como “Imagen infrarroja de falso color”, ésta consiste en la integración de información de los intervalos de luz visible e infrarroja que se manifiesta como un “corrimiento del intervalo de energía electromagnética perceptible”. La luz o energía radiante que puede apreciarse por la vista, es parte de un conjunto de energías radiantes conocido como espectro electromagnético, el

cual está ordenado por sus energías, frecuencias o longitudes de onda. Además de la energía radiante visible, se encuentra otra que no se puede ver hacia el intervalo de menores energías, conocida como luz infrarroja. De hecho, la imagen infrarroja de falso color descarta una parte del espectro visible, para poder percibir una fracción de la parte infrarroja.

Debido a la síntesis aditiva del color, la imagen infrarroja de falso color presenta matices que no corresponden a los que se perciben a simple vista, este cambio de matiz está asociado a la composición material de los objetos retratados con esta técnica.

Por lo anterior, la imagen infrarroja de falso color es una técnica de prospección no invasiva y no destructiva, que puede abarcar grandes zonas de análisis, y que permite de una forma inmediata, tener una primera aproximación a la distribución superficial de los materiales que conforman los objetos de estudio.

No obstante, es necesario el desarrollo de metodologías que guíen a esta técnica de análisis material, desde los distintos tipos de instrumentación y hacia los distintos materiales a los que sean aplicados.

En este trabajo se propone una metodología de la técnica de imagen infrarroja de falso color aplicada al estudio de pigmentos y colorantes en obras de arte y patrimonio cultural, que a su vez estará inserta en el flujo de trabajo del Laboratorio Nacional de Ciencias para la Investigación y la Conservación del Patrimonio Cultural (LANCIC-IF).

Esta técnica de imagen está estrechamente vinculada a disciplinas y conceptos como la fotografía y color, áreas del saber que forman parte de la formación de un diseñador y comunicador visual, tal y como se podrá observar a lo largo de este desarrollo metodológico. La principal propuesta de este trabajo es la introducción del análisis cromático comparativo entre imágenes que corresponden al registro de la luz visible y las imágenes infrarrojas de falso color en esta metodología. Cabe señalar que también se tocarán tópicos propios del diseño editorial, tales como la captura, gestión, visualización y reproducción del color.

El objetivo principal de este trabajo es el desarrollar una metodología que permita la correcta implementación de la técnica para analizar pigmentos y colorantes en Obras de Arte y Patrimonio Cultural. Asimismo, se busca determinar sus alcances y limitaciones en su carácter de análisis no invasivo y no destructivo, así como estudiar su potencial en el análisis de pigmentos orgánicos, difíciles de identificar por otras técnicas de análisis espectroscópico, también de carácter no destructivo y no invasivo.

Una de las principales carencias de esta técnica es la ausencia de un análisis colorimétrico sistematizado y objetivo que permita estandarizar la forma en que se describe, cuantifica y se interpreta el color. Por ello, otro de los objetivos centrales de este trabajo es el proponer una metodología de análisis colorimétrico consistente.

El LANCIC-IF es un laboratorio con un perfil de trabajo multidisciplinario, en el que participa gente procedente de diversas áreas del conocimiento, como Física, Química, Arqueología, Antropología, Historia del arte, Restauración, entre algunas otras. Recientemente (2016-2018), el laboratorio

cuenta con la incorporación de dos proyectos de investigación procedentes del área de Diseño y Comunicación Visual, uno a nivel maestría, y éste a nivel licenciatura.

Por lo anterior, una de las contribuciones de este proyecto es destacar la pertinencia e importancia que tiene el Diseño y la Comunicación Visual (Particularmente un Diseñador y Comunicador Visual con una especialización en Diseño Editorial), en un proyecto multidisciplinario en el cual se conjuntan ciencias, artes y humanidades.

Esta investigación nace de un interés personal del autor, por aplicar el diseño y la comunicación visual al estudio del arte y la ciencia, y se integra a los objetivos y a una de las líneas de investigación del LANCIC-IF.

Objetivos LANCIC-IF:

“Desarrollar y optimizar metodologías e infraestructuras experimentales para la caracterización no destructiva de los materiales de acervos nacionales que integran el patrimonio cultural e histórico de México.

- Consolidar el grupo mexicano de investigación en esta área e integrar nuevos grupos de investigación interdisciplinaria.
- Formar recursos humanos especializados en el ámbito del estudio interdisciplinario de los materiales históricos y de las colecciones nacionales.
- Integrar bases de información de los materiales y objetos, así como de las colecciones más relevantes del patrimonio cultural e histórico nacional.
- Integrar bases de materiales de referencias para colecciones mexicanas como un elemento fundamental para su caracterización y preservación.
- Revalorar el patrimonio nacional y dar nueva relevancia a su conocimiento y conservación.”

Línea de investigación LANCIC-IF:

“Desarrollo de técnicas avanzadas para la caracterización no destructiva. Estudio no destructivo de colecciones mediante técnicas espectroscópicas y de imagen. Desarrollo de Instrumentación para análisis in situ. Desarrollo de nuevos materiales para conservación y su caracterización in situ.”¹

¹ Objetivos y líneas de investigación, recuperado de: <http://www.fisica.unam.mx/externos/RedCAICPC/laboratorio-nacional-de-ciencias-para-la-investigacion-y-la-conservacion-del-patrimonio-cultural-lancic-if-laboratorio-de-analisis-no-destructivo-para-el-estudio-in-situ-del-arte-la-arqueologia-y-l/>

A lo largo de esta tesis se aborda y se describen los siguientes tópicos:

- Qué es la imagen de Pseudocolor y Falso Color.
- Aplicaciones de la Imagen de Falso Color.
- Fundamentos físicos, biológicos y técnicos del Color.
- Cómo se realiza la captura digital de imágenes.
- Definiciones generales de obra de arte, patrimonio cultural, pigmentos y colorantes.
- Imágenes y equipos multiespectrales.
- Estudios de imagen aplicados a obras de arte y patrimonio cultural.
- Equipos fotográficos adaptados a imagen multiespectral con los diferentes tipos de estudios desarrollables.
- Metodología de imagen infrarroja de falso color aplicada al estudio de pigmentos y colorantes en obras de arte y patrimonio cultural.

Asimismo, se ilustra este desarrollo metodológico con ejemplos de análisis aplicados a los siguientes objetos de estudio para mostrar los alcances de la metodología de estudio:

- • Tablas de referencia con pigmentos aplicados al temple.
- Fibras teñidas y envejecidas, con Cochinilla, Palo de Brasil, Cempaxúchitl, Muitle e Índigo, en fibras de Lana y Algodón; empleando distintos mordientes.
- Muestras históricas de vidrios, procedentes de la Ex Hacienda Henequenera de San Pedro Cholul en el estado de Yucatán, México.
- Corladuras Verdes en figuras de arte novohispano (San Gabriel y San Rafael) de la colección del Museo del Virreinato (Antiguo Colegio de San Francisco Javier) en Tepotzotlán, México.
- Pintura al óleo sobre tablero de Álamo, “Virgen de la leche” de Jacopo Carucci da Pontormo, de la Colección del Museo Nacional de San Carlos en la Ciudad de México.
- Un fragmento del techo de una Misión Colonial de nombre “Santa María de Cuevas, en Santa María de Cuevas localidad perteneciente al municipio de Dr. Belisario Domínguez en el estado de Chihuahua, México.
- Un Morral Otomí procedente de la región de Ixmiquilpan en el estado de Hidalgo, México. Parte de la Colección de Textiles de la Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (CDI).

CAPITULO 1

MARCO TEÓRICO

.....

Pseudocolor y Falso Color

El pseudocolor es una técnica que mapea cada uno de los niveles de gris en una imagen acromática (En escala de grises) y les asigna un color predeterminado por medio de procesos informáticos.²

Esta técnica es utilizada en astronomía para el estudio de cuerpos celestes; en la imagen 1 se muestra al cometa Halley, tomada durante su aparición en 1986, el tratamiento de pseudocolor consistió en asignar el color rojo a las emisiones de radio más intensas, azul a las menos intensas, negro a las señales nulas y los colores naranja, amarillo y verde se asignaron a las emisiones intermedias. Las imágenes de radio originalmente son generadas en escalas de grises.

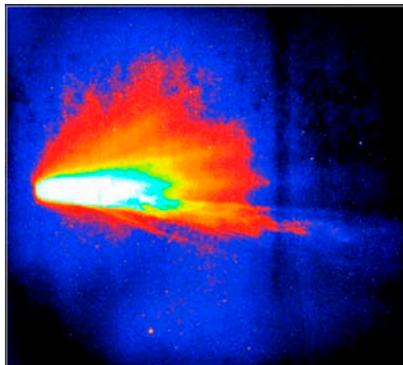


Imagen 1: Pseudocolor color del cometa Halley. Autor: Calvin J. Hamilton.

2 Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE). Clark H. Radewan, Digital Image Processing With Pseudo-Color [Tratamiento de Imágenes Digitales con Pseudocolor], Proc. SPIE 0048, Acquisition and Analysis of Pictorial Data [Adquisición y Análisis de Datos Pictóricos], (1 March 1975); doi: 10.1117/12.954071; <https://doi.org/10.1117/12.954071>

La imagen de falso color es una técnica que consiste en cambiar los matices originales de una fotografía tradicional mediante la incorporación de información adicional procedente de imágenes que registran energía no visible; o también, modificando la información de los colores mediante la manipulación de parámetros en los valores en los modelos de color (RGB, CMYK, etc.), contraste, brillo, entre otros. Todo lo anterior se implementa para lograr destacar y/o contrastar algún tipo de información en la imagen.

El falso color se aplica en sistemas de teledetección satelitales, lo cual permite ubicar recursos naturales, asentamientos humanos, etc. Se puede apreciar en la imagen 2 una vista del sureste de Florida en falso color y en reflectografía visible (colores verdaderos), el falso color muestra información de infrarrojo cercano, luz roja y verde. Este tipo de falso color nos ayuda a apreciar mejor la vegetación que crece más rápido, ya que ésta refleja más la luz infrarroja y aparece en color rojo más intenso, las zonas urbanas se tornan de un color cian claro y el agua aparece con tonos azules y negros.³

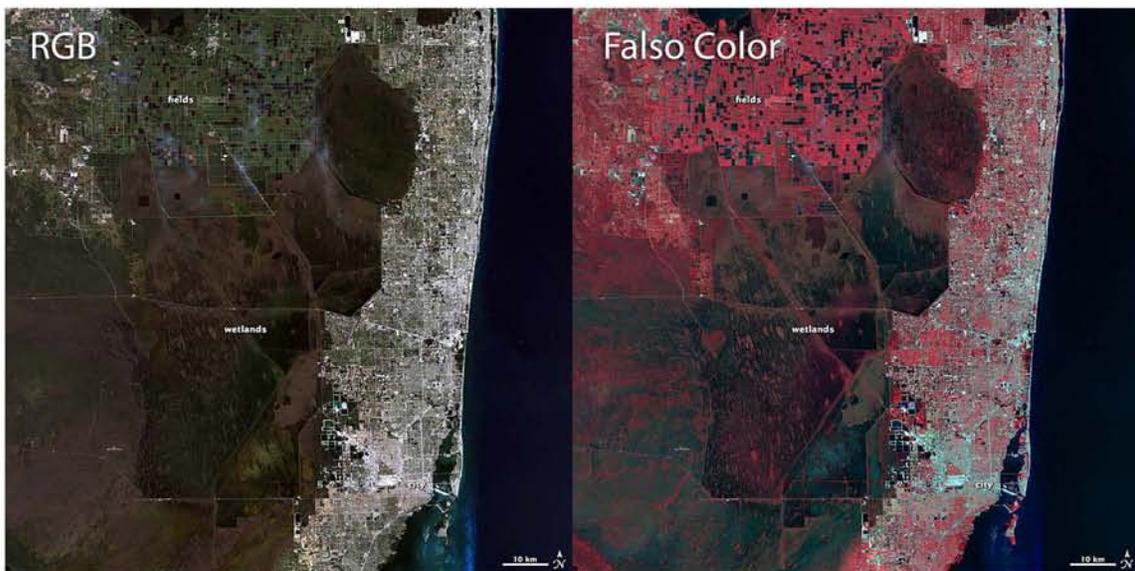


Imagen 2: NASA, imagen de Matt Radcliff, Landsat 5, USGS Earth Explorer.

Los satélites están equipados con diversos instrumentos que captan distintos tipos de energía y generan distintos tipos de imágenes.

³ Turning Wavelength Data Into an Image [Convirtiendo datos de longitud de onda en una imagen], recuperado de: <https://earthobservatory.nasa.gov/Features/FalseColor/page1.php>

En la imagen 3 podemos apreciar un incendio forestal, en el canal rojo* se puede observar la nube de humo, mientras que el infrarrojo de onda corta nos muestra las zonas donde hay fuego activo y la imagen térmica nos muestra mejor la topografía del lugar, resaltando las zonas más cálidas de la imagen; cabe señalar que las imágenes de infrarrojo de onda corta y térmico pueden penetrar en cierto grado las nubes de humo y hacer visibles las zonas de combustión y de mayor temperatura.⁴



Imagen 3: NASA, imagen de Robert Simmon, Landsat 8, USGS Earth Explorer.

El color

Se puede estudiar el color desde dos enfoques distintos, el físico y el psicológico. A la hora de implementar la imagen infrarroja de falso color, así como de cualquier otra técnica de imagen basada en luz visible; es necesario tener presente una visión integral de este debido a que la adquisición,

* El canal rojo en el modelo de color RGB, en el cual se basa ésta imagen, se presenta en escala de grises debido a que se representa únicamente el fenómeno de absorción y reflexión de la luz en esa región del espectro electromagnético (620 a los 780nm). Digitalmente cada canal genera una imagen acromática que representa la luminosidad del color. Véase “RGB” en la página 16.

4 Turning Wavelength Data Into an Image [Convirtiendo datos de longitud de onda en una imagen], recuperado de: <https://earthobservatory.nasa.gov/Features/FalseColor/page1.php>

procesamiento e interpretación de la información, conlleva el manejo de conceptos que abarcan fenómenos físicos (cuantitativos) y perceptivos (cualitativos).

“Color. Atributo de la percepción visual que consiste en cualquier combinación de contenido cromático y acromático. Este atributo puede ser descrito como cromático cuando se trata de matices como amarillo, naranja, café, rojo, rosa, verde, azul, morado, etc., y acromático cuando se trate de matices como el blanco, gris, negro, y calificados por brillantes, oscuros, claros, etc., o por combinaciones de tales nombres.”⁵

En 1953 la Comisión de Colorimetría de la Sociedad Óptica de América se reunió para llegar a un consenso sobre la adecuada definición del color.

“El término color describe, al menos sutilmente, tres aspectos diferentes de la realidad. Primero, denota una propiedad de un objeto, como: césped verde. Segundo, se refiere a una característica de la luz, como: el césped eficientemente refleja la luz verde mientras absorbe la luz de otros colores más o menos en su totalidad. Y tercero, especifica una clase de sensaciones, como: la interpretación del cerebro que da a la detección ocular de la luz del sol selectivamente reflejada por el césped, resulta en la percepción del verde.”⁶

Por lo anterior podemos concluir que el color está determinado por:

- Las propiedades ópticas de la materia.
- Las propiedades de la energía lumínica con la que interactúa.
- La capacidad de algunos materiales para emitir luz bajo ciertas circunstancias.
- La interpretación perceptual, que a su vez depende de receptores biológicos (los ojos) y de procesos cognitivos (el cerebro).

La luz

“Es un efecto de la energía radiante que produce en cada observador humano, se hace consiente a través de sensaciones visuales que surgen de la estimulación de la retina del ojo por ésta.”⁷

5 Erik Reinhard, Erum Arif Khan, Ahmet Oğuz Akyüz and Garret Johnson, 2008, Color Imaging Fundamentals and Applications [Conceptos básicos y aplicaciones de imágenes en color], p.567

6 Kurt Nassau, 1998, Color for Science, Art and Technology [Color para la Ciencia, el Arte y la Tecnología], Volumen 1, p. 3

7 Erik Reinhard, Erum Arif Khan, Ahmet Oğuz Akyüz and Garret Johnson, 2008, Color Imaging Fundamentals and Applications [Conceptos básicos y aplicaciones de imágenes en color], p.252

La luz que ven nuestros ojos es una forma de energía que viaja a través del espacio en forma de ondas y es conocida como radiación electromagnética (Figura 1). Se propaga siempre a la misma velocidad y varía su longitud de onda (distancia entre picos) dependiendo de la cantidad de energía que posea (a menor longitud de onda mayor energía).⁸

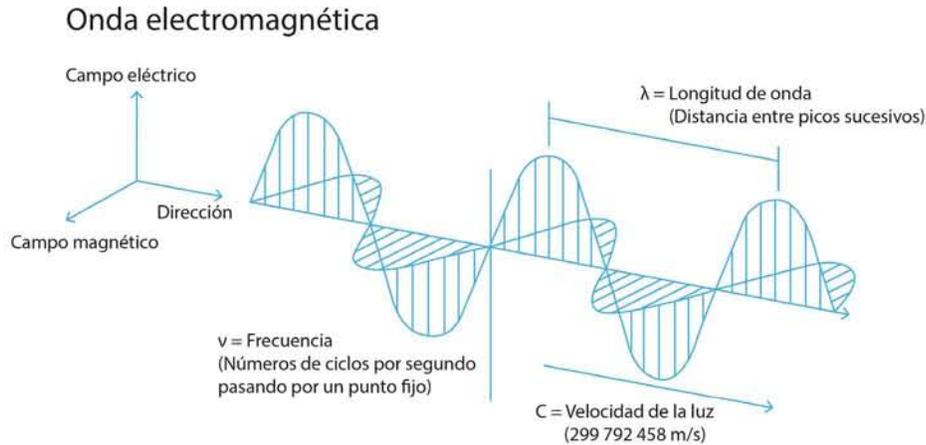


Figura 1: Onda electromagnética.⁹

“Las ondas electromagnéticas cubren un espectro extremadamente amplio de longitudes de onda y frecuencia. Este espectro (Figura 2) electromagnético incluye las ondas de radio y televisión, la luz visible, la radiación infrarroja y ultravioleta, los rayos X y los rayos gamma.”¹⁰

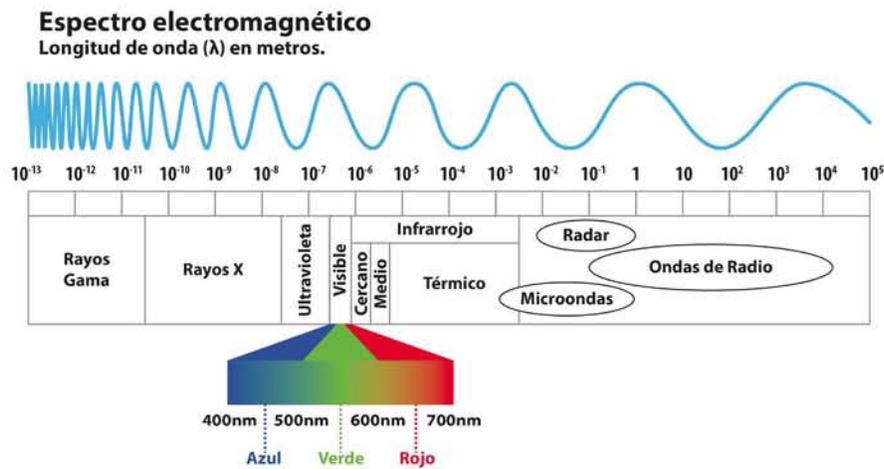


Figura 2: Espectro electromagnético.¹⁰

8 Seeing the Light [Viendo la luz], recuperado de: <https://earthobservatory.nasa.gov/Features/FalseColor/page1.php>

9 Young, Hugh D. y Roger A. Freedman, 2009, Física universitaria con física moderna volumen 2, p. 1103) (Seeing the Light [Viendo la luz], recuperado de: <https://earthobservatory.nasa.gov/Features/FalseColor/page1.php>

10 Young, Hugh D. y Roger A. Freedman, 2009, Física universitaria con física moderna volumen 2, p. 1095

Es importante tener presente que la luz únicamente tiene una velocidad constante en el vacío; se comporta como onda cuando se desplaza y cuando le transmite energía a la materia se comporta como partícula (Fotón). Tener presente esto nos ayudará a comprender mejor el funcionamiento de los sensores fotográficos y los fenómenos físicos que intervienen en la apariencia del color (Absorción, reflexión, dispersión, refracción y emisión).

Percepción del color

La sensación de color es posible gracias a que el cerebro interpreta señales que le envían los ojos. La luz entra al ojo a través de la córnea (Parte transparente de la esclerótica comúnmente conocida como lo blanco del ojo), pasando la pupila (Orificio situado al centro del iris, que a su vez, es un diafragma que controla la cantidad de luz que pasa al interior del ojo), el cuerpo cristalino (lente flexible cuya forma está determinada por control muscular) y finalmente llegando a la retina; que es la responsable de la construcción de las imágenes.

El ojo humano es sensible a la radiación electromagnética de aproximadamente 380 a 780 nanómetros, teniendo el pico de sensibilidad en $\lambda = 555\text{nm}$.¹¹

La retina es la encargada de percibir el color y es fotosensible gracias a una matriz de células denominadas bastones y conos, cuyos nombres proceden de su morfología.

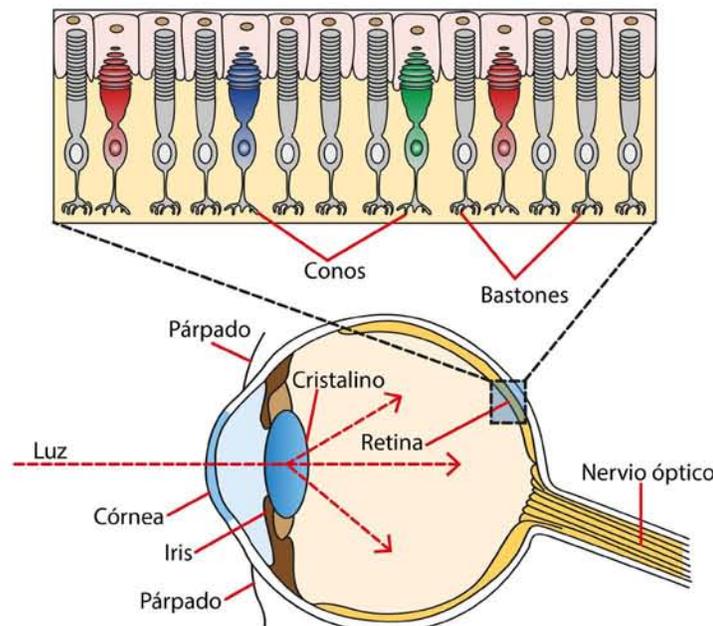
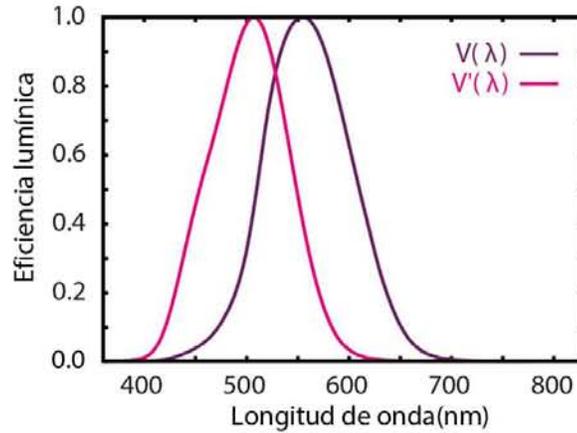


Figura 3: Componentes del ojo humano. ¹²

¹¹ CIE. "Light as a True Visual Quantity: Principles of Measurement." [Luz como una verdadera cantidad visual: Principios de medición] Technical Report Publ. No. 41 (TC-1.4), Commission Internationale De L'Eclairage, Vienna, 1978.

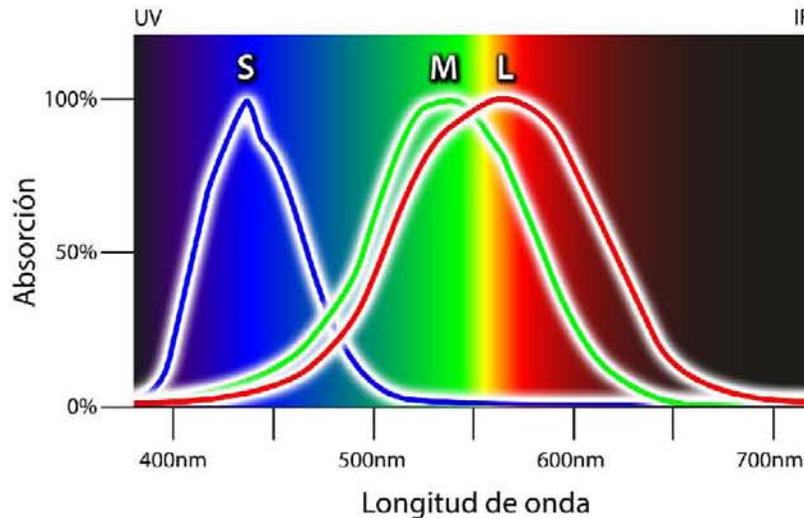
¹² Figura basada en la figura 2.2 "Componentes del ojo" de: Colour Chemistry, R. M. Christie, 2001, P. 16. También basada en la figura 4.13 "Conectividad de células neurales en la retina" de: Colour imaging fundamentals and applications, Erik Reinhard *et al.*, 2008, P. 213.

Los bastones nos aportan una visión escotópica, la cual se produce con niveles bajos de luminosidad, es más sensible a la luz azul y es de carácter acromático (No es capaz de distinguir el color).



Los conos nos brindan una visión en color, claridad y oscuridad. Hay tres tipos de conos en la retina y su sensibilidad abarca los tres colores básicos del espectro de luz visible (Gráfica 2).

Los conos cortos (S) son más sensibles a la luz azul (Siendo más sensibles a la luz de 440nm), los medios (M) mayormente sensibles a la luz verde (Con una mayor percepción de la luz de 545nm) y los largos (L) que captan mejor la luz roja (Con una sensibilidad mayor a la luz de 585nm).¹⁴



Gráfica 2: Máximos de sensibilidad por tipo de cono.

¹³ Erik Reinhard, Erum Arif Khan, Ahmet Oğuz Akyüz and Garret Johnson, 2008, Color Imaging Fundamentals and Applications [Conceptos básicos y aplicaciones de imágenes en color], p.321

¹⁴ Robert M. Christie, 2001, La Química del color, p. 16

Cualidades del Color

La luz no es el color en sí misma. El color nace únicamente en el cerebro al momento de interpretar las señales que le envían los ojos.

No se puede separar el concepto de color de una imagen, aún, cuando se trate de una imagen de escala de grises (Acromática) o una imagen en blanco y negro, el color es algo que siempre ayuda a describir la información que emana de ellas.

La técnica de imagen infrarroja de falso color se basa en el análisis comparativo de la información cromática en dos tipos de imágenes: reflectografía visible e imagen infrarroja de falso color. Al momento de hacer el análisis, es pertinente tener en claro los conceptos que describen analíticamente al color.

Debido a que el color es un fenómeno perceptual, el trabajo descriptivo del mismo deberá de estar basado en cualidades propias de esta experiencia como:

- Tono o Matiz: Atributo que permite clasificar los colores como rojo, amarillo, azul, etcétera; depende directamente de la longitud de onda de la luz.



Tabla 1: Tonos por longitud de onda ¹⁵

La cromaticidad y la acromaticidad de un color dependerá de que posea o no un matiz.

¹⁵ Young, Hugh D. y Roger A. Freedman, 2009, Física universitaria con física moderna volumen 2, p. 1095

- Valor, Brillo o Luminosidad: Es el atributo de la sensación visual según la cual un determinado estímulo parece ser más claro u oscuro, o emitir más o menos luz.



Figura 4: Brillo.

- Intensidad, Saturación o Cromaticidad: Atributo de la sensación visual la cual indica la pureza de un color, a mayor intensidad son más brillantes y vivos; a menor son más grises; el color de un área parece ser más o menos cromático (Cromático-Acromático).



Figura 5: Saturación.

Los siete contrastes de color (Johannes Itten)

Existen diferentes teorías del color, como la Goethe, Newton, Maxwell entre otros. En este caso se ha optado por explicar la teoría de Johannes Itten, ya que aborda este tema desde el contraste del color al igual que este desarrollo metodológico.

Para el análisis de imagen infrarroja de falso color, es necesario comparar dos o más muestras. El contraste es un fenómeno que se da al momento de comparar colores, por lo que es necesario saber describirlo correctamente al momento de hacer un análisis cromático comparativo.

Johannes Itten propone siete contrastes de color, mismos que explicaremos a continuación:

1. Contraste del color en sí mismo: se refiere a la diferencia evidente del matiz o tono.

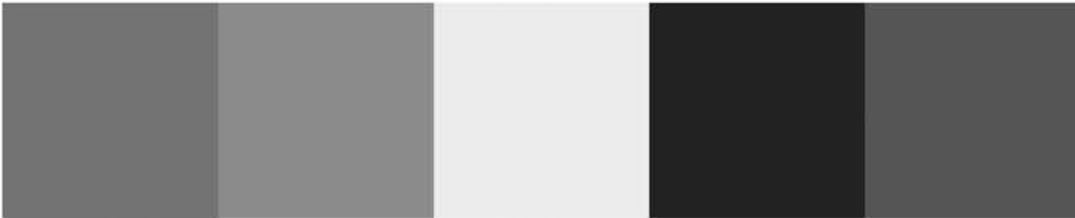


Figura 6: Contraste en sí mismo.

2. Contraste claro-oscuro: se presenta cuando se difiere en el valor, brillo o luminosidad.



Figura 7: Contraste claro-oscuro.

3. Contraste caliente-frío: éste se da cuando la sensación de temperatura es opuesta en la comparación de colores.



Figura 7: Contraste claro-oscuro.

La sensación de temperatura que nos produce un color puede ser cálida o fría dependiendo del conocimiento empírico (Los colores que corresponden al sol, fuego o a las zonas áridas pueden parecerse cálidos; mientras que los correspondientes al hielo, nieve o zonas gélidas pueden producir la sensación de frío). El círculo cromático puede dividirse en dos zonas, los colores cálidos que van del amarillo al rojo; y los fríos que van del verde al morado.

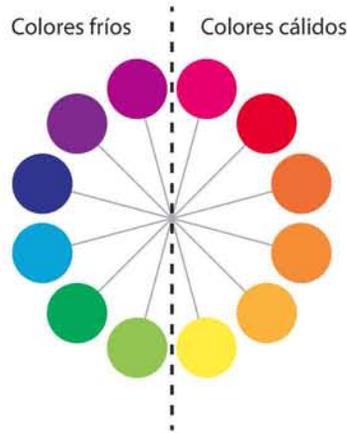


Figura 9: Círculo cromático; colores complementarios, cálidos y fríos.

4. Contraste de los complementarios: Este contraste es evidente cuando la relación que guardan éstos en el círculo cromático, es diametralmente opuesta.



Figura 10: Contraste de los complementarios.

5. Contraste simultáneo: en este caso se trata de una propiedad contextual del color, ya que una misma muestra de color en sí misma no produce ningún contraste, pero al interactuar con distintos colores será apreciada de distinta manera. Lo anterior nos explica que ningún color como sensación tiene algún valor absoluto y su apreciación en el contraste dependerá de su entorno, es decir que el mismo color podrá ser el más brillante o el más obscuro, el más puro o el menos saturado, el más cálido o el más frío, etc.

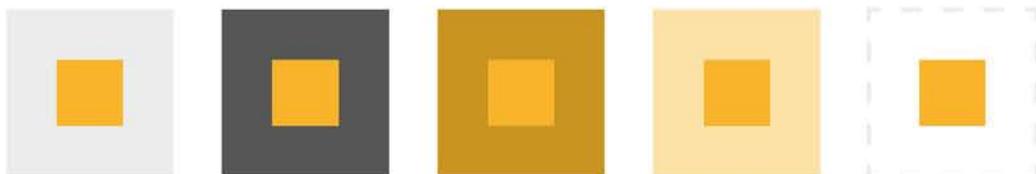


Figura 11: Contraste simultáneo.

6. Contraste cualitativo:

“La noción cualitativa del color se fundamenta en el grado de pureza o de saturación. Por contraste cualitativo designamos la oposición entre un color saturado y luminoso y otro apagado y sin resplandor...” (Johannes Itten)

En otras palabras, el contraste cualitativo es la diferencia de saturación, croma o intensidad entre colores.



Figura 12: Contraste cualitativo.

7. Contraste cuantitativo: Este tipo de contraste se refiere a la diferencia en el área de superficie cubierta por el color.

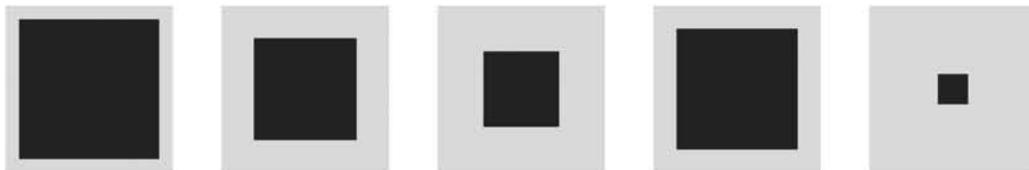


Figura 13: Contraste cuantitativo.

RGB

Las imágenes que corresponden al espectro visible (colores verdaderos), se pueden representar digitalmente con un modelo de color conocido como RGB.

El sistema de color RGB está basado en un triestímulo cuyas bases quedaron establecidas por la Comisión internacional de la iluminación, CIE (Comission Internationale de l'Eclairage) en 1931 (CIE 1986, 2004a), basados en que la referencia de estímulo R (Rojo), G (Verde) y B (Azul) son luces monocromáticas de longitudes de onda $\lambda_R = 700.0$ nm, $\lambda_G = 546.1$ nm y $\lambda_B = 435.8$ nm respectivamente.¹⁶

¹⁶ Noboru Otha & Alan R. Robertson, 2005, Colorimetry Fundamentals and Applications [Colorimetría Fundamentos y Aplicaciones], p. 26-30



Imagen 4: Modelo de color RGB, colores primarios, Fotografía: Isaac Rangel Chávez, 2016.

En la técnica de imagen infrarroja de falso color, se emplea este modelo debido a que en las imágenes de colores verdaderos, cada canal abarca tres regiones de energía distintas del espectro visible; la luz azul (Blue) va de los 450 a los 490nm, la verde (Green) que abarca de los 490 a 580nm y la roja (Red) que va de los 620 a los 780nm; lo anterior permite hacer un corrimiento intencional de la información en la imagen de colores verdaderos y así, dejar libre un canal para incorporar la información de la imagen de reflectografía infrarroja.¹⁷

En la imagen 4 se muestra una simulación de cómo se vería proyectada la luz de cada color primario del modelo RGB, digitalmente cada canal de color genera una imagen acromática en la que cada tonalidad de gris, representa la luminosidad del color (Imagen 5).



Imagen 5: Modelo de color RGB, Fotografía: Isaac Rangel Chávez, 2016.

¹⁷ Observing in Visible Light [Observando en luz visible], recuperado de: <https://earthobservatory.nasa.gov/Features/FalseColor/page1.php>) (Joanne Dyer, Giovanni Verri, John Cupitt, 2013, Multispectral Imaging in Reflectance and Photo-induced Luminescence modes: A User Manual [Imágenes multiespectrales en modos de reflexión y luminiscencia foto inducida: Manual de usuario], p.4

El modelo RGB es un modelo de color organizado en tres canales, con valores en un intervalo de 0 a 255 unidades, que al mezclarse genera una amplia gama de colores (Aproximadamente 16.7 millones), su naturaleza es de síntesis aditiva; sus colores primarios son: rojo, verde y azul. Al sumar dos colores primarios se obtienen los secundarios, cian, amarillo y magenta; de la suma de los tres primarios se obtiene el color blanco.

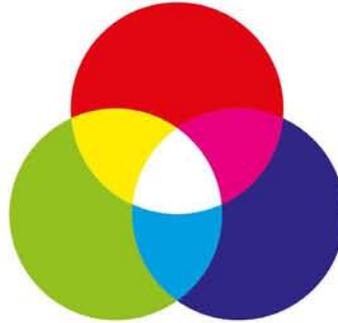


Figura 14: Síntesis aditiva.

La imagen 6 ilustra cómo se verían las cosas si solo las percibiéramos dos de los colores primarios, la imagen de colores verdaderos corresponde a una percepción completa.



Imagen 6: Modelo de color RGB colores secundarios, Fotografía: Isaac Rangel Chávez, 2016.

CIE LAB

Espacio de color establecido por la CIE, ampliamente utilizado para colorimetría, dos de sus ejes expresan matiz y uno luminosidad; está organizado de la siguiente forma:

- El eje "L", representa la luminosidad con intervalo de cero (obscuridad total) a cien (máximo brillo o luminosidad).

- El eje “a”, presenta los matices verde (-a) y rojo (+a) en los extremos de su intervalo, mismo que va de -168 a 168.
- El eje “b” presenta los matices azul (-b) y amarillo (+b) en los extremos de su intervalo, mismo que también va de -168 a 168.

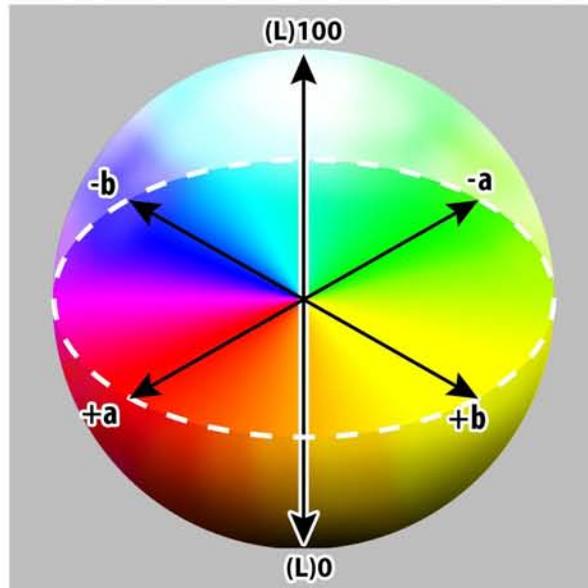


Figura 15: Cie LAB.

HSB Ó HSV

El nombre de este espacio de color proviene de sus siglas en inglés: “Hue, Saturation & Value” (HSV), también conocido como “Hue, Saturation & Brightnes” (HSB); organiza el color en Matiz (Hue), Saturación (Saturation) y Valor o Brillo (Value, Brightnes).

Este modelo de color organiza la información de la siguiente forma:

- “H” corresponde al matiz (Hue) y está organizado por ángulos en una circunferencia completa (0°-360°); cada ángulo corresponde a un matiz.
- “S” es la saturación (Saturation), representada por el radio con un intervalo de cero a cien, donde cien es el arco de la circunferencia y representa la máxima saturación; y cero es el origen y corresponde a la ausencia total de matiz.
- “B” ó “V” Brillo o Valor (Brightnes”, “Value”), expresado gráficamente como la altura o profundidad, tiene un intervalo de cero a 100, donde 0 es total oscuridad y cien es la máxima claridad o luminosidad.

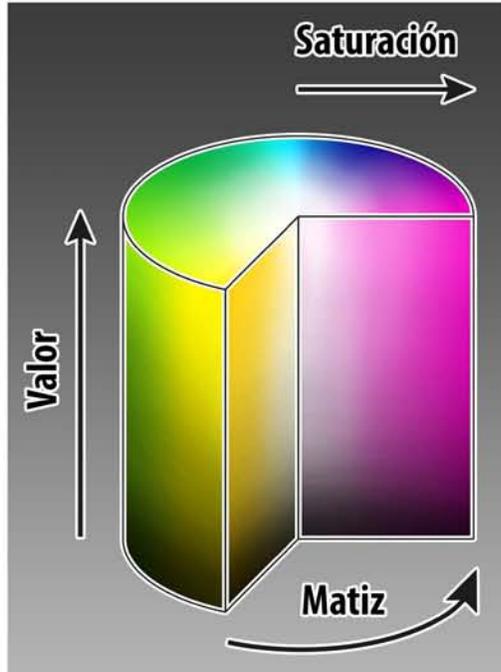
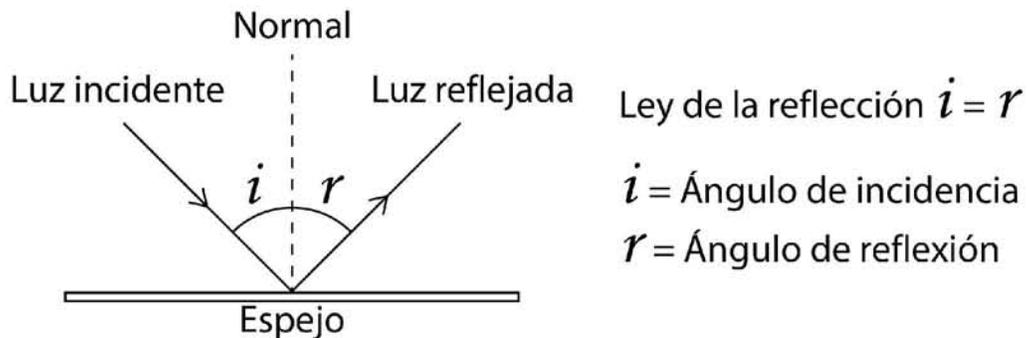


Figura 16: HSB ó HSV.

Apariencia del color

La apariencia del color depende de la interacción de la luz con la materia y con el observador. El color depende de las propiedades ópticas de la materia, por lo que es importante conocer los fenómenos que ocurren en esta interacción.

- Reflexión (Figura 17): Este fenómeno consiste en la forma en que la luz es reflejada por un objeto y dependiendo de la textura de la superficie del material (Figura 18), se denominará especular (cuando la superficie es lisa) o difusa (cuando la superficie es rugosa).¹⁹

Figura 17: Reflexión.¹⁸

¹⁸ Alex Montwill & Ann Breslin, 2008, Let there be light [Que haya luz], p. 26-30

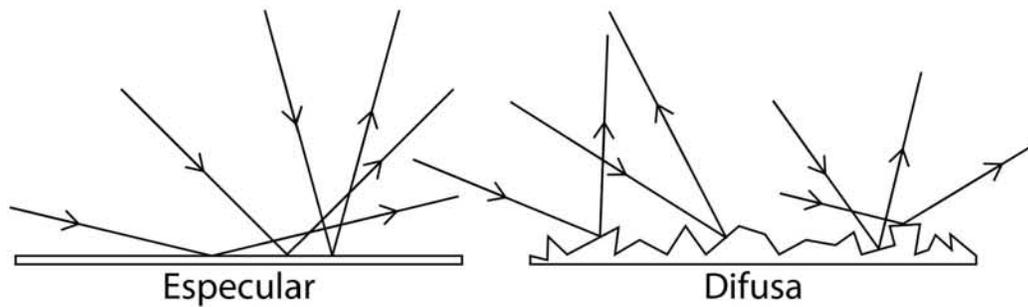


Figura 18: Tipos de reflexión.¹⁸

- Absorción (Figura 19): Es la retención parcial o total de la luz al interactuar con un material.



Figura 19: Absorción.

- Transmisión (Figura 20): Hay materiales translúcidos que permiten que la luz pase a través de ellos, si llegan a tener algún matiz cromático en su material también pueden absorber parcialmente la luz (Transmisión selectiva). Puede ser directa si el material es cristalino y difusa si se trata de un material semi-opaco.

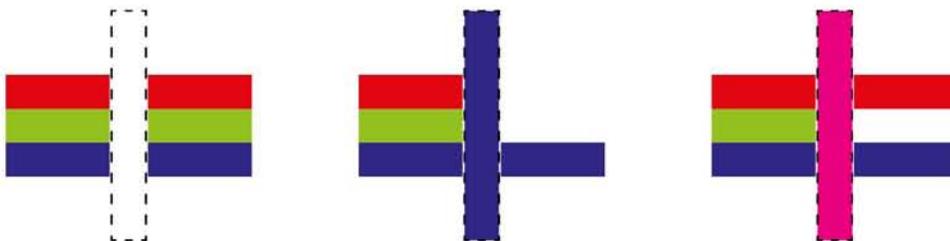


Figura 20: Transmisión.

- Dispersión (Figura 21): Ocurre cuando un haz de luz blanca atraviesa un material cristalino prismático, y éste separa la luz en distintas direcciones dependiendo de su longitud de onda; lo que genera un arcoíris.

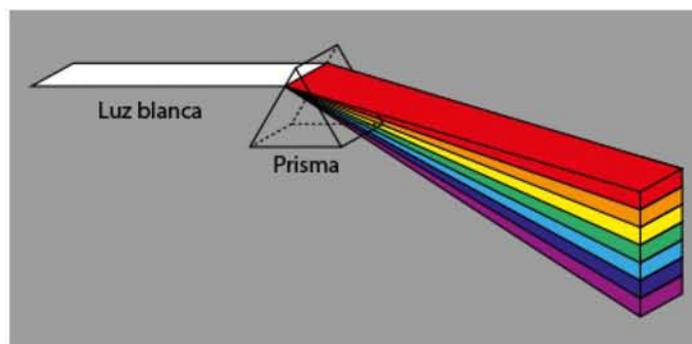


Figura 21: Dispersión.

- Emisión: Algunos materiales pueden emitir luz en circunstancias particulares, como reacciones químicas, presentar altas temperaturas, absorción de algún tipo de radiación electromagnética y reemitirla a longitudes de onda más larga (luminiscencia) etc. (Imagen 7).

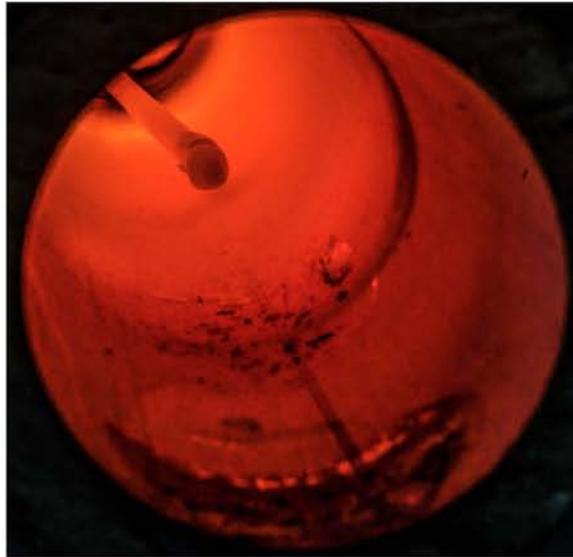


Imagen 7: Horno con resistencia eléctrica, Fotografía: Isaac Rangel Chávez, 2013.

- Refracción (Figura 22): Es el cambio de velocidad y dirección de la luz cuando pasa de un medio a otro que tiene un índice refractivo distinto (índice refractivo: Es la relación de velocidad de propagación de una onda en un medio determinado. Ej. La velocidad de la luz en el vacío).

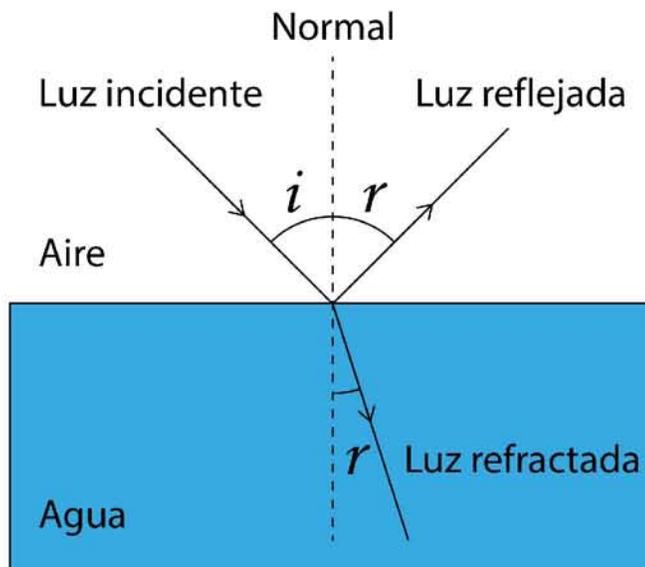


Figura 22: Refracción. ¹⁸

Captura digital de imágenes

Los equipos fotográficos digitales funcionan también con el principio de la cámara oscura, la luz pasa al interior a través del diafragma y la luz es focalizada con lentes, pero a diferencia de los equipos analógicos o de película fotosensible, estos emplean un sensor CMOS o CCD (Figura 23).²⁰

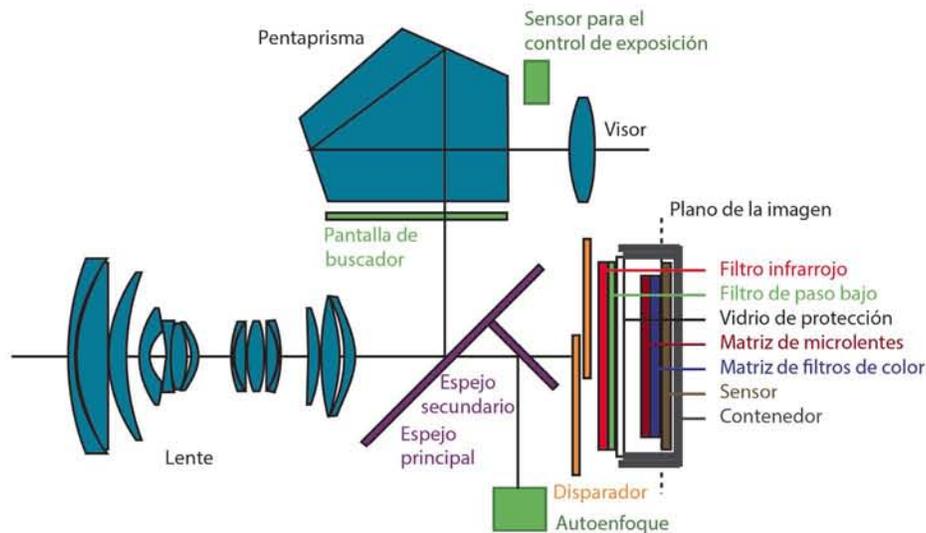


Figura 23: Componentes de una cámara DSLR.¹⁹

Tanto el CMOS como el CCD (Imagen 8) son una matriz de fotodiodos de silicio que transforman a la luz en corriente eléctrica, la diferencia es que el CMOS procesa directamente la imagen y el CCD envía la información a un procesador externo. Aunque en sus inicios el CCD ofrecía menor ruido en comparación al CMOS, actualmente se emplean más los CMOS, debido a que su producción es más económica, a que ocupa menos espacio que un CCD por tener incorporado el procesador y a que se ha desarrollado firmware que reduce eficientemente el ruido en las imágenes.

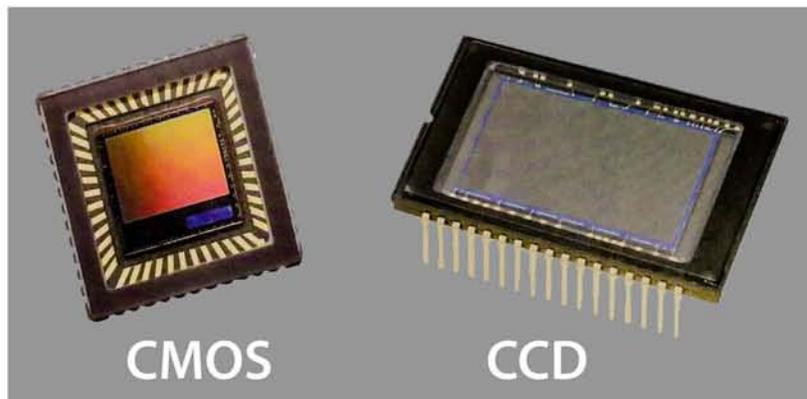


Imagen 8: CMOS y CCD, Imagen: Michael Freeman, 2005.

¹⁹ Erik Reinhard, Erum Arif Khan, Ahmet Oğuz Akyüz and Garret Johnson, 2008, Color Imaging Fundamentals and Applications [Conceptos básicos y aplicaciones de imágenes en color], p.634, Figura 12.1

La cámara captura imágenes en color gracias a que los sensores incorporan matrices de filtros de colores primarios (Figura 23), la proporción (interpolación) de los filtros de colores es distinta, de cada cuatro píxeles, dos son verdes uno rojo y otro azul; lo anterior es para una mayor correspondencia con la visión humana, que es más sensible a la luz verde.



Figura 24: Interpolación de colores (Filtro Bayer).

El firmware de la cámara aplica una variedad de algoritmos para la reducción del ruido, el balance de blancos y la reconstrucción del color de la imagen (Demosaicing: algoritmo para la reconstrucción de la imagen en color por medio de muestras cromáticas incompletas adquiridas desde un sensor de imagen recubierto con un mosaico de filtro de color CFA).

El filtro óptico de paso bajo (Figura 23), clasifica los rayos de luz a medida que entran en el sensor. Así elimina el efecto muaré (Imagen 9) y otras imperfecciones visuales como las imágenes espectrales y los colores solapados.



Imagen 9: Efecto muaré, Imagen: Óscar Condés 2016.²⁰

²⁰ Recuperado de: <https://www.xatakafoto.com/guias/el-filtro-de-paso-bajo-que-es-y-por-que-cada-vez-mas-camaras-prescinden-de-el>

El filtro infrarrojo (Figura 23, Hot Mirror Filter), se emplea debido a que el silicio del sensor es fotosensible a energía electromagnética en un intervalo de 190 a 1100 nm. Este componente permite únicamente la entrada de luz visible (400 a 700nm.).

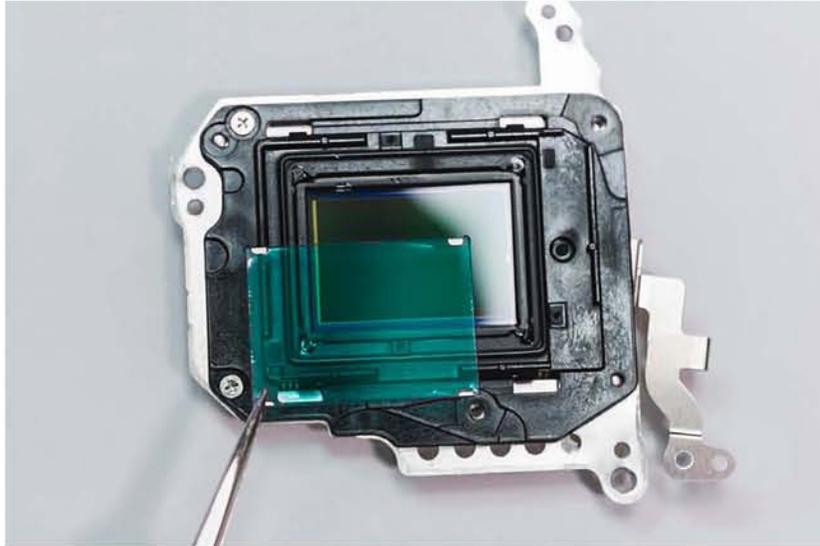


Imagen 10: Filtro infrarrojo (Hot Mirror Filter) Imagen: lifepixel.com

Obras de Arte y patrimonio cultural

Este desarrollo metodológico tiene como objetivo el análisis material de obras de arte y patrimonio cultural, por lo que es importante tener presente algunas definiciones generales sobre estos temas; mismas que se abordan a continuación.

El término arte proviene del latín *ars*, cuyo significado se refiere a la disposición, habilidad y virtud para realizar alguna cosa. Los renacentistas añadieron a las cualidades que denota la palabra arte el término de *invenzione*, que se refiere a la originalidad, cualidad indispensable de las creaciones artísticas. Se entenderá entonces que la palabra arte tiene una connotación que implica más que un bien hacer y que la liga a cualidades de algo que, por ser original, trasciende lo superfluo.²¹

“Concebiremos al arte como un fenómeno sociocultural, cuya producción y apreciación son especializadas. Su producción se realiza en diferentes medios y requiere de diferentes materiales, técnicas y procedimientos. La práctica artística tiene como finalidad realizar profesionalmente imágenes, sonidos, y movimientos que son capaces de producir efectos estéticos.” (Juan Acha, 2005)

²¹ Raíz etimológica de la palabra arte, recuperado de: <http://plasticas.dgenp.unam.mx/inicio/introduccion/concepto-de-arte>

Las obras de arte pueden clasificarse en torno al tiempo y al espacio de la siguiente manera:

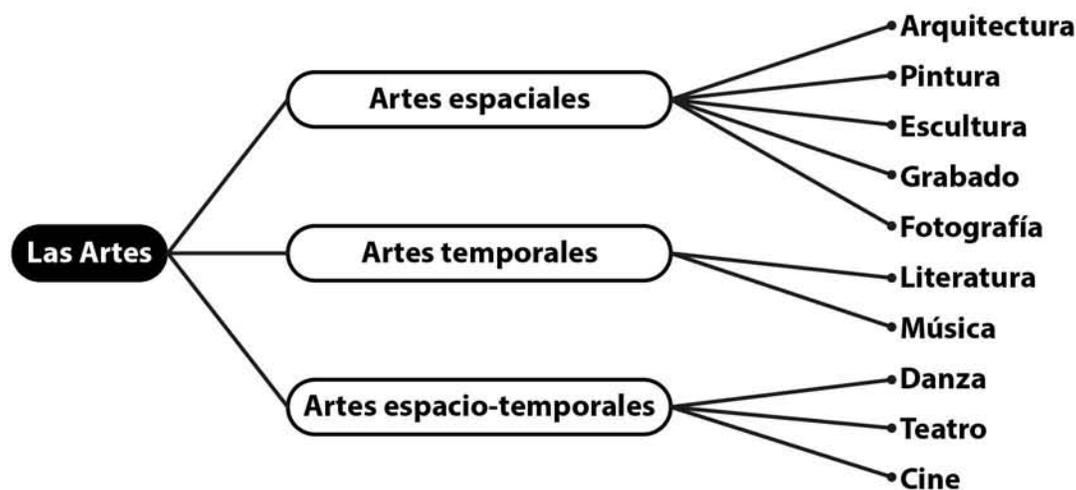


Figura 25: Clasificación de las artes con base en los conceptos de tiempo y espacio. ²²

Resumiendo se puede decir que el arte es una manifestación original llevada a cabo por el hombre que mayormente se orienta a la apreciación social.

Esta metodología está orientada a estudiar el color en las artes espaciales y también en el patrimonio cultural.

“Por patrimonio cultural se entienden:

- i) los monumentos: obras arquitectónicas, de escultura o de pintura monumentales, elementos o estructuras de carácter arqueológico, inscripciones, cavernas y grupos de elementos, que tengan un valor universal excepcional desde el punto de vista de la historia, del arte o de la ciencia;
- ii) los conjuntos: grupos de construcciones, aisladas o reunidas, cuya arquitectura, unidad e integración en el paisaje les dé un valor universal excepcional desde el punto de vista de la historia, del arte o de la ciencia;
- iii) los lugares: obras del hombre u obras conjuntas del hombre y la naturaleza, así como las zonas, incluidos los lugares arqueológicos, que tengan un valor universal excepcional desde el punto de vista histórico, estético, etnológico o antropológico.”

Por lo tanto también estudiaremos objetos que aunque no son considerados formalmente como obras de arte pero que también poseen un valor patrimonial debido a que son manifestaciones culturales; por ejemplo: Textiles, pinturas rupestres, cerámicas, piezas y muestras arqueológicas, etc. ²³

²² Escobar Rodríguez, Irma Leticia, 2009, Conocimientos fundamentales para la formación artística

²³ UNESCO, Manual Metodológico, p. 133, Recuperado de: <https://es.unesco.org/creativity/sites/creativity/files/digital-library/cdis/Patrimonio.pdf>

Pigmentos y colorantes

Los términos colorante y pigmento son comúnmente empleados para referirse a cualquier sustancia que aporte coloración en la manufactura de diversos artículos (incluyendo pinturas y piezas de arte en general). Pigmentos y colorantes son diferenciados en base a su solubilidad: esencialmente, los colorantes son solubles y los pigmentos son insolubles.

Un pigmento es un material colorante sólido finamente molido, el cual es esencialmente insoluble en su medio de aplicación. Los pigmentos son usados mayormente en la elaboración de pinturas, tintas de impresión y plásticos; también son aplicados a un amplio rango de susstratos como el papel, textiles, gomas, vidrio, cerámicas, cosméticos, crayones y materiales de construcción como el cemento y el concreto. En algunos casos, la aplicación de pigmentos es por medios líquidos, como la pintura o plásticos fundidos térmicamente.

Los colorantes son aplicados a los textiles por medios acuosos, comúnmente disueltos en agua. Los colorantes pueden ser clasificados por su estructura química o por su método de aplicación; mismas que exceden el objetivo y alcances de este trabajo de investigación por lo que nos limitaremos a diferenciar los pigmentos y colorantes por su solubilidad.²⁴

²⁴ R. M. Christie, Colour Chemistry RSC Paperbacks [Química del color], P.23, 25 y 148

CAPITULO 2

ANTECEDENTES

Hay distintos tipos de estudios de imagen aplicados al estudio de obras de arte y patrimonio cultural. Estos pueden arrojar información sobre la composición, distribución de materiales, estructura, temperatura, dimensiones, etc.

Imágenes Multiespectrales

Las imágenes multiespectrales, son técnicas de análisis que se basan en percibir la respuesta característica de la materia a la radiación electromagnética específica; siendo por lo anterior una opción de análisis material no invasivo.

Para la generación de las imágenes multiespectrales son necesarios tres componentes:

- a) Una fuente de energía electromagnética.
- b) Un objeto con el que interactúe la energía electromagnética.
- c) Un observador o detector que registre la interacción del objeto con la energía radiante.

La interacción de la energía electromagnética con el material puede ser por:

- a) Absorción.
- b) Reflexión.
- c) Transmisión.
- d) Luminiscencia.

El nivel de penetración de la energía radiante en el material dependerá de su longitud de onda y de la absorbanza de los materiales con los que interactúe.

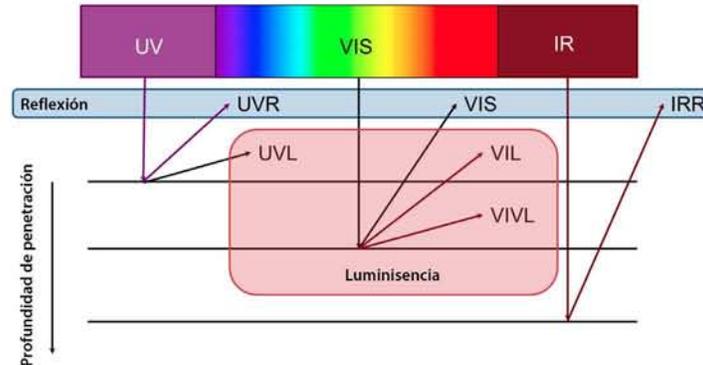


Figura 26: Penetración de la energía y tipo de reflexión, según su longitud de onda. ²⁵

Por ejemplo, en la pintura de caballete novohispana, el sistema estratigráfico permite que las longitudes de onda más largas tengan una mayor penetración.

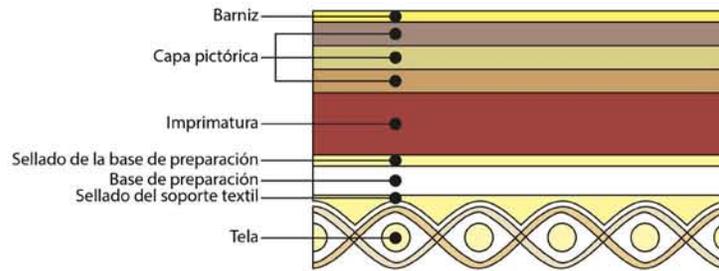


Figura 27: Sistema estratigráfico en la pintura de caballete novohispana. ²⁶

Lo anterior es debido a que la energía de onda corta (UV) es fácilmente absorbida por las capas superficiales (Barnices y recubrimientos) y re-emitida en forma de luminiscencia visible, mientras que la energía de onda larga como el infrarrojo puede pasar a través del barniz e interactuar con la capa pictórica y con el dibujo preparatorio en fenómenos de absorción y reflexión.

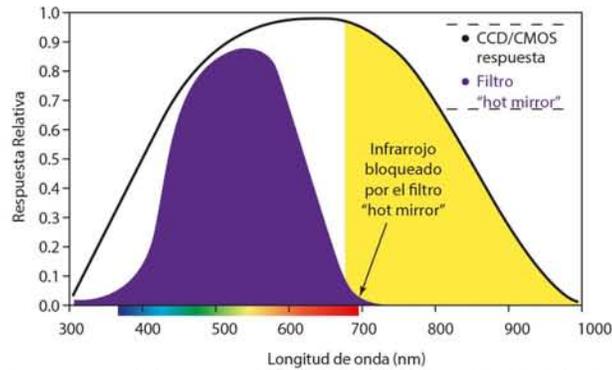
Existen técnicas de imagen multiespectral relativamente de bajo costo. Estas se distinguen por los materiales y manufactura de los sensores de las cámaras, así como por la óptica de los equipos, y a que no están desarrollados para este tipo de funciones. ²⁶

Para las técnicas de imagen multiespectral de bajo costo, se emplean equipos fotográficos y de video, en los que algunas veces se modifica el sensor y siempre se adicionan filtros para seleccionar el intervalo de energía electromagnética que desean captar.

²⁵ Joanne Dyer, Giovanni Verri, John Cupitt, 2013, Multispectral Imaging in Reflectance and Photo-induced Luminescence modes: A User Manual [Imágenes multiespectrales en modos de reflexión y luminiscencia foto inducida: Manual de usuario], p. 2 y 3

²⁶ Ana Laura Camacho Puebla, Francisco José Jorge Mederos Henry, 2011, Alcances de la técnica de Fluorescencia de Rayos X (FRX) aplicada al estudio de la distribución estratigráfica de pigmentos en la pintura de caballete novohispana [Tesis], p.20

El tipo de energía que perciben los equipos fotográficos modificados para funciones de imagen multispectral, es en intervalos de onda diferentes a los equipos desarrollados ex profeso para esta técnica. Los sensores CCD y CMOS que emplean las cámaras fotográficas estándar, son capaces de detectar energía con un intervalo de 190 a 1100 nm.



Gráfica 3: Respuesta del sensor CCD/CMOS a la luz UV-Visible-Infrarroja ²⁷

En los equipos desarrollados específicamente para generar imágenes multispectrales, reflectografía infrarroja o imagen térmica; los sensores son fabricados con Germanio, Indio-Galio-Arsénico (InGaAs) o Sulfuro de Plomo y dependiendo del material empleado en su fabricación, será el intervalo de energía que capten.

Tabla 2: Intervalos de detección correspondientes a los materiales empleados en la fabricación de sensores para cámaras de imagen multispectral, reflectografía infrarroja e imagen térmica.

Material	Intervalo de energía (Longitud de onda, nm)
Silicio	190-1100
Germanio	800-1900
Indio-Galio-Arsénico (InGaAs)	800-2600
Sulfuro de Plomo	<1000-3900

Las cámaras térmicas tienen su propia gama de sensores acorde a la región del espectro que capturen. En el caso de las cámaras que emplean microbolómetros, cabe aclarar que cada empresa los fabrica con materiales y manufacturas propias.

Tabla 3: Intervalos de detección correspondientes a los materiales empleados en la fabricación de sensores para cámaras de imagen térmica. ²⁸

Material	Intervalo de energía (Longitud de onda, nm)
Indio-Galio-Arsénico (InGaAs)	900-2500
Indio-Antimonio (InSb) / Mercurio-Cadmio-Telurio (MCT)	3000-5000
Microbolómetro / Mercurio-Cadmio-Telurio (MCT)	7000-14000

²⁷ Deborah Sandidge, 2009, Digital Infrared Photography [Fotografía Infrarroja Digital], p. 7

²⁸ Enciclopedia de la visión, Cámaras infrarrojas / térmicas, recuperado de: <http://www.infaimon.com/es/camaras-infrarrojas-termicas-4>

Adicionalmente, algunos de los equipos desarrollados ex profesamente para imagen multiespectral, son capaces de generar cubos de imágenes en los cuales se puede acceder a información cada determinado intervalo de longitudes de onda, en su respectivo rango de detección.

El LANCIC cuenta con una cámara Hyperespectral SOC-710VP, con un intervalo de detección de 400 a 1000nm. Este equipo tiene una resolución espectral de 4.69nm y cada pixel contiene un espectro de reflexión. En la imagen 11 podemos ver el equipo en acción, un ejemplo de imagen y un espectro de reflexión de esta misma.*



Imagen 11: Cámara SOC-710VP e imagen Hyperespectral del Códice de San Bartolo Yautepec. Biblioteca Francisco de Burgoa, Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México, LANCIC-IF, 2017.

Retomando la imagen multiespectral desarrollada con equipos fotográficos adaptados a imagen multiespectral, se continuará profundizando en estos, debido a que es el tipo de instrumentación empleada en este desarrollo metodológico.

Las imágenes que se pueden obtener con un equipo fotográfico adaptado para imagen multiespectral son:

1. Reflectografía ultravioleta (imagen 12): capta la reflexión de radiación UV (200-400 nm), y es útil caracterizando la distribución superficial de materiales como barnices y recubrimientos.²⁹



Imagen 12: Ejemplo de reflectografía UV (derecha), “Juventud con alas” de la tumba de los Nasonii, Museo Británico, fragmento de muro pintado.²⁹

* Que adquiere información y genera una imagen cada 4.69nm a lo largo del intervalo de detección.

²⁹ Joanne Dyer, Giovanni Verri, John Cupitt, 2013, Multispectral Imaging in Reflectance and Photo-induced Luminescence modes: A User Manual [Imágenes multiespectrales en modos de reflexión y luminiscencia foto inducida: Manual de usuario], p. 3, 4 y 5.

ANTECEDENTES

2. Luminiscencia visible inducida por ultravioleta (Imagen 13): retrata la emisión de luz (luminiscencia) en el intervalo visible (400-700 nm), debido a la radiación UV (200-400 nm). Permite captar la distribución de materiales con propiedades luminiscentes, como algunos aglutinantes orgánicos, colorantes y pigmentos y diversos materiales orgánicos. (La ausencia de luminiscencia no implica la ausencia de materiales orgánicos).²⁹

En la imagen 13 podemos observar una pizarra con cera en reflectografía visible (izquierda) y en luminiscencia visible inducida por ultravioleta (derecha), la cera que es un compuesto orgánico y posee propiedades luminiscentes.



Imagen 13: Ejemplo de luminiscencia visible inducida por UV (derecha), Pizarra “28-TR”, Colección de Numismática de la Academia de San Carlos, Ciudad de México, LANCIC-IFUNAM, Fotografía: Isaac Rangel Chávez, 2016.

3. Reflectografía de luz visible (Imagen 14): Es la clásica fotografía en color (Colores verdaderos) que capta la luz visible (400-700 nm).²⁹



Imagen 14: Ejemplo de reflectografía visible, “Altar 2 de criptas”, Museo del Carmen, Ciudad de México, LANCIC-IFUNAM, Fotografía: Isaac Rangel Chávez, 2016.

4. Luminiscencia visible inducida por luz visible (Imagen 15): Plasma la luminiscencia de luz visible en el intervalo de 500-700 nm, provocada por la exposición a la luz visible en el intervalo de 400-500 nm. Es útil en la caracterización de la distribución espacial de lacas rojas y amarillas, debido a que se tornan brillantes las zonas donde están presentes estos materiales.²⁹



Imagen 15: Ejemplo de luminiscencia visible inducida por visible (derecha), “Juventud con alas” de la tumba de los Nasonii, Museo Británico, fragmento de muro pintado.²⁹

5. Reflectografía infrarroja (Imagen 16): Registra la reflexión de la radiación infrarroja; permite apreciar dibujos preparatorios y pentimentos, también conocidos como arrepentimientos; son elementos en una obra pictórica que en algún momento estuvieron plasmados y que posteriormente fueron cambiados de posición, sustituidos por otros elementos o simplemente eliminados de la composición final. Lo anterior se puede percibir, debido a que la radiación infrarroja es altamente penetrante en diversos materiales, como aglutinantes orgánicos y barnices, que generalmente son traslucidos esta.²⁹



Imagen 16: Ejemplo de reflectografía infrarroja (derecha), Detalle de la pintura “Las siete virtudes”, Museo de San Carlos, Ciudad de México, LANCIC-IFUNAM, Fotografía: Isaac Rangel Chávez, 2016.

6. Luminiscencia infrarroja inducida por luz visible (Imagen 17): Registra la luminiscencia infrarroja en el intervalo de 700-1100 nm, producida por la luz visible. Permite identificar la presencia de pigmentos como el azul egipcio, azul chino, púrpura chino y pigmentos con cadmio, ya que estos materiales se destacan en color blanco. ²⁹



Imagen 17: Ejemplo de luminiscencia infrarroja inducida por visible (derecha), “Juventud con alas” de la tumba de los Nasonii, Museo Británico, fragmento de muro pintado. ²⁹

Adicionalmente, combinando información de reflectografía UV o infrarroja con reflectografía de luz visible por el método de corrimiento de canales del modelo de color RGB, es posible obtener imágenes de falso color:

7. Imagen infrarroja de falso color (Imagen 18): Se genera desplazando la información de los canales rojo y verde de la reflectografía visible a los canales verde y azul, posteriormente la información de la reflectografía infrarroja se inserta en el canal rojo. ²⁹

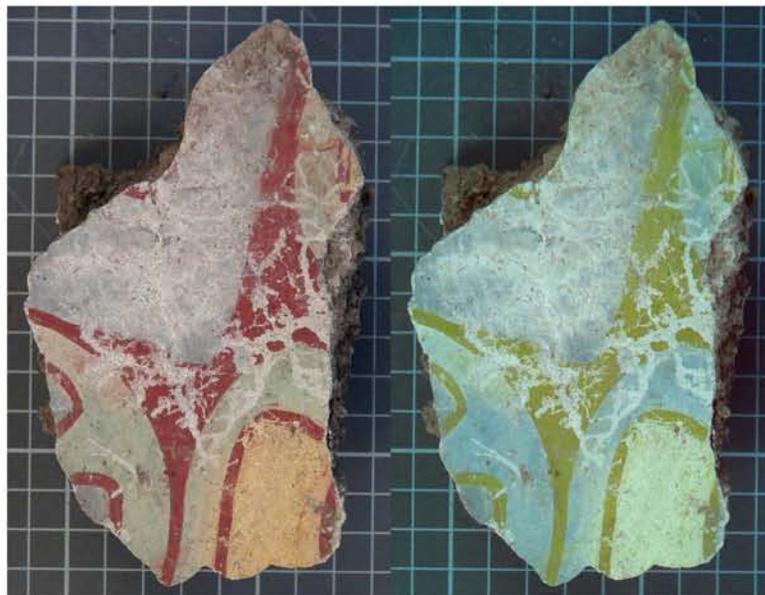


Imagen 18: Ejemplo de imagen infrarroja de falso color (derecha), estuco procedente de Teotihuacán-Techinantitla, LANCIC-IFUNAM, Fotografía: Isaac Rangel Chávez, 2016.

8. Imagen ultravioleta de falso color (Imagen 19): Se construye trasladando la información de los canales verde y azul de la reflectografía visible a los canales rojo y verde, posteriormente la información de la reflectografía UV se coloca en el canal azul.²⁹



Imagen 19: Ejemplo de imagen ultravioleta de falso color (derecha), “Juventud con alas” de la tumba de los Nasonii, Museo Británico, fragmento de muro pintado²⁹

Las imágenes de falso color permiten un análisis cromático comparativo entre ellas y las imágenes de reflectografía visible; este cambio de color, puede ayudar a la caracterización de diversos materiales.

Cabe aclarar que hay dos tipos de imagen infrarroja de falso color:

9. Por corrimiento de canales (Imagen 20) en la reflectografía visible e incorporación de reflectografía UV e infrarroja.



Imagen 20: Ejemplo de imagen infrarroja de falso color por corrimiento de canales (derecha), detalle de la página 47 del “Códice Sierra”, Biblioteca de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México, LANCIC-IFUNAM, Fotografía: Isaac Rangel, 2016.

10. Incorporando únicamente información de imágenes de reflectografía infrarroja con información de distintas longitudes de onda (Imagen 21) que corresponderán a cada canal de color; en el rojo se incorpora información con intervalo de 700-800 nm, en el verde de 800-900 nm y en el azul de 900-1000 nm.²⁹

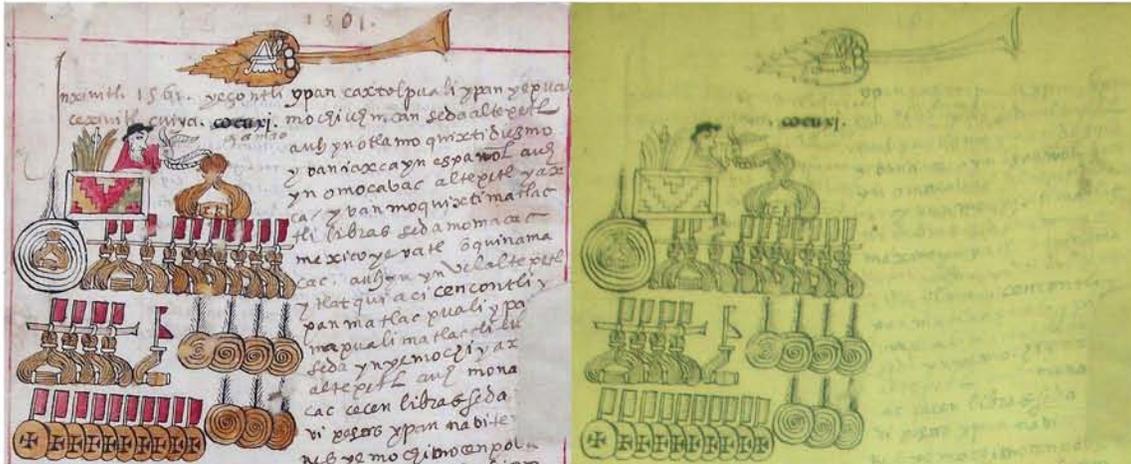


Imagen 21: Ejemplo de imagen infrarroja de falso color por reflectografía infrarroja (derecha), detalle de la página 47 del “Códice Sierra”, Biblioteca de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México, LANCIC-IFUNAM, Fotografía: Isaac Rangel Chávez, 2016.

Fotogrametría

La fotogrametría es una técnica que se basa en medir objetos mediante fotografías (Imagen 22). Se puede realizar empleando fotos digitales y software de análisis de mapas de bits, lo anterior es mediante una escala con alguna magnitud determinada y con equivalencia en píxeles.

Una herramienta informática es el software ImageJ, se trata de un “recurso abierto” [open source] de procesamiento de imágenes programado en Java. Puede calcular áreas y valores de píxeles de selecciones definidas por el usuario, medir distancias, ángulos, crear histogramas de densidad y trazos de perfil de línea. Soporta funciones estándar de procesamiento de imágenes como manipulación de contraste, nitidez, suavizado, detección de bordes y filtrado mediano.

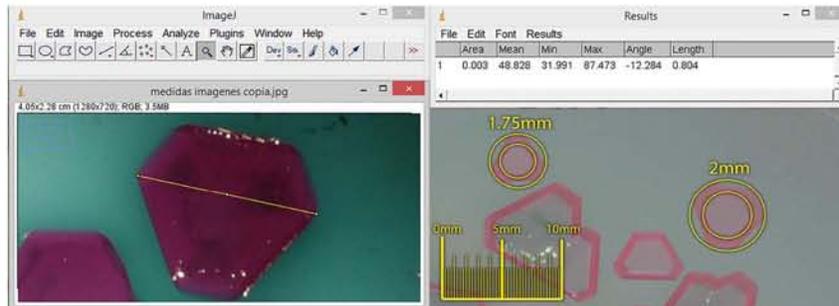


Imagen 22: Ejemplo de fotometría realizada a un cristal de Alumbre de Cromo con ImageJ, Ejemplo de aplicación en un estudio de crecimiento de cristales en dos momentos, Fotografía: Isaac Rangel Chávez, 2016.³⁰

30 Samanta Pérez Arévalo, Registro en video del crecimiento de cristales de alumbre de cromo con el tiempo y el proceso de deshidratación con la temperatura, Póster científico presentado en el VIII Congreso Nacional de Cristalografía, México, 2016.

Falso color mediante DStretch

ImageJ, fue diseñado con una arquitectura abierta que proporciona extensibilidad a través de complementos Java. Los complementos de adquisición, análisis y procesamiento personalizados pueden desarrollarse utilizando el editor incorporado de ImageJ y el compilador de Java. Los plugins escritos por el usuario permiten resolver casi cualquier problema de procesamiento o análisis de imágenes.

DStretch es un plugin de ImageJ, desarrollado por el doctor Jon Harman como una herramienta para arqueólogos que participan en el estudio y documentación del arte rupestre. Este recurso puede contrastar mejor las diferencias sutiles de matiz en una imagen (Imagen 23).³¹

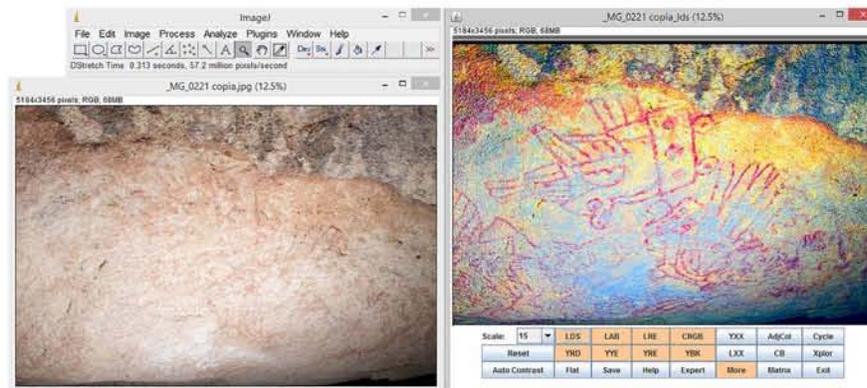


Imagen 31: Ejemplo de Falso color con DStretch en una pintura rupestre de “La Bacuana”, Ixtepec, Oaxaca, México, Fotografía: Isaac Rangel Chávez, 2015.

Reflectance Transformation Imaging (RTI)

Es un método computacional que registra la superficie de los objetos (Imagen 24). Se realiza mediante el análisis de un conjunto de imágenes con un mismo encuadre pero con distinta iluminación.³²



Imagen 24: Ejemplo de captura e imagen RTI. Imágenes: (Izquierda) Cultural Heritage Imaging, (Derecha) El dintel Sennedjem del Museo de Antropología Phoebe A. Hearst en la Universidad de California, Berkeley, USA.

³¹ Introduction [Introducción] Retomado de: <http://www.dstretch.com/AlgorithmDescription.html>

³² Recuperado de: <http://culturalheritageimaging.org/Technologies/RTI/>

3D Photoscan

Photoscan es un software desarrollado por la compañía Agisoft (Imagen 24) para el registro en 3D de diversos objetos mediante el uso de fotografías.



Imagen 25: Ejemplo de captura y modelo 3D de Photoscan. Imágenes: 3dscanexpert.com ³³

Las imágenes deben retratar un mismo objeto desde diversos ángulos para poder hacer la reconstrucción en 3D en un modelo virtual, es tan versátil que puede capturar objetos, edificios e incluso hacer levantamiento de terrenos (Imagen 25) con ayuda de drones.



Imagen 26: Dron DJI Phantom 4 y levantamiento 3D de un terreno. Imágenes: espertreviews.com (Derecha) y questuav.com (Izquierda). ³⁴

³³ Recuperado de <https://3dscanexpert.com/agisoft-photoscan-photogrammetry-3d-scanning-review/>

³⁴ Recuperado de: <http://www.expertreviews.co.uk/dji/dji-phantom-4> [Derecha] y <https://www.questuav.com/services/questuav-external-services/image-processing-services/agisoft-photoscan/> [Izquierda].

CAPITULO 3

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR, APLICADA AL ESTUDIO DE PIGMENTOS Y COLORANTES EN OBRAS DE ARTE Y PATRIMONIO CULTURAL

.....

La imagen infrarroja de falso color, es una técnica de análisis basada en la respuesta característica de los materiales a la radiación infrarroja y a la luz. Las imágenes de falso color se crean mezclando información de reflectografías visibles e infrarrojas; para incorporar la información de estas, es necesario que retraten un mismo objeto con posición y encuadres idénticos.

En la construcción de las imágenes infrarrojas de falso color se emplea el modelo RGB. Este organiza la información del espectro de luz en tres canales, lo que posibilita un corrimiento intencional de los canales rojo y verde en la reflectografía visible, para posteriormente desplazarlos hacia los canales verde y azul; en el canal disponible (rojo) se incorpora la información de la reflectografía infrarroja.

Debido a que el estudio se centra en el análisis de pigmentos, lacas y colorantes; y a que la característica principal de esta técnica es el cambio de matiz; esta metodología está orientada en la captura, visualización, procesamiento e interpretación del color.

Esta metodología tiene una faceta cualitativa, debido a que no se emplean instrumentos ex profeso para colorimetría ni se obtiene información fotogramétrica. Por otra parte el tratamiento de la información obtenida tiene un análisis cuantitativo, debido a que se aplican análisis colorimétricos para la interpretación de resultados.

Para la interpretación de los resultados de ésta técnica será mínimamente necesario contar con las reflectografías visibles y las imágenes infrarrojas de falso color, debido a que el análisis está basado en cuantificar el contraste de matices y presentar una aproximación sobre la distribución de los materiales.

Instrumentación

Para realizar la adquisición de datos es necesario contar con un equipo fotográfico capaz de generar reflectografías visibles e infrarrojas.

En este caso se emplea una cámara de video Sony Handycam HDR-PJ760. Se seleccionó por su portabilidad, su modo de visión nocturna (lo que posibilita generar reflectografías infrarrojas), un consistente y rápido balance de blancos automático, su operación sencilla (más sencilla que una DSLR); y a que cuenta con un sensor Exmor R™ CMOS de 24 mega píxeles, lo que reduce el ruido (estructura iluminada por detrás, figura 28) y genera imágenes de las siguientes dimensiones: 6544 X 3680 píxeles.



Figura 28: Sensor Exmor RTM CMOS. ³⁵

Es necesario contar con un equipo de iluminación que emita energía radiante de luz visible e infrarroja. Se seleccionaron las lámparas Lowel Tota con bulbos de halógeno de 750W (Imagen 27), que proporcionan una luz de 3200k; debido a que emiten energía en el intervalo de 400 a 2500nm, cubriendo el espectro visible e infrarrojo cercano.

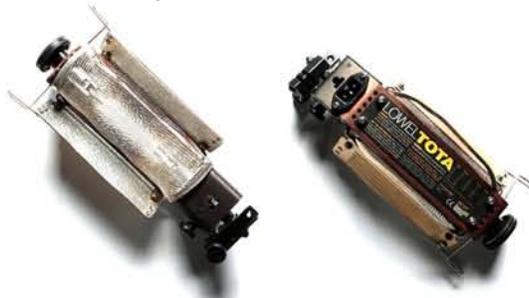


Imagen 27: Equipo de iluminación.

³⁵ Recuperado de: <http://www.sony-asia.com/local/product/hdr-pj760ve#cmossensor>

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

Para la iluminación, es fundamental contar con soportes para el posicionamiento y orientación de las lámparas, así como de materiales que permitan difuminar la luz para lograr una iluminación suave y uniforme. Se emplearon sombrillas que actuaron como rebotadores y difusores (Imagen 28).

Para que las imágenes tengan un mismo encuadre y una misma orientación del objeto, la cámara debe de estar montada en un trípode que mantenga la estabilidad y posición de la cámara.



Imagen 28: Montaje de cámara y equipo de iluminación.

Debido a que el sensor es capaz de detectar energía electromagnética entre los 400 y los 1000nm, fue pertinente la implementación de filtros y así obtener reflectografías infrarrojas con longitudes de onda en 760, 850 y 950 nm.

Se desarrolló en el LANCIC-IF por el Dr. José Luis Ruvalcaba Sil, una montura para la cámara con un carrete que permite intercambiar de forma más sencilla los filtros (Imagen 29) y así reducir el tiempo en la captura de las reflectografías infrarrojas. Cabe señalar que es importante optimizar al máximo el tiempo en la adquisición de datos, debido a que en la gran mayoría de los casos de estudio, el tiempo de acceso a los materiales de análisis es muy limitado.



Imagen 29: Filtros IR y montura con carrete.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

Para el procesamiento de imágenes es necesario un equipo de cómputo con un software orientado a la edición de mapas de bits. Se seleccionó una laptop Asus N56VJ (Imagen 29) por: su portabilidad, por las características del hardware que permiten una operación fluida del software (Adobe Photoshop®), una larga independencia operativa de la batería (4 a 6 horas) y porque su pantalla cuenta con tecnología de ángulo de visión amplio (150°).

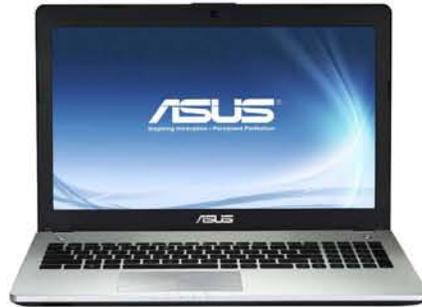


Imagen 29: Laptop Asus N56VJ.

Esta metodología emplea tarjetas verificadoras de color, para crear perfiles del mismo basados en la cámara, lo que nos da mayor precisión en la captura del color.



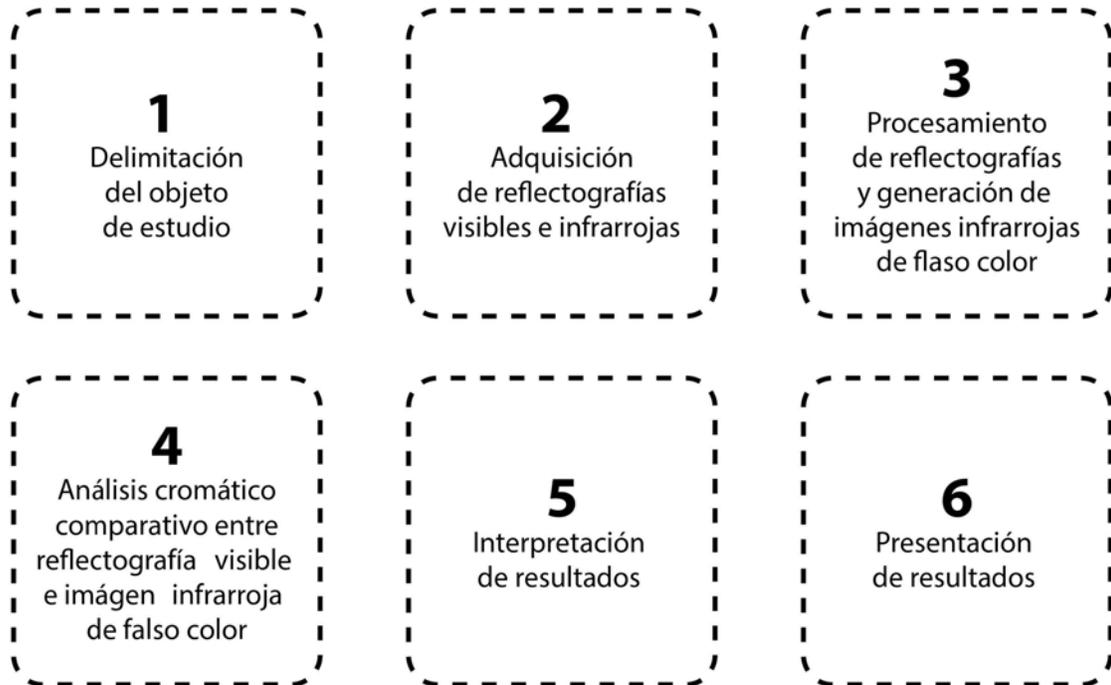
Imagen 30: Tarjetas verificadoras de color.

Se emplea el i1 Photo Pro 2 (Imagen31) para crear perfiles de los monitores. Lo que nos permite afinar la forma en que se visualiza el color de las imágenes en el flujo de trabajo.



Imagen 31: i1 Photo Pro 2.

Etapas de la implementación metodológica



Etapa 1 **Delimitación del objeto de estudio**

En este primer paso se delimita el material de análisis y se establece la estrategia para la implementación del método; es necesario considerar:

- Caracterización del objeto de estudio, es importante tener en claro qué es el objeto de estudio (pintura de caballete, textil, códice, mural, etc.) para delimitar las áreas de análisis y posiblemente conocer de antemano si se trata de un pigmento, laca o colorante. Lo anterior nos permitirá determinar si se cuentan con bases de datos y/o material de referencia.
- Obtener las dimensiones físicas del material y las condiciones necesarias para hacer la adquisición de la información sin que se dañe de ninguna forma el objeto de estudio. Parte de que este análisis sea no invasivo, radica en la planeación de medidas que resguarden la integridad de los materiales durante su implementación.
- Diseño del set fotográfico. Estará sujeto a las dimensiones del objeto de estudio, el tiempo de acceso al material previamente acordado, y a las características de la locación o lugar físico donde se desarrollará la adquisición de datos.

Todo lo anterior permitirá a seleccionar el instrumental e infraestructura necesarios y/o disponibles para el estudio.

Etapla 2 **Adquisición de reflectografías** **(visibles e infrarrojas)**

Para la adquisición de las reflectografías, el flujo de trabajo será variable dependiendo de lo resuelto en la etapa anterior. A continuación se describen casos usuales en la adquisición y se explican las consideraciones pertinentes.

1. La obra

Después del traslado a la locación, uno de los primeros puntos que hay que tener resuelto desde la etapa 1, es la ubicación de la obra y la necesidad o no, de emplear algún soporte, de disponer de un andamio o seleccionar un lugar que dé acceso a los encuadres deseados (Imagen 32).

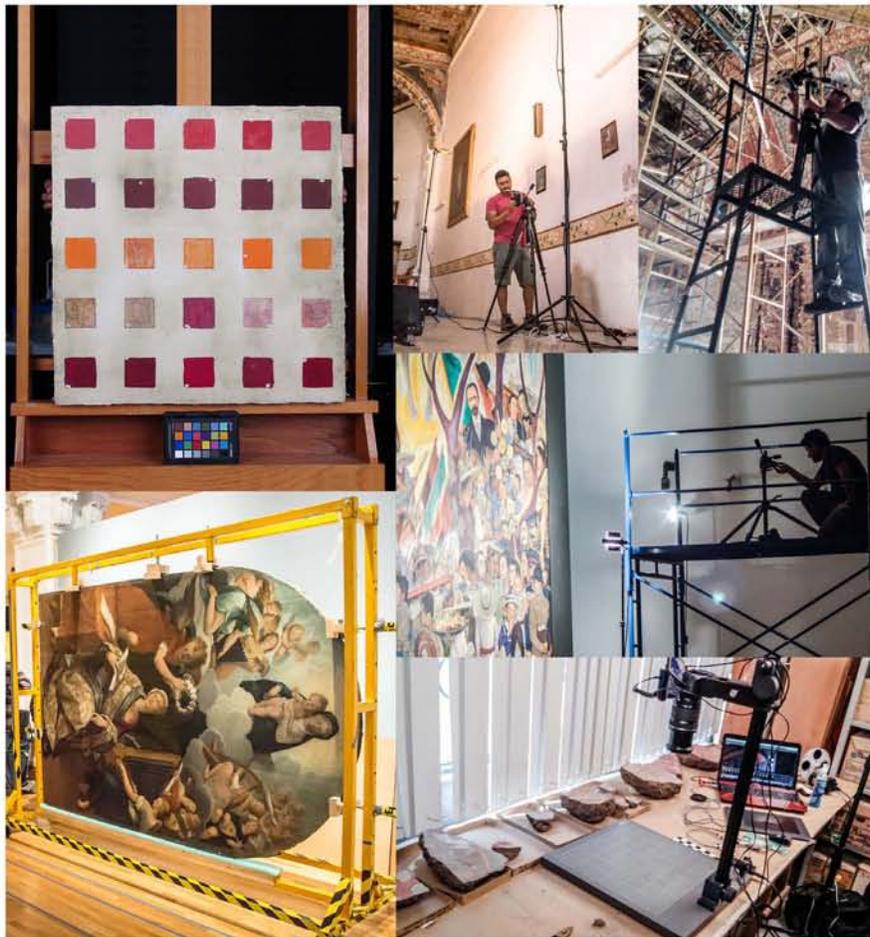


Imagen 32: Ejemplos de montaje y acceso a los objetos de estudio.

2. Montaje del set fotográfico

Hay que controlar al máximo posible las fuentes de iluminación, preferentemente emplear las lámparas del instrumental. Habrá ocasiones en que esto no sea posible y se emplee el sol como fuente de iluminación, es necesario utilizarlo de forma indirecta, rebotada o difusa para evitar la sobresaturación de luz y de radiación infrarroja.

Para monitorear la uniformidad de la iluminación en el área a registrar, se recomienda el uso de un exposímetro de mano para medir la luz.

En la Imagen 33 podemos apreciar una reflectografía infrarroja con luz de sol con sombra de nubes (izquierda) y con sol directo (derecha). La adquisición de datos en estas condiciones debe de ser en periodos cortos de tiempo y si son sesiones en diferentes días, tratar que el clima y la hora sean similares en la medida de lo posible.

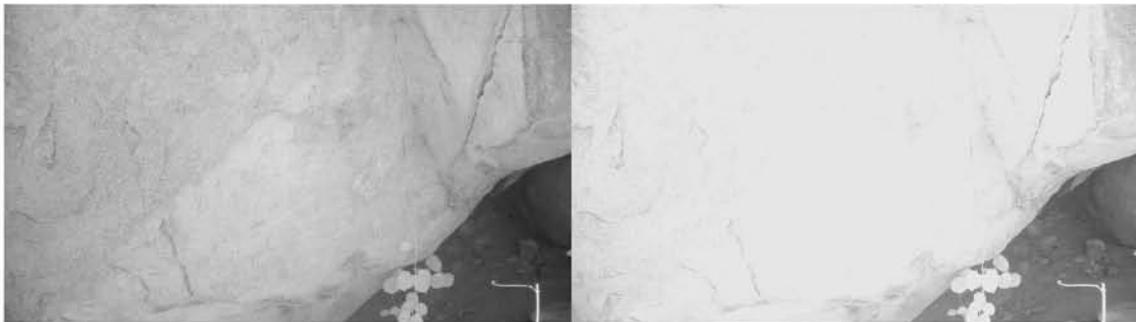


Imagen 33: Ejemplo de reflectografía infrarroja sobresaturada por radiación infrarroja excesiva (Derecha).

Una opción para trabajar con luz de sol es creando zonas de penumbra o utilizando difusores (Imagen 34).



Imagen 34: Trabajo con luz natural directa.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

También para el diseño de iluminación hay que tomar en cuenta la textura de las superficies y evitar al máximo destellos de luz reflejada por superficies especulares, lustrosas o con barnices (Imagen 35).



Imagen 35: Ejemplos de reflejos por superficies lustrosas.

3. Controles de la cámara (imagen 36)



Imagen 36: Controles de la cámara.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

Antes de comenzar hay que asegurarnos de tener instalada la tarjeta SD con espacio disponible y revisar los ajustes de la cámara. Se captura primero la reflectografía visible y posteriormente las tres reflectografías infrarrojas.

Se recomienda mantener siempre el mismo orden en la captura y girar el carrete de filtros en el sentido de las manecillas del reloj (Imagen 37).

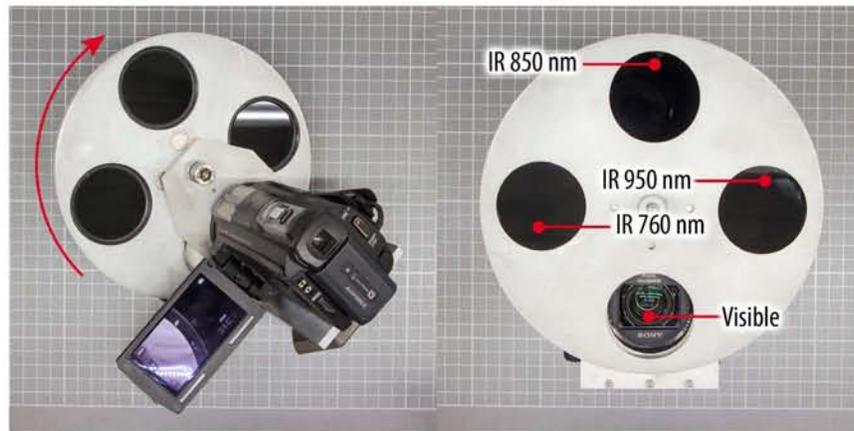


Imagen 37: Cámara con carrete de filtros.

4. Ajustes de la cámara

4.1 Pantalla de inicio, la cámara se enciende automáticamente cuando se abre la pantalla táctil abatible, en la primera pantalla se puede pre visualizar el encuadre actual y se puede acceder al menú principal.

Lo primero que hay que hacer es poner el equipo en modo de fotografía con el botón de selector de modos (Imagen 36).

4.2 Presionando el botón “Menú” (Imagen 38) se puede acceder al menú principal.



Imagen 38: Pantalla de inicio.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

4.3 Hay que ajustar el tamaño o calidad de la imagen: Menú/Calidad imagen / Tamaño imagen y seleccionar el tamaño de imagen más grande, L(24,1M), para obtener la mayor cantidad de información posible (Imagen 39).



Imagen 39: Ajuste del tamaño de imagen.

4.4 Ajuste de balance de blancos; hay que asegurarse de seleccionar el balance de blancos en modo automático cuando se trate de captura de color por medio de reflexión. Para hacerlo seleccionamos Cámara/Balance blancos/Auto (Imagen 40).

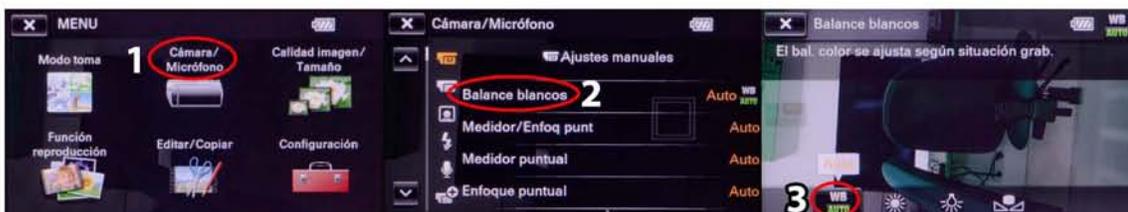


Imagen 40: Ajuste de balance de blancos automático.

Se ha seleccionado el ajuste automático para el registro de color por reflexión con las lámparas del instrumental, debido a que se realizaron pruebas del mismo (Tabla 4) retratando una tarjeta de escala de grises de la marca Color Checker® con distintos iluminantes. Midiendo el color blanco se obtuvieron excelentes resultados con las condiciones metodológicas (Alógeno).

Tabla 4: Prueba de balance de blancos automático.

Iluminante	L	A	B	H	S	B
Led	94	0	0	120°	1%	93%
Sol interior	93	0	-1	210°	1%	93%
Sol sombra exterior	97	0	-1	220°	1%	97%
Sol directo	98	0	0	300°	1%	98%
Alógeno	100	0	0	0°	0%	100%

El balance de blancos automático percibe la luz con un matiz amarillo cuando se capta la imagen por transmisión, esto puede evitarse seleccionando el balance de blancos “tungsteno” (Imagen 41).

El ajuste de “tungsteno” funciona eficientemente debido a que está calibrado para luz con una temperatura en torno a los 3000K y la iluminación del instrumental emite en 3200K.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR



Imagen 41: Ajuste de balance de blancos tungsteno.

Llegado a este punto es pertinente aclarar que a pesar de que la cámara posee un modo de balance de blancos personalizado, el cual se calcula con una tarjeta gris neutra; el flujo de trabajo lo hace bastante ineficiente debido a que es necesario hacer este cálculo cada vez que se pasa de modo de visión nocturna (reflectografía infrarroja) a modo normal (reflectografía visible), por lo que no es posible mantener el mismo cálculo durante toda una sesión completa. Tampoco es posible capturar primero las reflectografías visibles y después las infrarrojas ya que es necesario mantener el mismo encuadre.

Para que el balance de blancos automático funcione consistentemente, es necesario esperar unos 10 segundos para que haga el ajuste la cámara.

Otra razón por la que se emplea el modo automático se debe a la optimización en los tiempos de captura, ya que realizar esta configuración cada vez que se pasa del modo de visión nocturna al normal, alarga los tiempos de captura. Cabe señalar que el acceso a los materiales de estudio, en la mayoría de los casos, el tiempo es bastante limitado.

- 4.5 Los ajustes de exposición se ha optado por dejarlos en automático porque al igual que el balance de blancos estos ajustes se pierden cada vez que se cambia el modo de visión.

El equipo cuenta con ajustes de diafragma que van de $f1,8$ a $f9,6$ y los de obturación de $1/10000$ a $1/6$. No posee ajuste de sensibilidad ISO, únicamente un ajuste manual del brillo (Imagen 42).

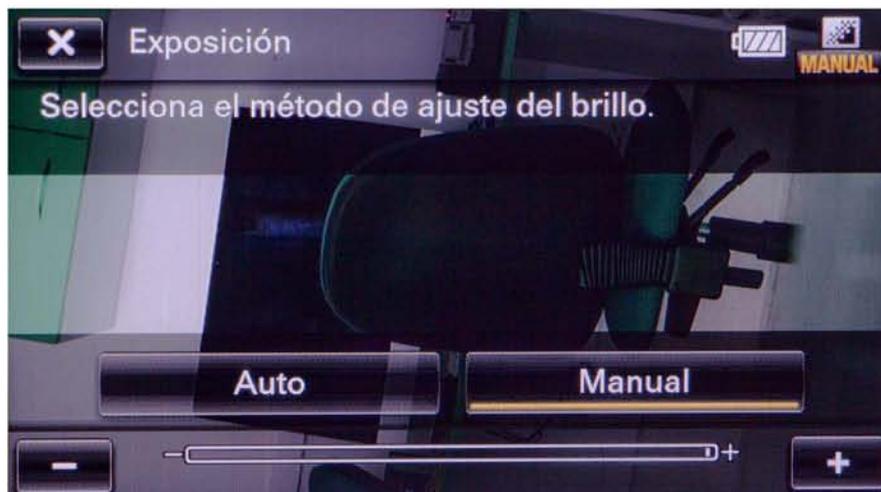


Imagen 42: Ajuste manual de brillo.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

Una opción para revisar la exposición, es utilizando la función “Cebra”, la cual se puede activar en: Menú/Cámara/Cebra, y la cual destaca con líneas diagonales las áreas sobreexpuestas de la imagen. Funciona en el modo de visión normal y nocturna (Imagen 43).

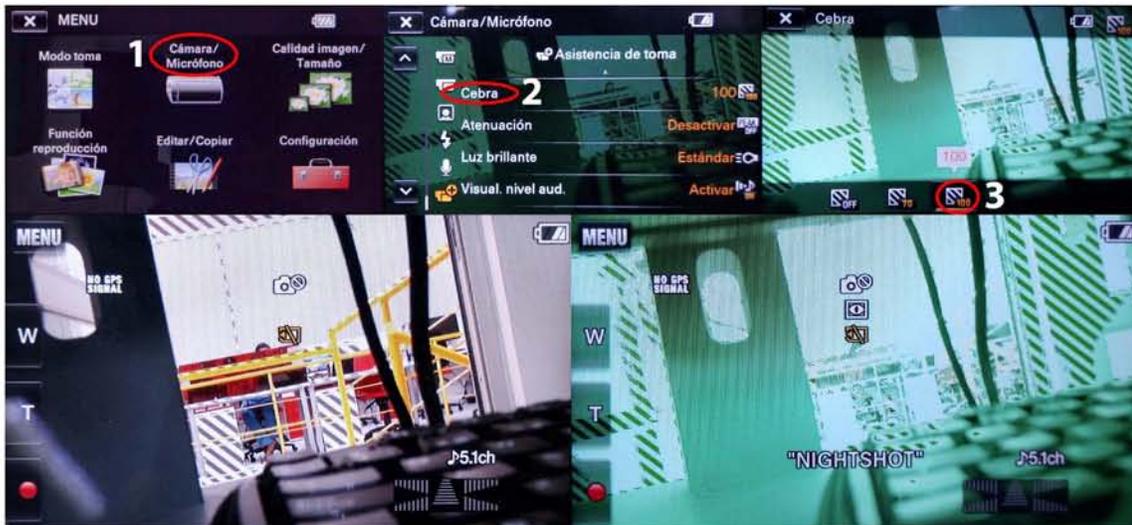


Imagen 43: Ajuste de “Cebra”.

4.6 Una vez establecidos los ajustes de la cámara, es necesario retratar la tarjeta verificadora de color (Imagen 44). Empleamos las tarjetas de la instrumentación para captar de forma más precisa los colores y controlar el balance de blancos.



Imagen 44: Tarjetas “ColorChecker”.

“El objetivo ColorChecker® Classic es un estándar con 24 parches de colores naturales, cromáticos, primarios y escala de grises científicamente escogidos en una amplia gama de colores. Muchos de estos cuadrados representan objetos naturales de interés especial, tales como la piel humana, el follaje y el cielo azul. Ya que ilustran el color de sus homólogos y reflejan la luz de la misma manera en todas las partes del espectro visible, los parches igualarán los colores de los objetos naturales de muestras representativas en cualquier iluminación y con cualquier proceso de reproducción de colores. Cada parche sólido está formulado individualmente para producir un color rico, plano y puro.”³⁶

³⁶ Recuperado de: <http://xritephoto.com/colorchecker-classic>

5. El encuadre

5.1 Siempre debe estar paralelo al plano del área de análisis, cuando sea necesario registrar un área que no entre en cuadro, se procederá a dividir la zona en secciones, y si es requerido, posteriormente juntar las imágenes (Imagen 45), es importante dejar zonas de traslape o empalme.

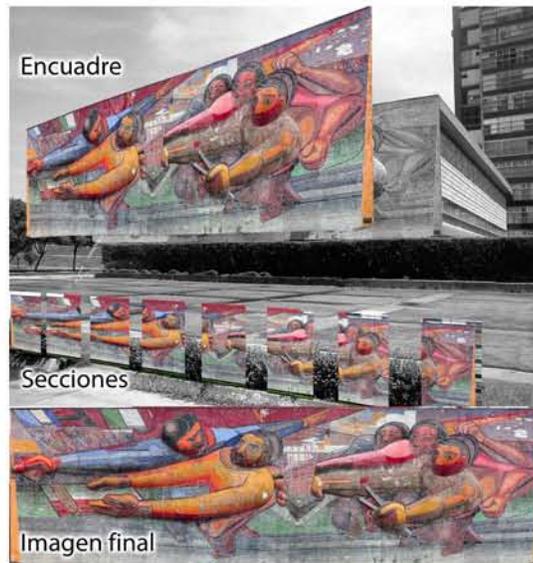


Imagen 45: Captura del área de análisis por partes.

5.2 Habrá ocasiones en que el espacio en la locación, la infraestructura o el instrumental, no nos permita poner el encuadre paralelo al área de análisis. Para la presentación de resultados es más eficiente corregir el ángulo de captura, es posible mediante una corrección anamórfica, Imagen 46 (anamorfosis o anamorfismo: Distorsión visual sobre un plano que genera una ilusión óptica, de tal manera que sólo se aprecia la imagen desde un punto de vista distinto al habitual).



Imagen 46: Captura por secciones con corrección anamórfica.

5.3 Una opción para capturar objetos pequeños, es mediante una lente intermedia o lupa “A”, es necesario que esté paralela al plano de captura; cuidando que las áreas de análisis no estén en los bordes de la imagen, ya que en estas zonas aparecen aberraciones cromáticas “B” (Imagen 47).

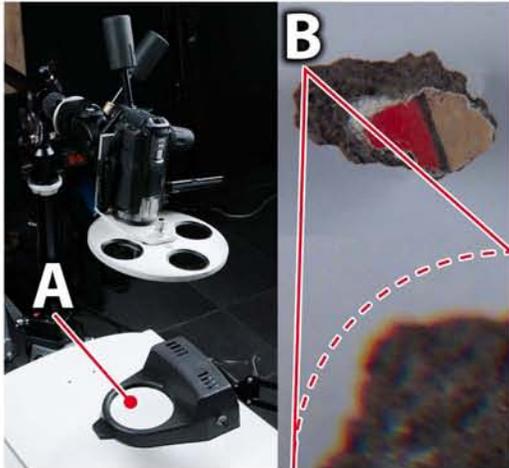


Imagen 47: Captura con lente intermedia.

6. Orden en la captura de las reflectografías

Luego de retratar la tarjeta verificadora de colores se procederá a la captura de las reflectografías.

Primero se comienza con la reflectografía visible, después se selecciona el modo de visión nocturna (Imagen 37) y se procede a la captura de las reflectografías infrarrojas.

Etapa 3 Procesamiento de reflectografías (visibles e infrarrojas) y generación de imágenes infrarrojas de falso color

Para el procesamiento de las reflectografías y la construcción de las imágenes infrarrojas de falso color, se empleará: i1 Profiler, Adobe Photoshop CC, Adobe Bridge CC, Adobe Camera Raw 8.3 y Spyder Checkr 1.2.2.

i1 Profiler es un programa del dispositivo i1 Photo Pro 2; tanto software y hardware están dedicados a generar perfiles de color para monitores, cámaras, proyectores e impresoras.

Adobe Photoshop es un software dedicado a la edición de imágenes de mapas de bits.

Adobe Camera Raw es un programa dedicado al pre procesamiento o revelado digital de imágenes de mapas de bits.

Spyder Checkr es un software que nos permitirá generar perfiles de color con las tarjetas verificadoras de color.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

Adobe Bridge es un explorador profesional desarrollado para archivos de imagen, multimedia y archivos propietarios de Adobe.

1. Calibración de monitor o pantalla

Antes de iniciar a calibrar el color de la pantalla, es necesario que ésta haya estado encendida al menos durante media hora; también es necesario revisar los ajustes manuales del equipo (revisar el manual de operación de su pantalla) y seleccionar los ajustes preestablecidos. Se explicarán otras alternativas para la calibración del color de la pantalla sin un dispositivo calibrador en la Etapa 4 (Página 72).

1.1 Conectar el “i1 Photo Pro 2” a la computadora y ejecutar el programa i1 Profiler (Imagen 48).



Imagen 48: “i1 Photo Pro 2” e “i1 Profiler”.

1.2 En el programa seleccionar “Display Profiling” [Perfilado de monitor] (1, Imagen 48).

1.3 Hacer clic en la pantalla que se va a calibrar (2) y en la casilla “White Point” [Punto blanco] seleccionar “measure...” [medida] (3, Imagen 49).

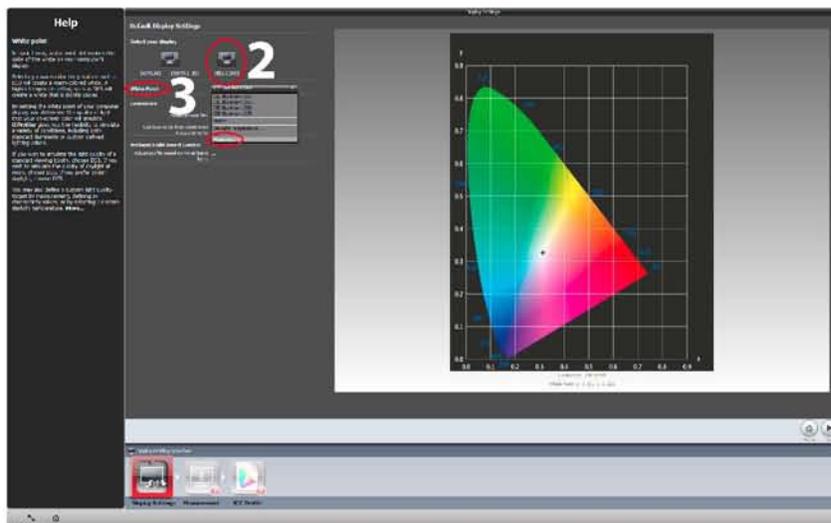


Imagen 49: Selección de pantalla y tipo de punto blanco.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

- 1.4 Colocar el dispositivo de medición sobre la base con el objetivo blanco descubierto y después hacer clic en “Calibrate” [Calibrar], (4, Imagen 50) o pulsar el botón lateral de éste para iniciar la calibración.

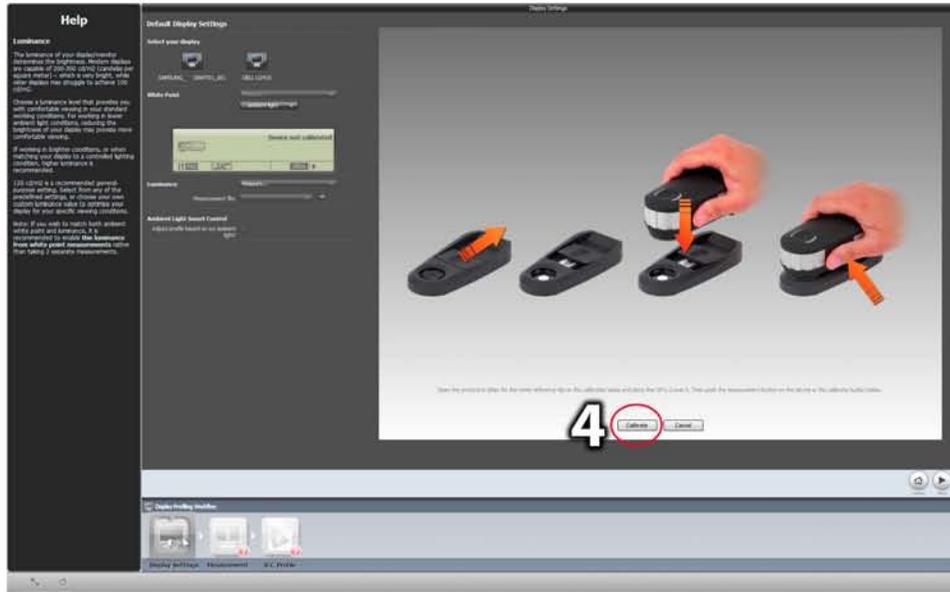


Imagen 50: Calibración del dispositivo de medición.

- 1.5 Orientar el dispositivo a la fuente de luz ambiental y hacer clic en “Measure” [medida] (5, Imagen 51).



Imagen 51: Medición de la luz ambiental.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

1.6 Hacer clic en el botón “Keep Measurement” [Mantener la medida] (6, Imagen 52).

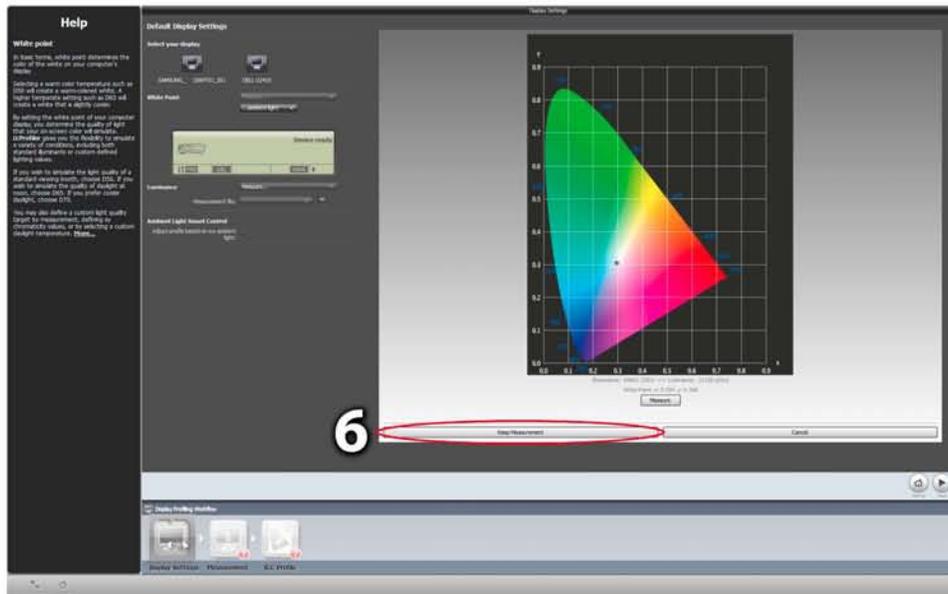


Imagen 52: Selección de la medición de luz ambiental.

1.7 En “Luminance” [Luminancia] activar la casilla “Use luminance from white point measurements” [Utilizar la luminancia de la medición del punto blanco] (7, Imagen 53).

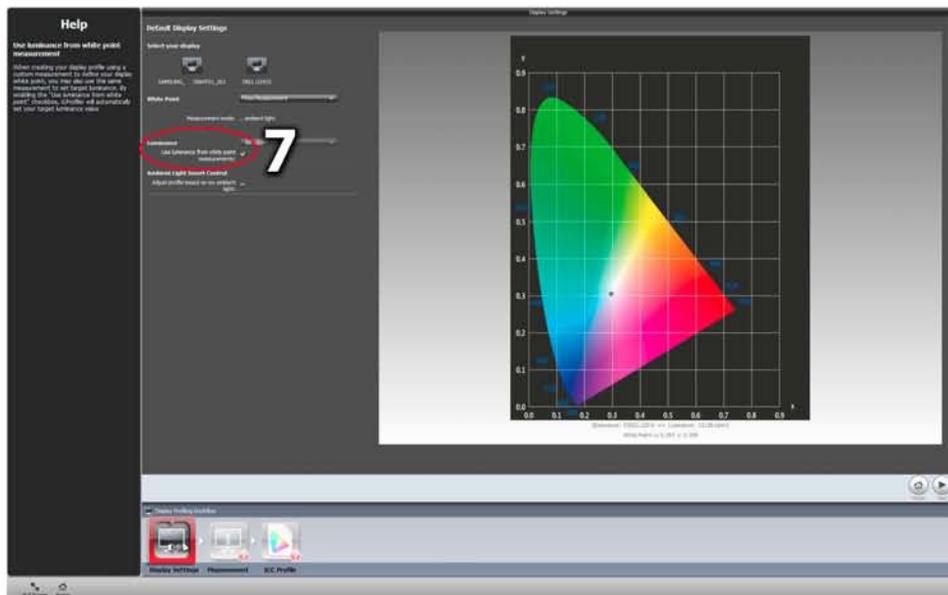


Imagen 53: Configuración de luminancia.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

- 1.8 De acuerdo al tipo de monitor hacer clic en “Automatic Display Control (ADC)” [Control automático de la pantalla] o en “Adjust brightness, contrast, and RGB gains manually” [Ajustar brillo, contraste y valores de RGB manualmente] (8), en este caso seleccionamos la segunda opción debido a que el monitor a calibrar en este ejemplo tiene controles manuales de color, brillo y contraste. Después hacer clic en “Start Measurement” [Comenzar la medición] (9, Imagen 54)

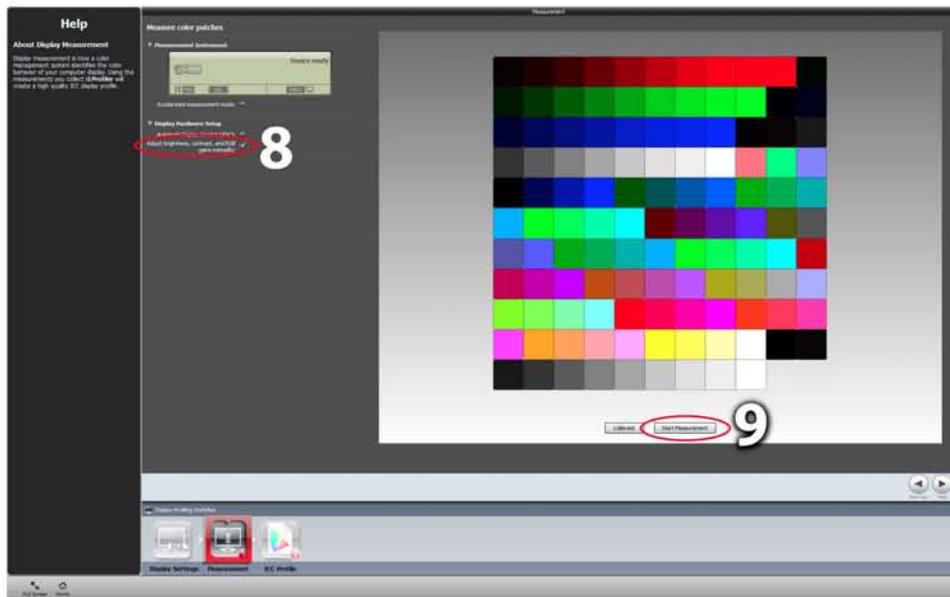


Imagen 54: Selección del tipo de ajustes de la pantalla e inicio de la medición.

- 1.9 Colocar el dispositivo en la base para medición de pantallas (10) y colocarlo sobre la pantalla (11, Imagen 55).



Imagen 55: Colocación del dispositivo de medición sobre la pantalla o monitor.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

1.10 Hacer clic en “Next” [siguiente] (12, Imagen 56).



Imagen 56: Inicio de medición del monitor o pantalla.

1.11 Seguir las instrucciones sobre los ajustes manuales del monitor (13, Brillo, contraste y color), en caso de seleccionar la opción de “Automatic Display Control (ADC)” [Control automático de la pantalla] no se solicitarán los ajustes manuales (Imagen 57).



Imagen 57: Ajustes manuales al monitor o pantalla.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

1.12 El monitor tardará unos minutos en calibrarse y después lanzará la pantalla de antes de comenzar la calibración de color, y haremos clic en “Next” [Siguiete] (14, Imagen 58).

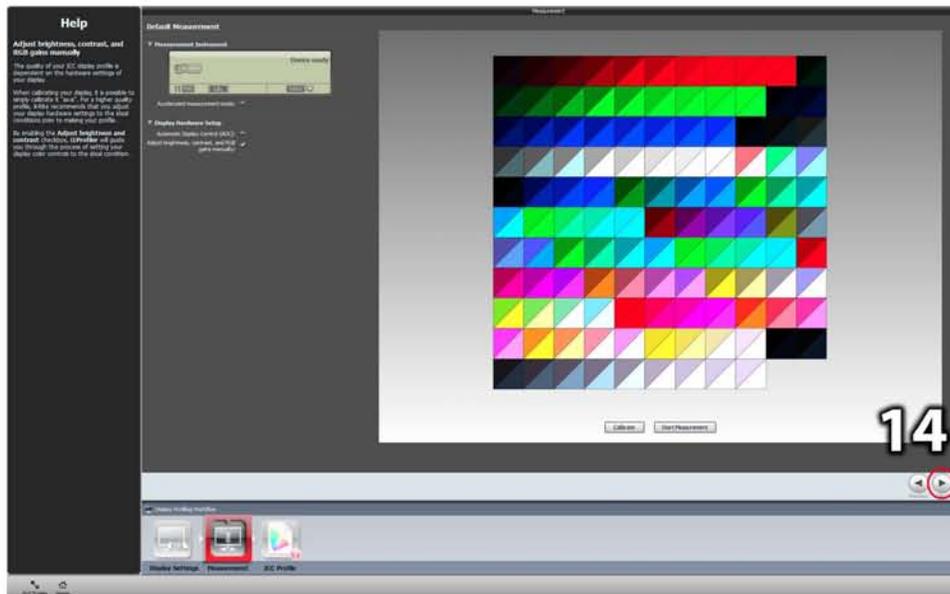


Imagen 58: Inicio de medición del monitor o pantalla.

1.13 Para finalizar hay que hacer clic en “Create and save profile” [Crear y guardar perfil] (Imagen 59).

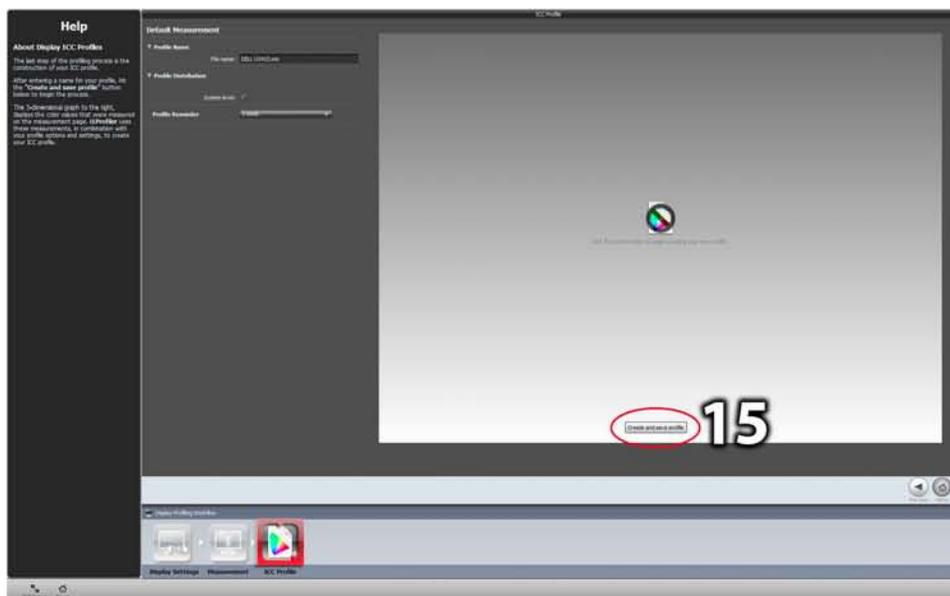


Imagen 59: Creación y guardado del perfil.

2. Gestión de color

La gestión de color se encarga de la implementación adecuada de los espacios, perfiles, gamas y ganancias de color, en este caso, la cámara genera archivos JPG con un perfil sRGB IEC61966-2.1. (El dispositivo no nos permite elegir entre Adobe RGB y sRGB).

En este caso se ha optado por dejar los archivos con el perfil sRGB debido a que es un espacio estandarizado por fabricantes de software y hardware para la correcta visualización y captura de color en escáners, proyectores, cámaras y pantallas, lo que es pertinente para las etapas:

- 3 Procesamiento de reflectografías y generación de imágenes infrarrojas de falso color.
- 4 Análisis cromático comparativo entre reflectografía visible e imagen infrarroja de falso color.
- 5 Interpretación de resultados.

Para asegurarnos que la gestión de color es adecuada, hay que configurar en el programa de edición de mapas de bits (Adobe Photoshop) en el panel de “Ajustes de color” (Ctrl+ Shift+K ó Menú/Edición/Ajustes de color), de acuerdo a los siguientes casos:

1. Si se está trabajando exclusivamente en las etapas 3, 4 y 5 es recomendado seleccionar en el apartado “Normas de gestión de color”, en las tres casillas (RGB, CMYK y Gris) tiene que estar seleccionado “Conservar perfiles incrustados” (1). Lo anterior nos permitirá mantener los perfiles originales de los archivos que manipulemos (Imagen 60).

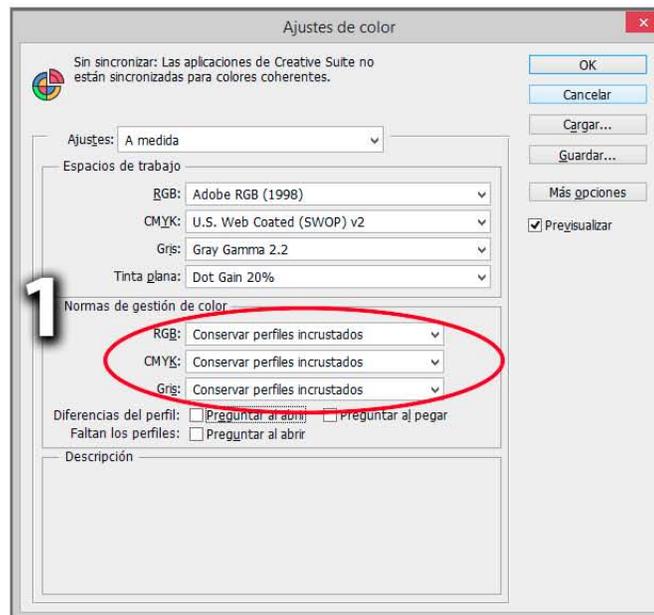


Imagen 60: Gestión para etapas 3, 4 y 5.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

Es posible hacer que el programa nos pida una confirmación (2, Imagen 61) de las “Normas de gestión de color”, en “Diferencias de perfil:” (3) activando la casilla “Preguntar al abrir”; dejándonos optar por (2): “Usar el perfil incrustado” y utilizar el perfil del archivo como perfil de trabajo, “Convertir los colores del documento al espacio de trabajo” asignando el perfil de trabajo al archivo, “Eliminar el perfil incrustado” esto elimina el perfil del archivo. Si sólo se está trabajando en las etapas 3 a la 5, puede dejarse desactivada esta opción teniendo presente la norma de gestión de color de este caso.

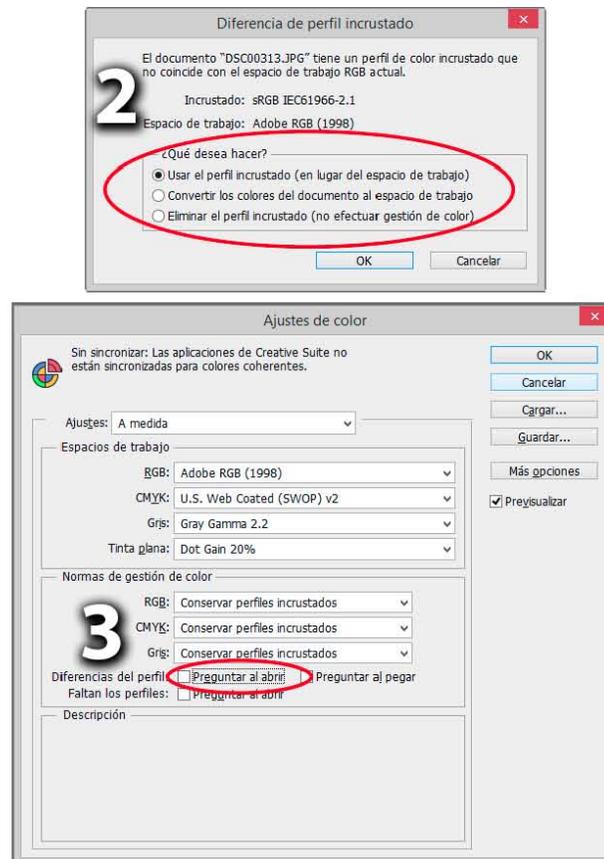


Imagen 61: Confirmación de las Normas de gestión de color.

2. Si se está trabajando simultáneamente en las etapas 3, 4, 5 y preparando archivos para impresión (Etapa 6. Presentación de resultados), lo pertinente será tener configurado en “Espacios de trabajo” (4, Imagen 62) lo siguiente:

“RGB”- Adobe RGB (1998).

“CMYK”- El perfil de color adecuado al dispositivo de impresión o del buró de servicios de impresión.

“Gris” - En este caso empleamos Gray Gamma 2.2 ya que es un valor predefinido para monitores que trabajan con Windows. (Si se está trabajando archivos para impresión con un buró de servicios de impresión, hay que ajustar este valor al de ganancia de punto que se indique).

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

“Tinta plana”- Será acorde a las especificaciones del buró de servicios de impresión (imprenta).

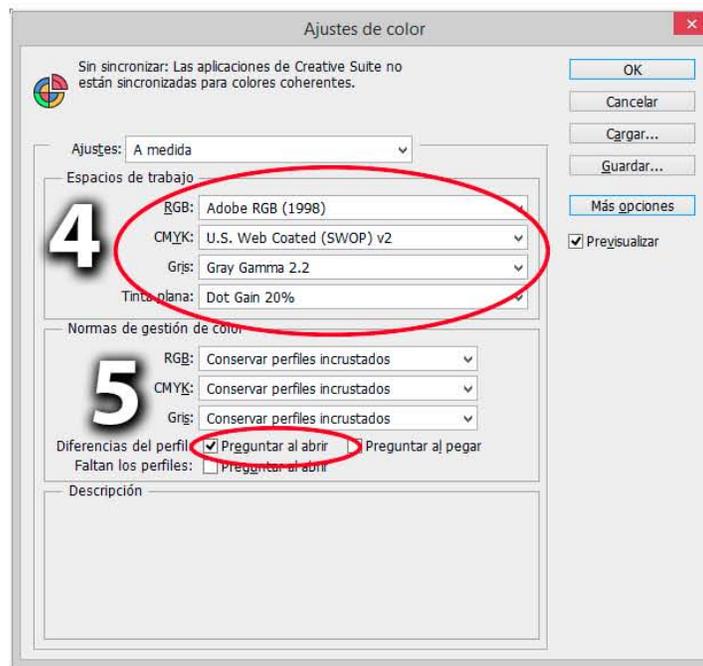


Imagen 62: Gestión para etapas 3, 4 y 5.

Adicionalmente en las “Normas de gestión de color”, en “Diferencias de perfil:” (5) hay que mantener activada la casilla “Preguntar al abrir”, para poder optar entre conservar o cambiar el perfil.

La gestión de color para impresión será con las consideraciones descritas en este punto.

3. Importación y manejo de las imágenes

Después de hacer la toma de las reflectografías, es necesario bajar los archivos a la computadora. Es importante en este momento realizar los respaldos de la información o copias de seguridad.

Para bajar los datos hay que extraer la memoria SD de la cámara y conectarla al ordenador por medio de un lector de tarjetas SD o un puerto SD.

El tipo de archivos que genera la cámara es JPG (Joint Photographic Experts Group), lo que es una ventaja, ya que los exploradores de archivos pueden pre visualizar esta extensión. Por otra parte, los archivos JPG tienen una compresión de origen y no permiten un flujo de trabajo no destructivo de la información.

Tendremos un flujo de manipulación de datos destructivo, ya que con el JPG, a partir de que se descomprime no se obtiene exactamente la misma información; aunque hay sus excepciones como el JPEG 2000 y JPEG-LS que no tienen compresión, nuestra cámara no genera este tipo de archivos. Todos los ajustes que se hagan en esta etapa, no serán reversibles; hay

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

ajustes realizados en este punto que en Raw (Crudo ó Bruto de cámara) serían reversibles, ya que estos archivos guardan la información original y sin compresión de la captura y son considerados un “negativo digital” del que se puede revelar una y otra vez la información.

Debido a que se tiene un manejo de datos destructivo y a que nunca se está exento de cometer alguna equivocación, es necesario trabajar con un respaldo de la información original adicional a los datos que se estén editando.

4. Organización y renombrado de los archivos de imagen

Es importante colocar los archivos de las reflectografías en una carpeta con un nombre descriptivo del proyecto (Imagen 63).

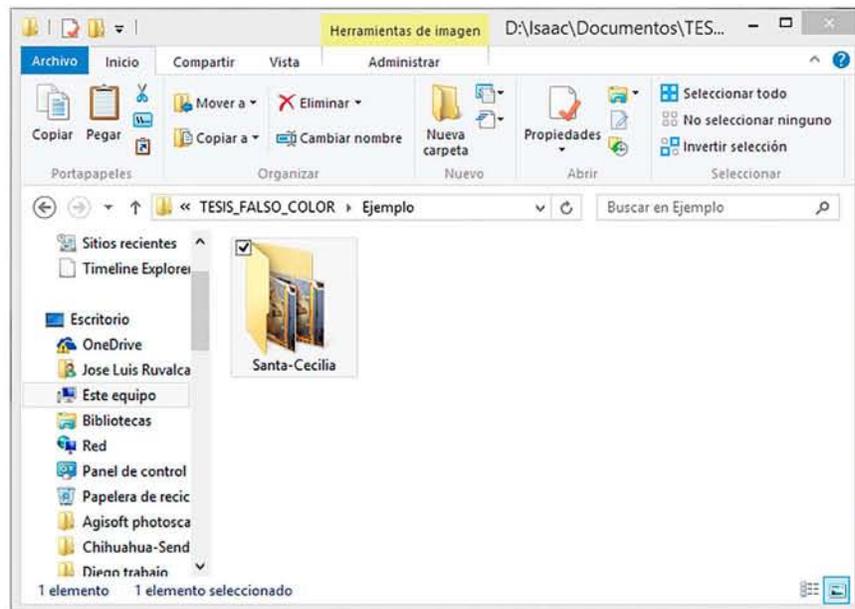


Imagen 63: Ejemplo de carpeta del proyecto.

Se recomienda que para el nombre de archivos y carpetas, únicamente se empleen caracteres alfanuméricos y de necesitarse espacios se ocupen guiones. No se recomienda el uso de caracteres con virgulillas (letra ñ), diéresis (Ü), acentos y demás símbolos (llaves, número, porcentaje, asterisco, arroba, etc.).

El nombre de los archivos debe describir la información del proyecto y tipo de imagen (reflectografía o imagen de falso color) con longitud de onda (imagen 64). En el ejemplo tenemos el proyecto de una pintura de Santa Cecilia, motivo por el cual nombramos a la carpeta del proyecto “Santa-Cecilia”; y a los archivos se les da el prefijo del proyecto “Sta-Cecilia”, el tipo de imagen “Vis” (visible), “IR” (infrarrojo), “FC” (falso color), y el número de longitud de onda (760, 850 ó 950, Imagen 64).

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

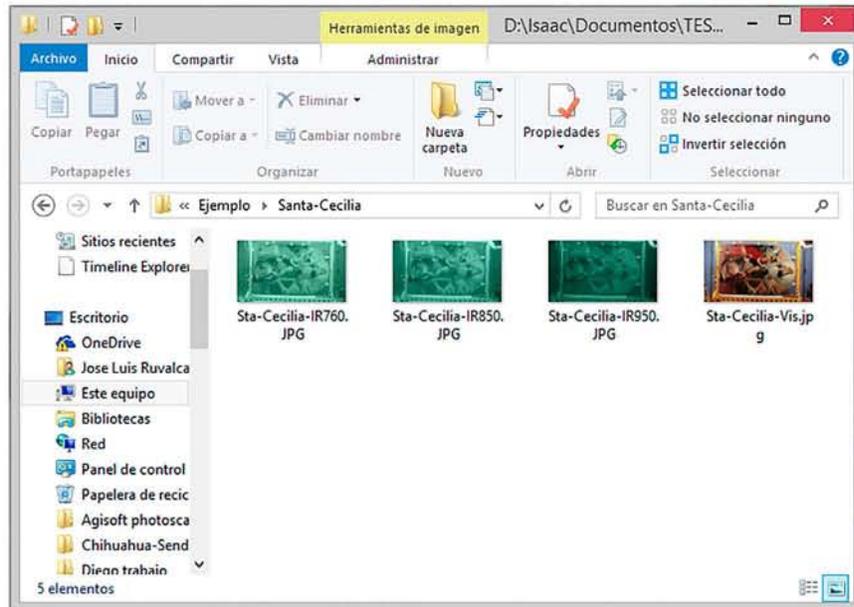


Imagen 64: Ejemplo de renombrado de archivos.

A continuación nos disponemos a hacer dos copias de los archivos de reflectografía “IR” y una de “Vis”; debido a que la edición es destructiva, es necesario tener un juego de archivos originales a los que al final les adicionaremos la etiqueta “or”. La segunda copia de los archivos “IR” será para cambiarles esta etiqueta por “FC” (Imagen 65).

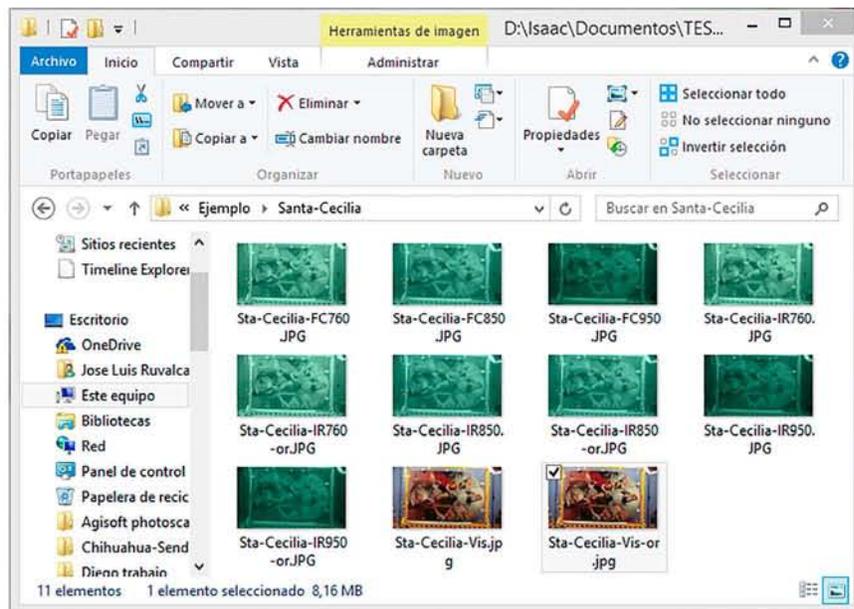


Imagen 65: Ejemplo de duplicado y renombramiento de archivos.

5. Calibración de color en las reflectografías visibles

5.1 Ejecutar Spyder Checkr 1.2.2. y en Menú/File/Open Image..., abrir el archivo de la tarjeta verificadora de color. Se recomienda que del archivo, sea un recorte de ésta (Imagen 66).

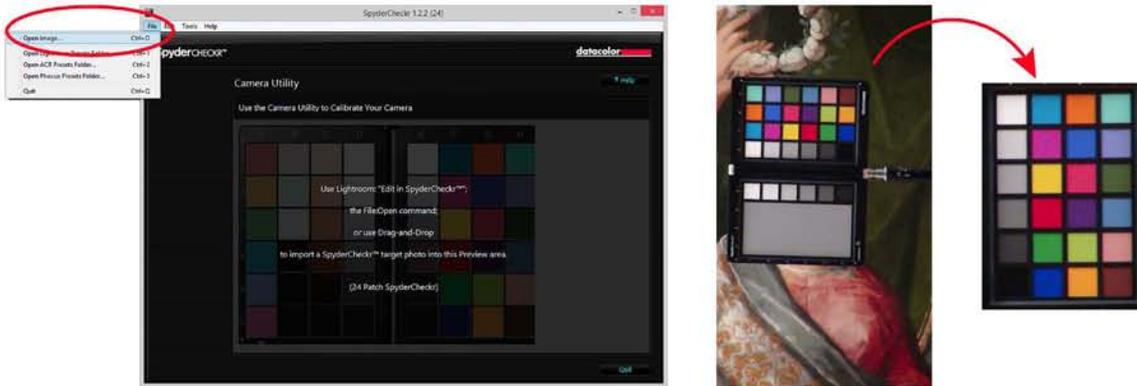


Imagen 66: Ejemplo de archivo con tarjeta verificadora de color e importación a Spyder Checkr 1.2.2.

5.2 A continuación se procede a arrastrar los parches de color al centro de la muestra correspondiente (1), seleccionar el modo “colorimetric” (colorimétrico, 2), activar la casilla “Save To ACR” (Guardar en Adobe Camera Raw, 3) y finalmente presionamos “Save Calibration”, (Guardar Calibración, 4) (Imagen 67).

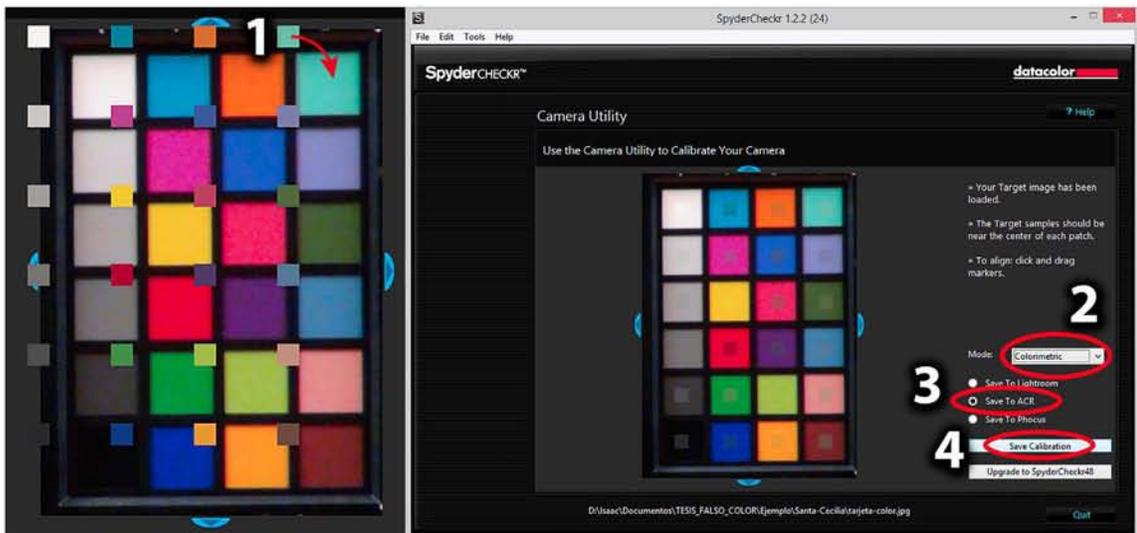


Imagen 67: Sets para la creación de la calibración de color.

5.3 Posteriormente seleccionamos el nombre de nuestra calibración (1), preferentemente que sea el mismo de la carpeta del proyecto y presionamos “OK” (2).

Es importante ubicar la ruta del archivo de la calibración, para guardar una copia de este en la carpeta del proyecto (3, Imagen 68).

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

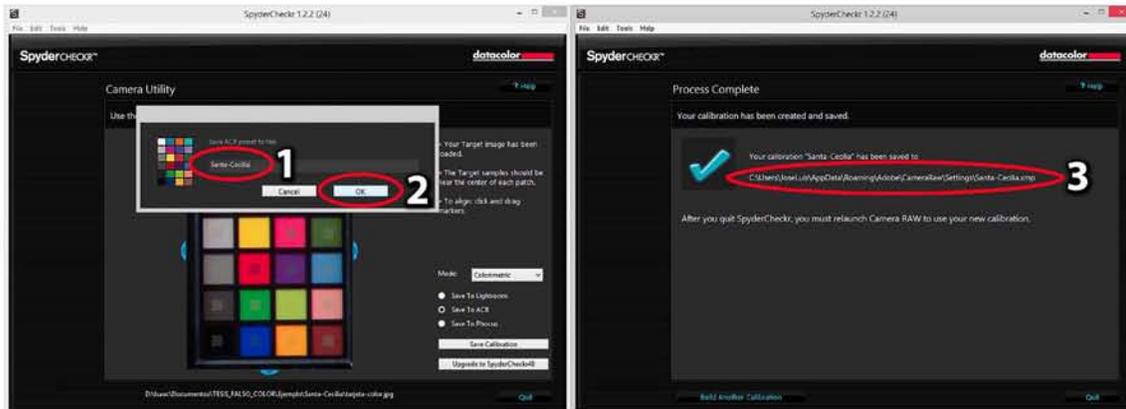


Imagen 68: Guardado y ubicación de archivo de calibración de color.

5.4 Abrir desde Adobe Bridge el archivo de la reflectografía visible “Sta-Cecilia-Vis”, lo que lanzará Adobe Photoshop CC (1, Imagen 69).

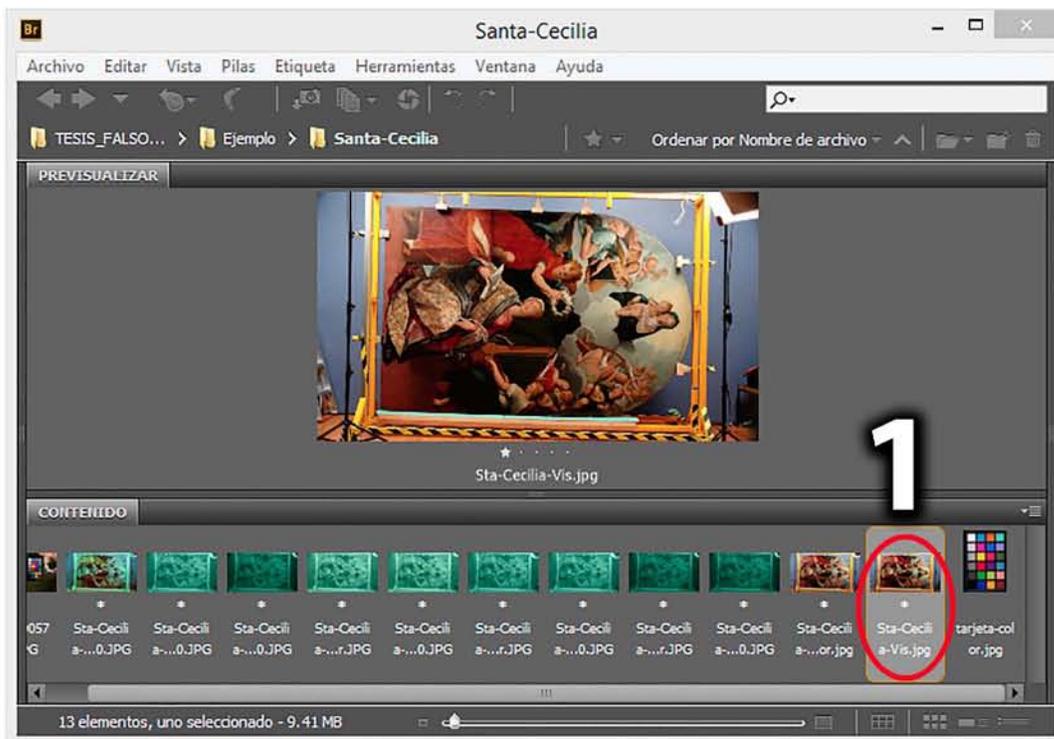


Imagen 69: Apertura de archivos desde Adobe Bridge.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

- 5.5 Después en Photoshop, aplicar el filtro de Adobe Camera Raw, Menú/ Filtro/ Filtro de Camera Raw, lo que lanzará Adobe Camera Raw (2, Imagen 70).

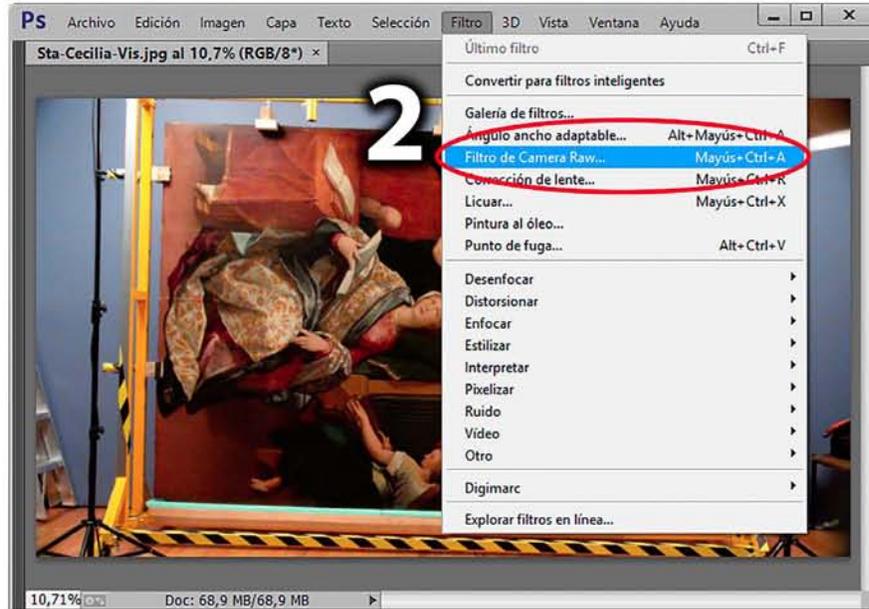


Imagen 70: Filtro de “Camera Raw”.

- 5.6 después en Adobe Camera Raw, en “Ajustes preestablecidos”(3), seleccionamos la calibración de color del proyecto “Santa-Cecilia”, presionar “Aceptar” (4, Imagen 71)



Imagen 71: Calibración de color en la reflectografía visible.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

5.7 Guardar el archivo desde Photoshop, Menú/ Guardar (5, Imagen 72).

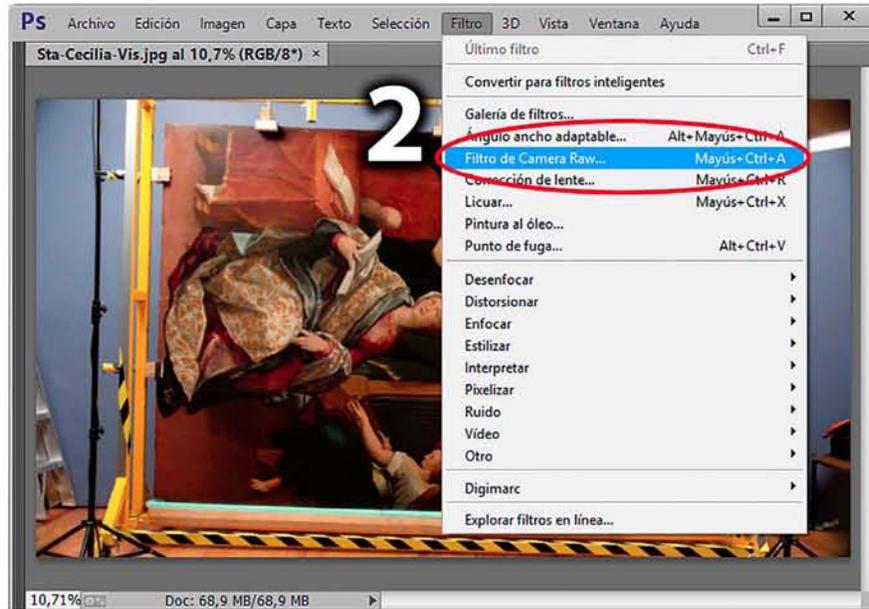


Imagen 72: Guardado de archivo.

6. Elaboración de la imagen infrarroja de falso color

El proceso de construcción de la imagen de falso color consiste en desplazar los canales verde y rojo de la reflectografía visible a los canales verde y azul de la imagen infrarroja de falso color; y en el canal disponible colocar el canal rojo de la reflectografía infrarroja (Figura 29).

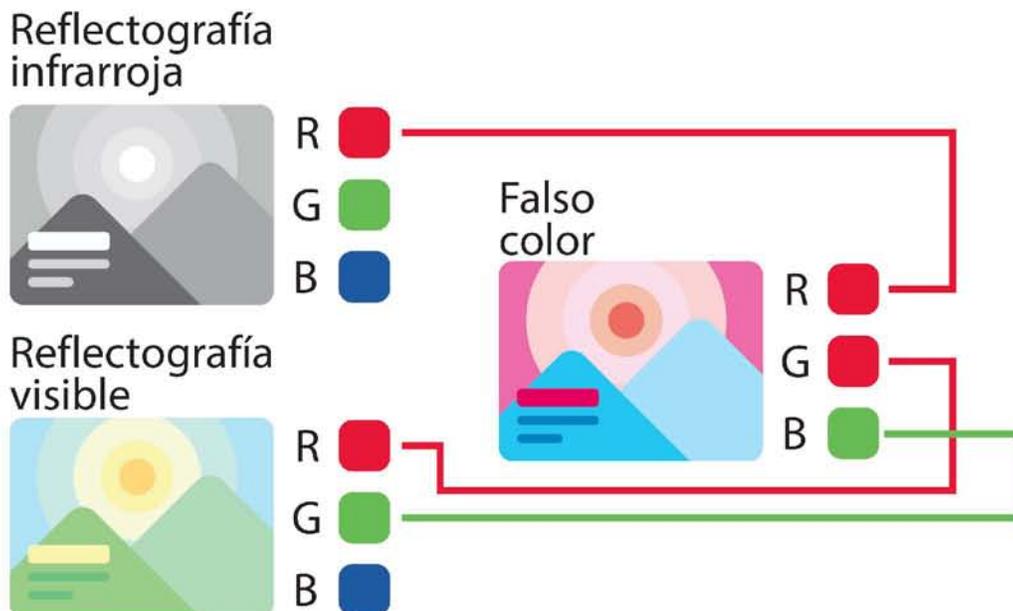


Figura 29: Construcción de la imagen infrarroja de falso color.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

- 6.1 En Bridge, seleccionamos y abrimos las imágenes de reflectografía visible “Sta-Cecilia-Vis” y la reflectografía infrarroja (1) “Sta-Cecilia-FC760”, el motivo de esta copia de la reflectografía infrarroja es que se convierta en falso color, por lo que se le ha colocado la etiqueta “FC” en su nombre (Imagen 73).



Imagen 73: Construcción de la imagen infrarroja de falso color.

- 6.2 Después en Photoshop seleccionamos el canal Rojo (2), Menú/Ventana/Canales/Rojo, presionamos Ctrl+A para activar la selección activa, y lo copiamos presionando Ctrl+C (Imagen 74).

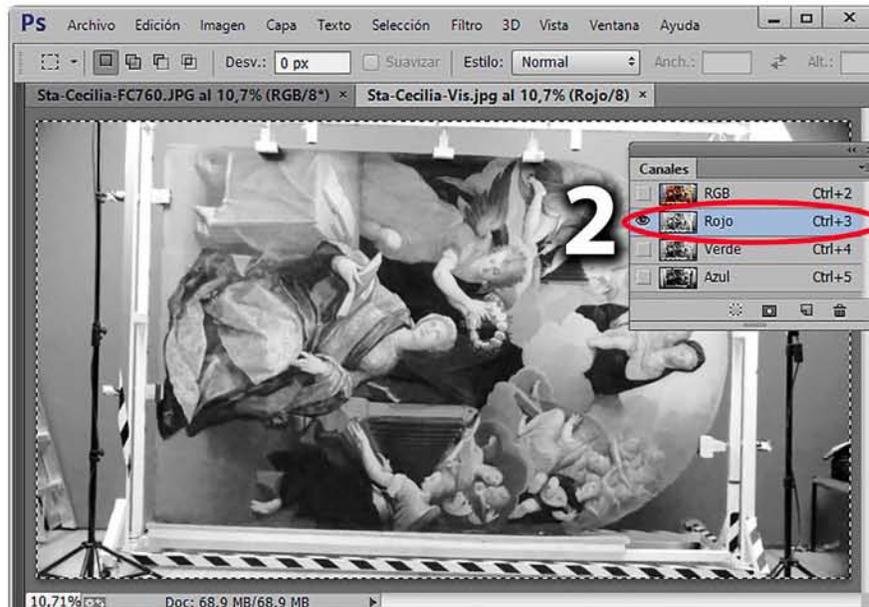


Imagen 74: Construcción de la imagen infrarroja de falso color.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

- 6.3 A continuación pegamos en el canal verde de la reflectografía infrarroja presionando Ctrl+V (3), y repetimos el procedimiento con el canal verde de la reflectografía visible pegándolo en el canal azul de la reflectografía infrarroja (Imagen 75).



Imagen 75: Construcción de la imagen infrarroja de falso color.

- 6.4 Al final hay que guardar el archivo (4), Menú/Guardar, de la imagen que pegamos los canales y que ahora propiamente es una imagen de falso color (Imagen 76).

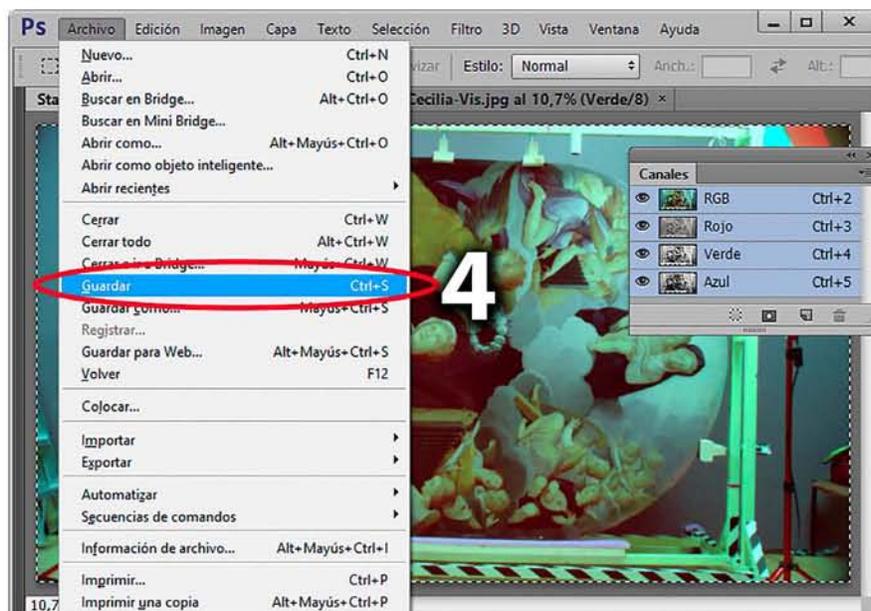


Imagen 76: Construcción de la imagen infrarroja de falso color.

7 Desaturación de las reflectografías infrarrojas

7.1 En bridge seleccionar los archivos de las reflectografías infrarrojas (1) y abrirlos (Imagen 77).

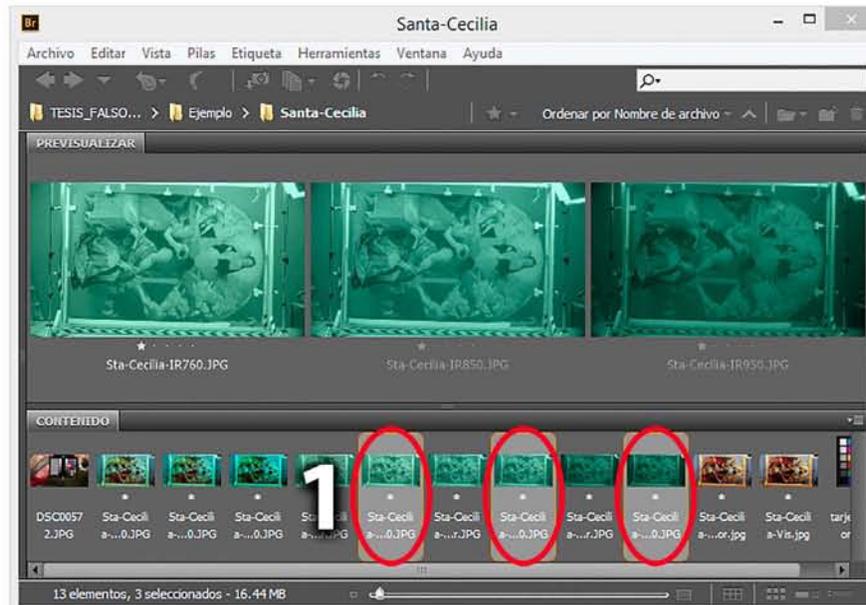


Imagen 77: Apertura de archivos.

7.2 Ya en Photoshop aplicar el comando Mayús+Ctrl+U (2) para desaturar (Imagen 78).

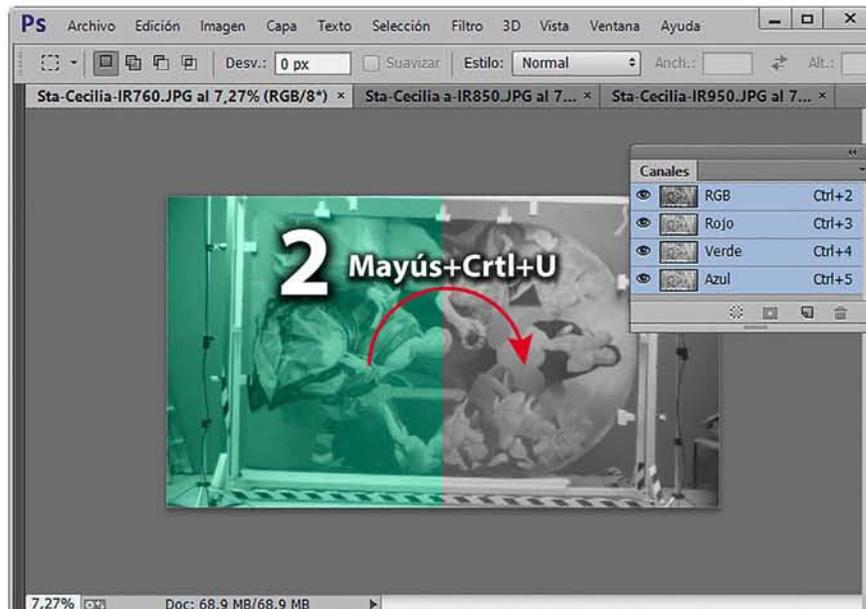


Imagen 78: Desaturación de reflectografía infrarroja.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

7.3 Para finalizar hay que guardar, Ctrl+S o Menú/Archivo/Guardar (3, Imagen 79).

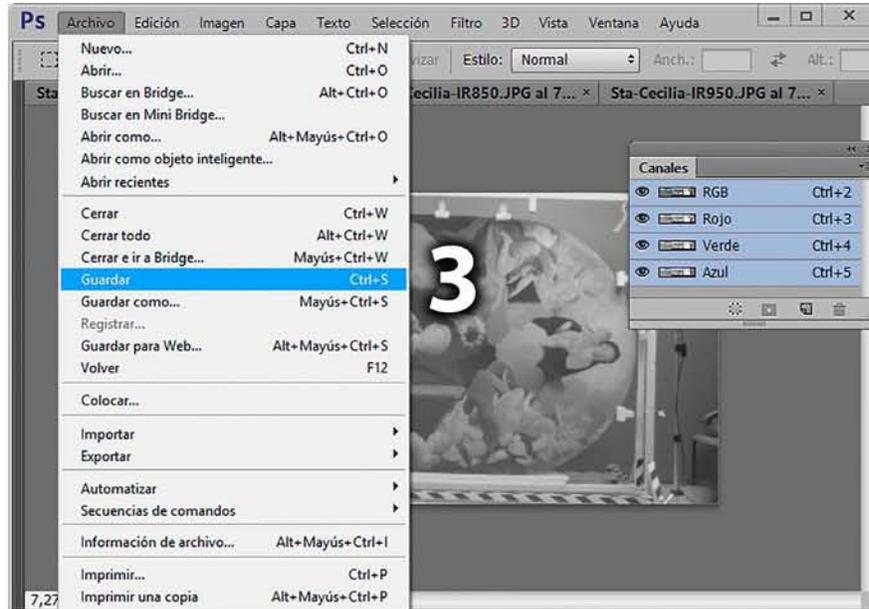


Imagen 79: Guardado del archivo.

8 Sumario de archivos de la etapa 3 (Imagen 80):

- A. Calibración de color
- B. Reflectografías infrarrojas
- C. Imágenes infrarrojas de falso color
- D. Imágenes de la tarjeta verificadora de color
- E. Reflectografía visible
- F. Archivos originales de las reflectografías

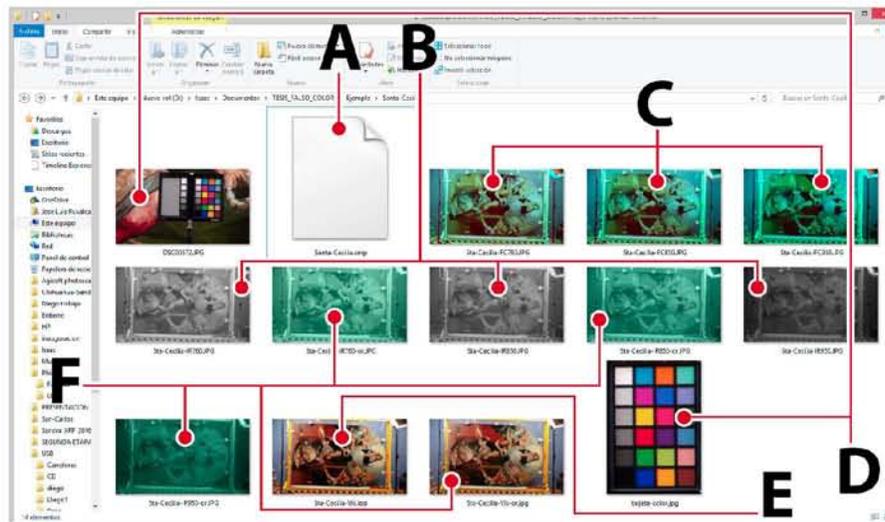


Imagen 80: Sumario de archivos.

Etapa 4

Análisis cromático comparativo entre reflectografía visible e imágenes infrarrojas de falso color

Para realizar el análisis cromático comparativo es recomendable contar con un monitor o pantalla perfectamente calibrado, realizarlo en un lugar con iluminación controlada y preferentemente con un solo tipo de iluminación. Lo anterior permitirá apreciar correctamente los colores, parte fundamental de esta metodología.

Esta etapa emplea las imágenes digitales de la reflectografía visible y la imagen infrarroja de falso color.

Para el análisis comparativo se utilizará Adobe Bridge, Adobe Photoshop, Microsoft Excel y Origin.

Tanto “Origin” como “Excel”, son programas de graficación y análisis de datos.

1. Alternativas para ajustar el color del monitor sin un dispositivo calibrador.

Tanto PC como Apple tienen opciones en sus sistemas operativos para calibrar los colores de la pantalla. En ios (Apple) tiene la opción de ubicar el punto blanco con Iluminantes estándar D50, D65 y por grados Kelvin. En PC (Windows) se calibra tomando en cuenta la gama, el brillo, el contraste y los valores RGB.

En Unix es posible calibrar el color de la pantalla, pero esta metodología implementa software comercial que no está soportado por estos sistemas operativos, motivo por el cual no se abordará este tema.

1.1 Calibrar color de la pantalla en PC con Windows 10 pro

Antes de realizar este paso asegúrese de que el monitor o pantalla ha estado encendido al menos media hora.

Como recomendación antes de realizar este paso hay que poner la configuración del monitor en los ajustes predeterminados o de fábrica, y si tiene controles RGB, poner los canales en el máximo valor.

Esta calibración no emplea iluminantes estándar ni controles de grados Kelvin, se basa en la percepción del usuario, lo que puede ser bueno si éste tiene presente los conceptos de los controles y tiene una vista entrenada.

Esta calibración puede ser de utilidad en campo, ya que no resulta práctico llevar a todos lados el dispositivo calibrador de pantallas “i1 Photo Pro 2” y tampoco es posible controlar

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

las condiciones de iluminación en todo momento.
Los pasos a seguir son:

- En “Cortana” (1) buscar y ejecutar “Calibrar color de la pantalla” (Imagen 81).



Imagen 81: Ejecutar “Calibrador de la pantalla”.

- Para iniciar el proceso de calibración hay que ubicar la ventana en la pantalla que se va a calibrar y hacer clic en el botón “siguiente” (2, Imagen 82).

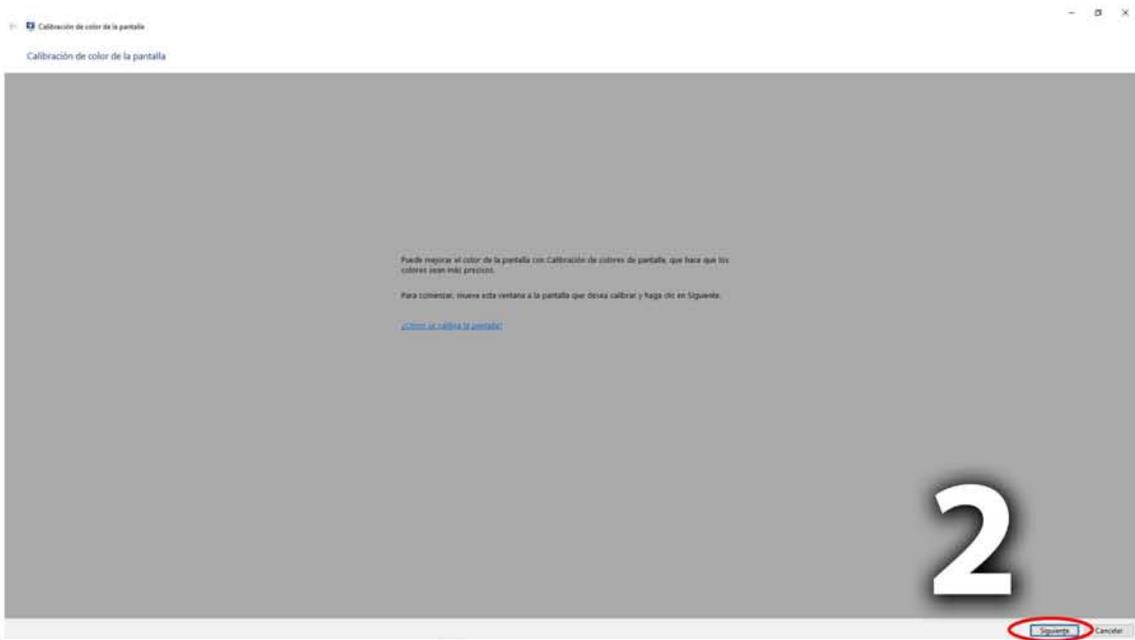


Imagen 82: Inicio de calibración.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

- En este paso se aconseja al usuario asignar la configuración de fábrica a la pantalla, hay que hacer clic en “siguiente” (3, Imagen 83).



Imagen 83: Configuraciones manuales del monitor.

- Aquí la interface explica gráficamente como asignar los valores correctos de gama, los círculos hechos por líneas no tienen que presentar circunferencias claras u oscuras en su interior, para continuar presionar clic en “siguiente” (4, Imagen 84).

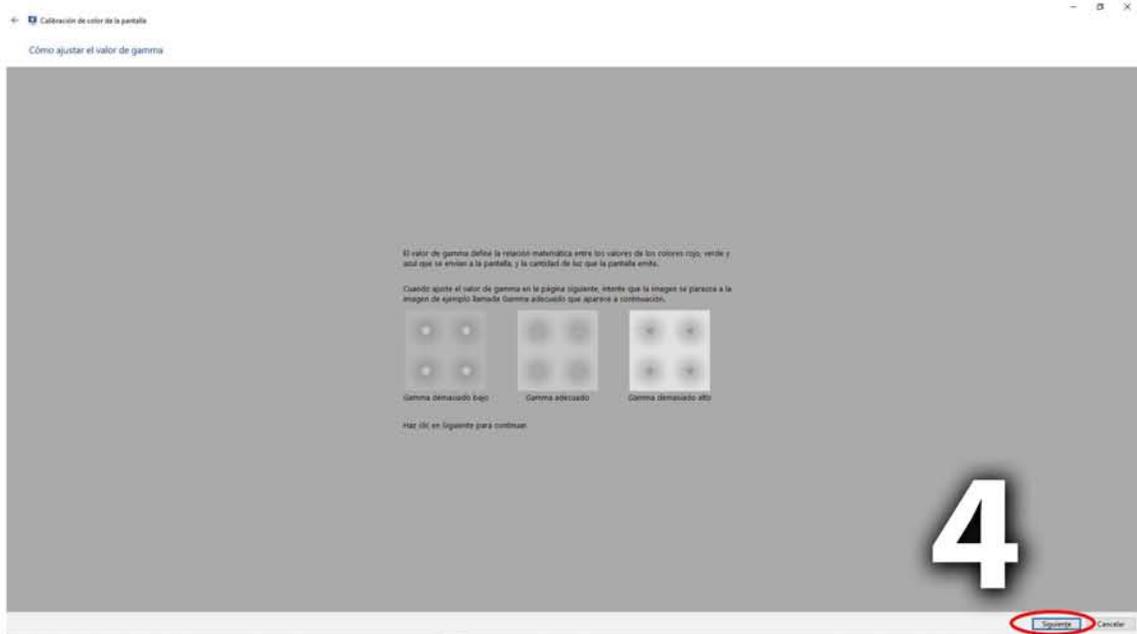


Imagen 84: Ejemplos de gama.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

- Hay que desplazar el control de la izquierda (5) hasta que no aparezcan círculos claros u oscuros en los círculos hechos con líneas, logrado esto presionar “siguiente” (6, Imagen 85).

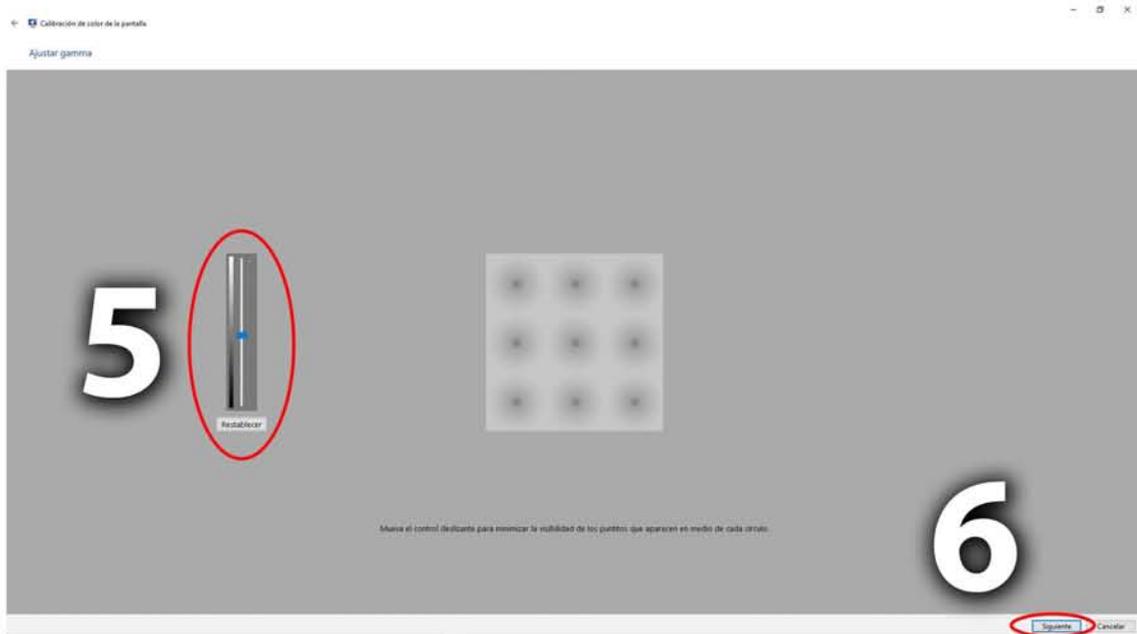


Imagen 85: Ajuste de la gama.

- Aquí hay un mensaje de cómo debe lucir correctamente el brillo con tres imágenes, para proseguir hacer clic en “siguiente” (7, Imagen 86).



Imagen 85: Ajuste de la gama.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

- Aquí hay un mensaje de cómo debe lucir correctamente el brillo con tres imágenes, para proseguir hacer clic en “siguiente” (7, Imagen 86).

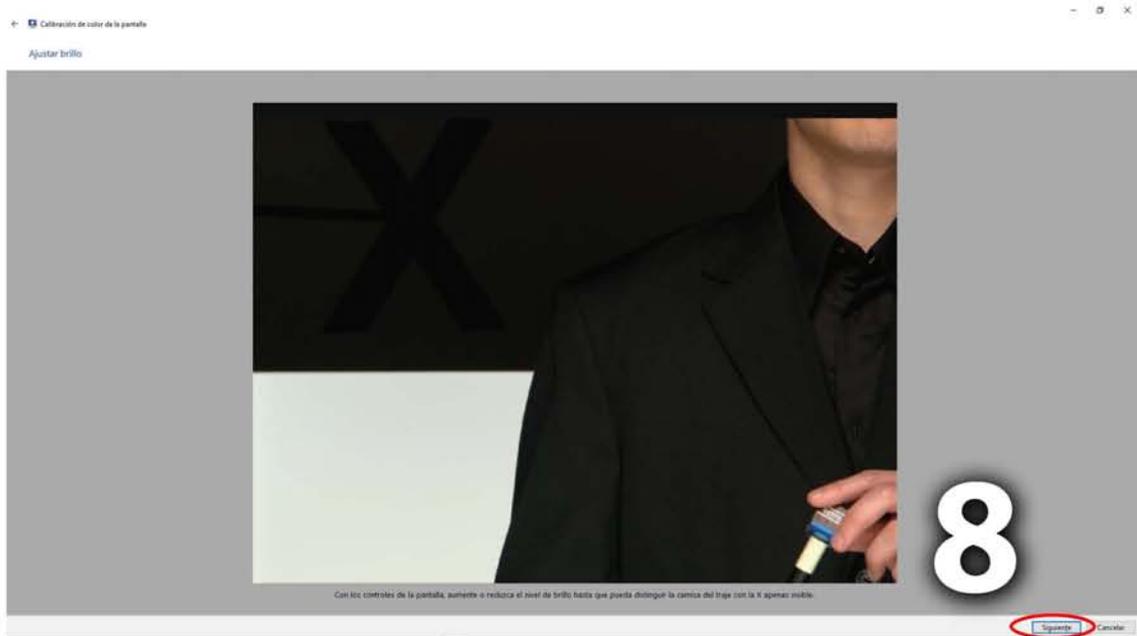


Imagen 87: Ajuste manual del brillo en los controles del monitor.

- Aquí se informa el cómo debe lucir correctamente el contraste con tres imágenes, para proseguir hay que hacer clic en “siguiente” (9, Imagen 88).



Imagen 88: Ejemplos de contraste.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

- En este punto hay que ajustar manualmente el brillo hasta lograr con el valor más alto de este, que en la imagen se distingan las arrugas y los botones de la camisa, luego de conseguirlo hay que hacer clic en “siguiente” (10, Imagen 89).

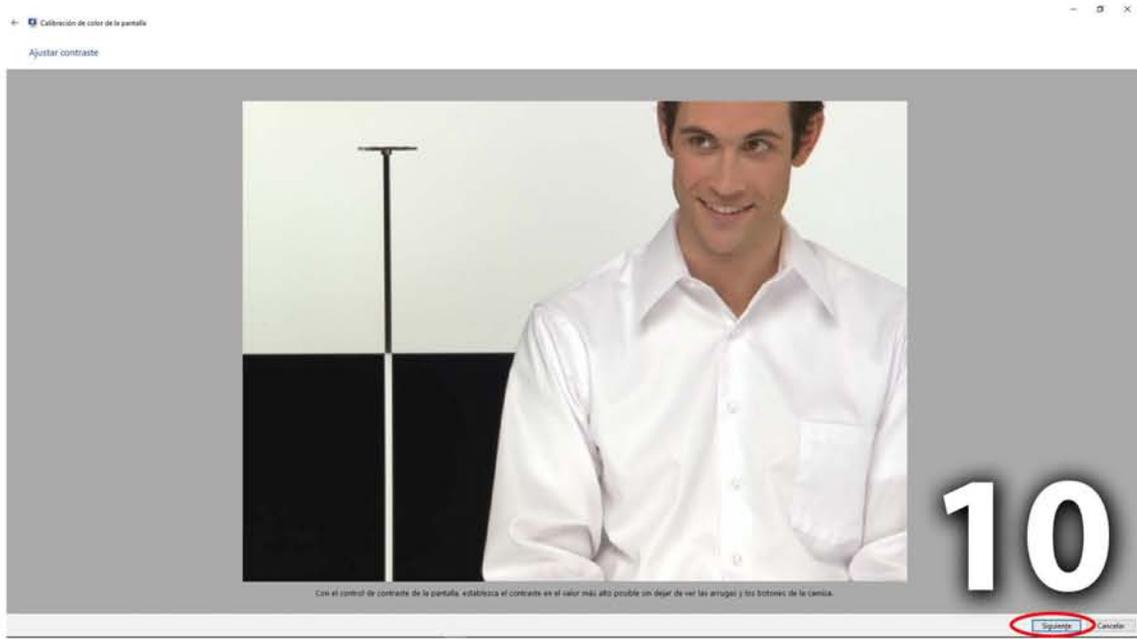


Imagen 89: Ajuste manual del contraste en los controles del monitor.

- A continuación se ilustra la apariencia correcta del gris, hay que hacer clic en “siguiente” para continuar (11, Imagen 90).



Imagen 90: Ejemplos de escalas de grises.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

- En este paso hay que ajustar los controles de cada canal RGB (12) hasta que la apariencia del gris sea neutra. Para continuar hay que hacer clic en siguiente (Imagen 91).

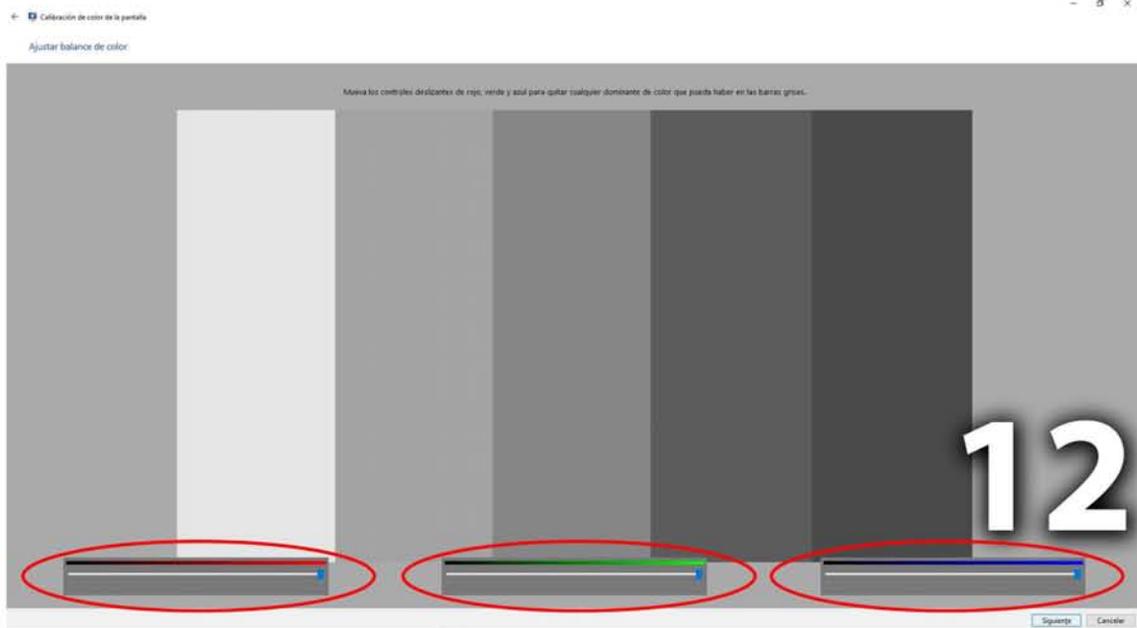


Imagen 91: Ajuste de los canales RGB.

- Aquí es posible comparar la calibración realizada con la configuración anterior haciendo “clic” en “Calibración anterior” y “Calibración actual”(13), si la calibración realizada es correcta hacer clic en finalizar, de lo contrario hacer clic en cancelar (Imagen 92).



Imagen 92: Comparación y confirmación de la calibración.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

1.2 Asistente del Calibrador de Pantalla en Apple con MacOS Sierra

Antes de realizar este paso asegúrese de que el monitor o pantalla ha estado encendido al menos media hora.

Al igual que “Calibrar color de la pantalla” en Windows, esta calibración puede ser de utilidad en campo, ya que no resulta práctico llevar a todos lados el dispositivo calibrador de pantallas “i1 Photo Pro 2” y tampoco es posible controlar las condiciones de iluminación en todo momento.

- En el escritorio ejecutar “Preferencias del sistema” Menú/Preferencias del sistema... (1, Imagen 93).



Imagen 93: Lanzar “Preferencias del sistema.”

- Hacer clic en el ícono de “Pantallas” (2, Imagen 94).



Imagen 94: Ajustes de “Pantallas”.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

- Hacer clic en el botón de “color” (3, Imagen 95).



Imagen 95: Comparación y confirmación de la calibración.

- Hacer clic en “Calibrar...” (4, Imagen 96). En este punto se puede seleccionar los distintos perfiles de calibración.



Imagen 96: Menú de calibraciones de la pantalla.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

- Sumario de la calibración, hacer clic en “Continuar” (5, Imagen 97).



Imagen 97: Menú de calibraciones de la pantalla.

- Selección del punto blanco: Es pertinente seleccionar un iluminante estándar (D50 o D65) si estamos trabajando con iluminación natural en interiores; utilizando la escala en grados Kelvin hay que tener presente que la luz de día (despejado) y la luz fluorescente rondan los 5000k, entre más nublado más azul será la luz, rondando los 6,500K a 10,000K, la luz de interiores con lámparas de halógeno es de aproximadamente 3000K. Otra opción es que la imagen del escritorio sea un color gris neutro y ajustar este valor hasta conseguirlo; para continuar hay que hacer clic en “Continuar” (6, Imagen 98).

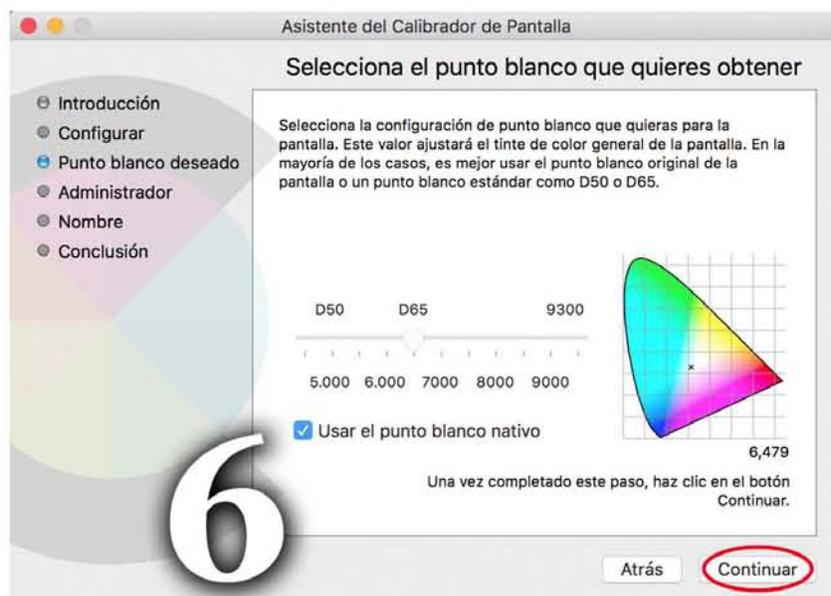


Imagen 98: Selección del punto blanco.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

- Configuración de uso compartido de perfiles de pantalla, en este caso, si se requiere compartir esta calibración con otros usuarios, habrá que activar la casilla (7) y hacer clic en “Continuar” (Imagen 99).

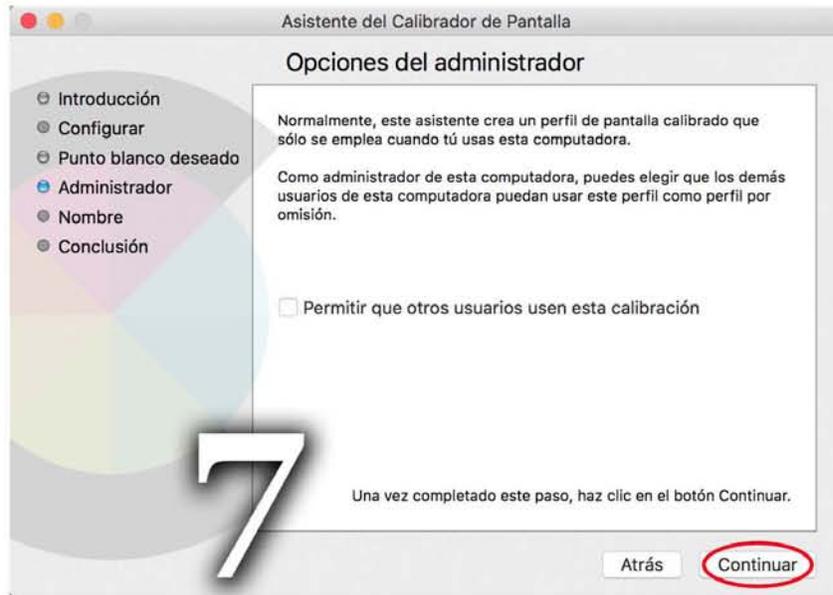


Imagen 99: Compartir perfil con otros usuarios.

- En este punto hay que asignar un nombre a la calibración (8) y hacer clic en “Continuar” (Imagen 100).

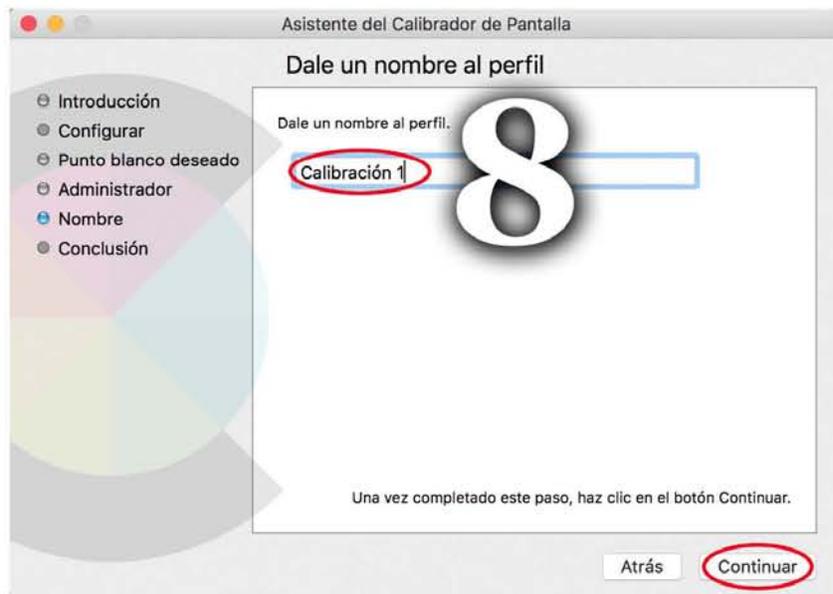


Imagen 100: Nombrado del perfil.

- Conclusión, muestra un resumen de la calibración e informa que la misma será utilizada como perfil por omisión de esta pantalla. Para finalizar hay que presionar “OK” (9, Imagen 101).

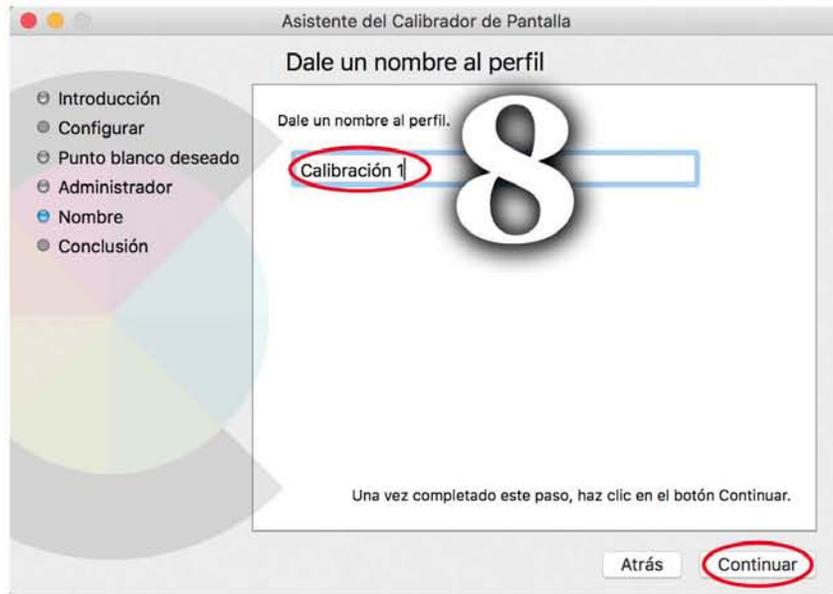


Imagen 101: Selección del punto blanco.

2. Pre visualización de la reflectografía visible V.S. imagen infrarroja de falso color

- Para hacer un primer enfrentamiento de la información de las reflectografías, se empleará Adobe Bridge. En este caso hay que abrir el programa y seleccionar la opción “TIRA DE DIAPOSITIVAS” (Imagen 102).

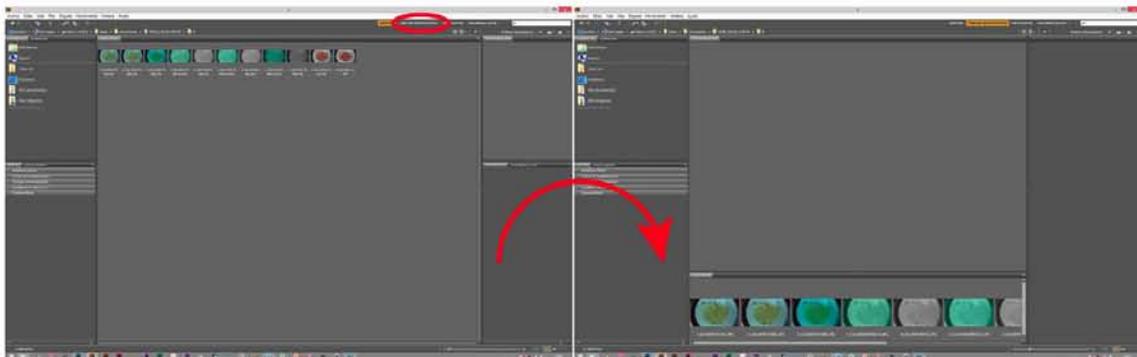


Imagen 102: Modo “Tira de diapositivas”.

- Para ganar mayor espacio de pre visualización hay que presionar la tecla de “tabulador” lo que esconderá los menús laterales de la interface (Imagen 103).

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR



Imagen 103: Maximizar área de pre visualización.

- Se puede desplazar la barra destacada en rojo para ajustar el área destinada a la pre visualización de los elementos seleccionados (A) y los archivos de la carpeta (B, Imagen 104).

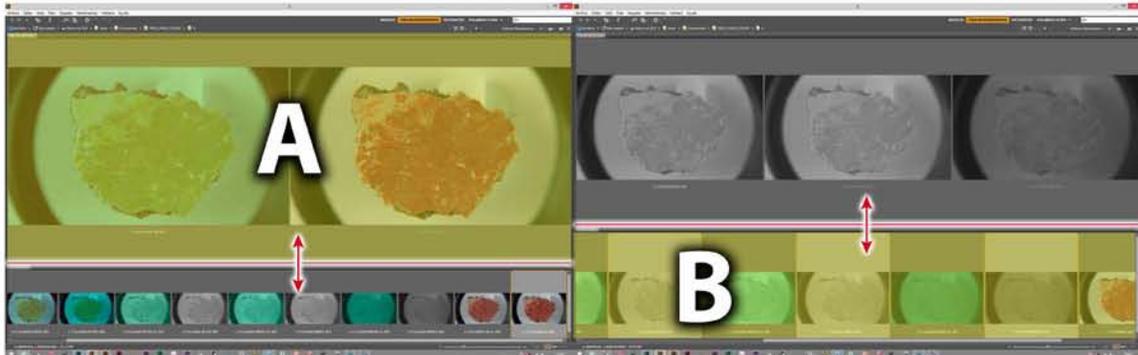


Imagen 104: Maximizar área de pre visualización.

- La interface cuenta con una lupa para apreciar mejor los detalles aumentando la visualización al 100%, esta herramienta se activa al hacer un clic sobre el área de visualización de los elementos seleccionados (siempre y cuando haya algún elemento seleccionado) y puede desplazarse sobre la imagen para magnificar las zonas de interés. Para cerrar esta herramienta hay que hacer clic sobre la "X", la cual puede estar en la esquina superior o inferior derecha de la herramienta. (Imagen 105).

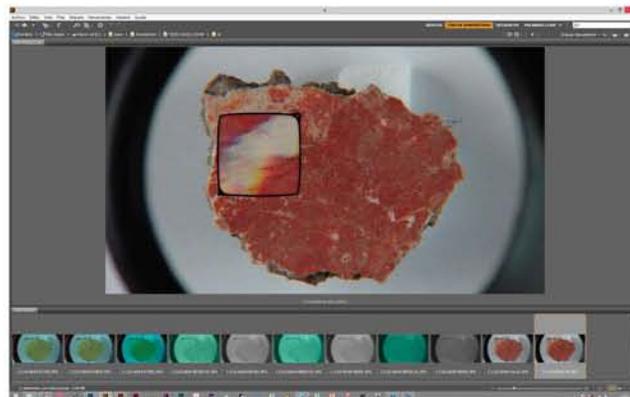


Imagen 105: Herramienta lupa.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

- Se pueden seleccionar archivos haciendo un clic sobre estos, para seleccionar elementos no consecutivos hay que mantener presionada la tecla de control “Ctrl” mientras se hace clic sobre los archivos; en este ejemplo podemos pre visualizar la reflectografía visible y la imagen infrarroja de falso color (Imagen 106). En este primer enfrentamiento podemos apreciar el cambio cromático y ubicar las zonas de interés para el muestreo.



Imagen 106: Confrontación de reflectografía visible e imagen infrarroja de falso color.

3. Muestreo y promediado de color

- Para hacer el muestreo primero necesitamos abrir las imágenes en Photoshop, seleccionamos en Bridge la reflectografía visible y la imagen infrarroja de falso color (Imagen 106) y presionamos “Enter”. Ya en Photoshop, seleccionar la reflectografía visible con “Ctrl+A”, copiar con “Ctrl+C” (1) y pegar encima de la imagen infrarroja de falso color con “Ctrl+V” (2, Imagen 107). Hay que cambiar los nombres de las capas a Visible y Falso Color respectivamente.

Lo anterior es para tener dos capas perfectamente alineadas dentro de una misma área de trabajo en Photoshop.

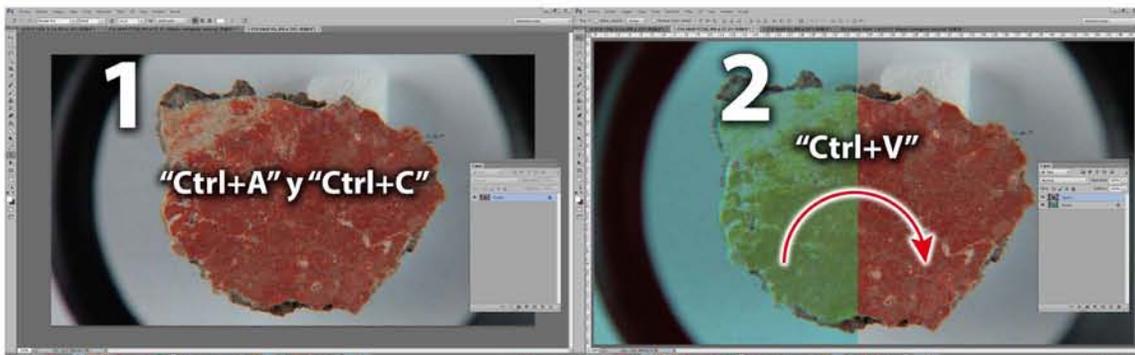


Imagen 107: Pegado de la reflectografía visible sobre la imagen infrarroja de falso color.

- Para hacer el muestreo hay que ubicar la zona de color que nos interesa analizar. Hay que tomar en cuenta que esta zona idealmente debe de contener únicamente un color en la medida de lo posible; aunque en ocasiones esto no será posible como en el ejemplo “3”, en el que

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

el estuco no está pintado uniformemente, habrá que tener en cuenta esto al momento de la interpretación de los resultados. El muestreo ideal es el que contiene el color más uniforme y saturado (entiéndase por saturado como la zona de mayor concentración de pigmento, colorante o laca).

Para hacer la selección del muestreo (Imagen 108) hay que utilizar la herramienta “lazo” (4) la cual puede activarse presionando la tecla “L”, hay que asegurarse que sea la herramienta “lazo”, ya que esta cuenta con otras dos opciones que son “lazo poligonal” y “lazo magnético”, pueden intercambiarse haciendo “clic sostenido” sobre el botón de la herramienta.

Una vez seleccionada la herramienta, se procede a trazar la muestra haciendo “clic sostenido” y desplazando el puntero hasta cerrar la forma de la muestra (5).

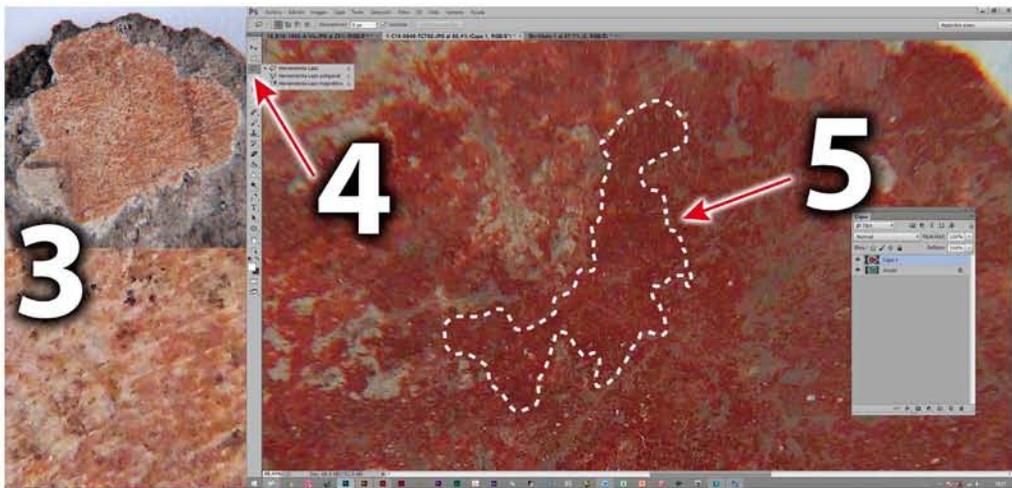


Imagen 108: Selección de la zona de muestreo.

- Con la selección activa, hacer una capa nueva con el nombre “MC” (Muestra de color) y el número de muestra “1”, rellenar con la herramienta “Balde de pintura” (6) y ocultar la capa; después se procede a promediar el color con el filtro “Promediar”, ubicado en Menú/Filtro/Desenfocar/Promediar. Tanto en la imagen visible como en la imagen infrarroja de falso color (7, Imagen 109).

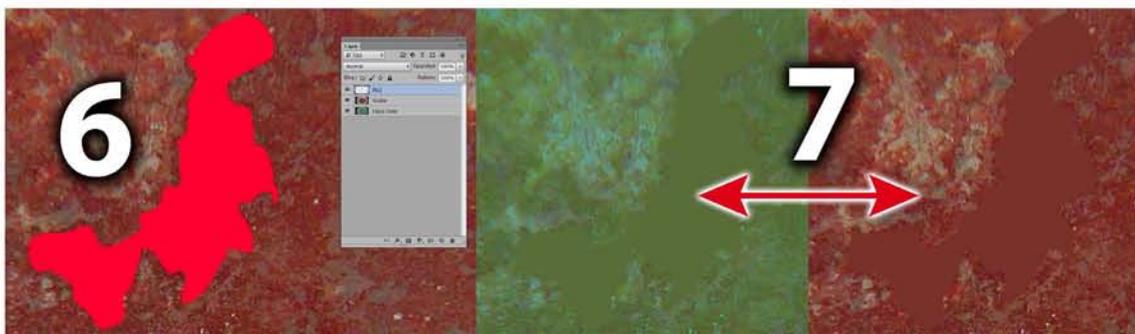


Imagen 109: Resultado del filtro “Promediar”.

4. Medición del color

- Para medir el color de la muestra (Imagen 110), hay que utilizar el panel “Selector de color”, el cual se activa haciendo “clic” en las muestras de color del panel de “Herramientas” (1).

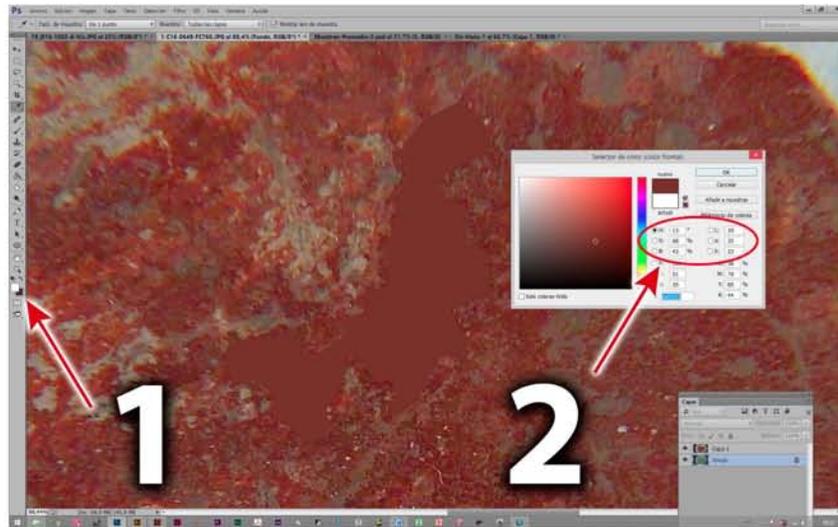


Imagen 110: Medición del color.

Estando activo el panel, desplazar el cursor (que ahora es un “gotero”) y hacer clic sobre la muestra de color promediada. Una vez hecho lo anterior, hay que capturar en una tabla de Excel los valores de los modelos LAB y HSB del panel (2, Imagen 110). Lo anterior se debe realizar para la muestra de la reflectografía visible y la de imagen infrarroja de falso color; para finalizar, hay que guardar el archivo con la terminación “promedio” y con un formato de Photoshop (.psd).

- Se seleccionó registrar la información del modelo LAB para poder comparar resultados con información de colorimetría, si es que se dispone de ella. El modelo HSB se emplea para el análisis comparativo de contraste cromático debido a que lo registra con parámetros perceptivos (matiz, saturación y luminosidad).

La captura de color debe hacerse de la siguiente manera, en la tabla de Excel hay que anotar el nombre de la muestra con un indicador del número de muestra, cambio de matiz perceptual, los valores HSV y LAB de la reflectografía visible así como de la imagen infrarroja falso color (Imagen 111).

	A1	Muestra	HSB Visible		LAB Visible		HSB Falso Color 760nm			LAB Falso Color 760nm				
			H	S	B	L	A	B	H	S	B	L	A	B
3	1-C16-0649-MC1	Café/Rojo-Verde/Amarillo	13	68	43	29	25	23	73	53	43	44	-12	30

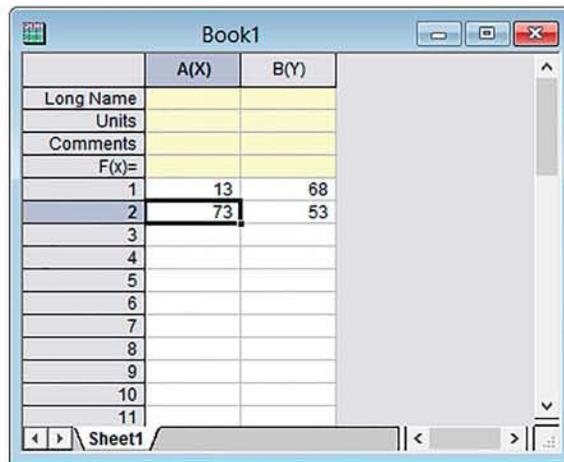
Imagen 111: Ejemplo de registro del color.

5. Graficación del color

Se graficarán los datos de matiz y saturación de las muestras de color visible y falso color. Lo anterior generará un gráfico representativo del contraste cromático, mismo que posibilitará el análisis comparativo entre dos o más contrastes.

Para realizar estas gráficas se seguirán los siguientes pasos y consideraciones:

- 5.1 Lanzar “Origin”, emplear el “Book” que genera predeterminadamente y colocar los datos de matiz en la columna “A(X)” y los de saturación en la columna “B(Y)” (Imagen 112).



	A(X)	B(Y)
Long Name		
Units		
Comments		
F(x)=		
1	13	68
2	73	53
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Imagen 112: Book.

- 5.2 Crear una nueva columna haciendo “clic derecho” al lado de la columna “B(Y)” y seleccionando “Add New Column” (Imagen 113).

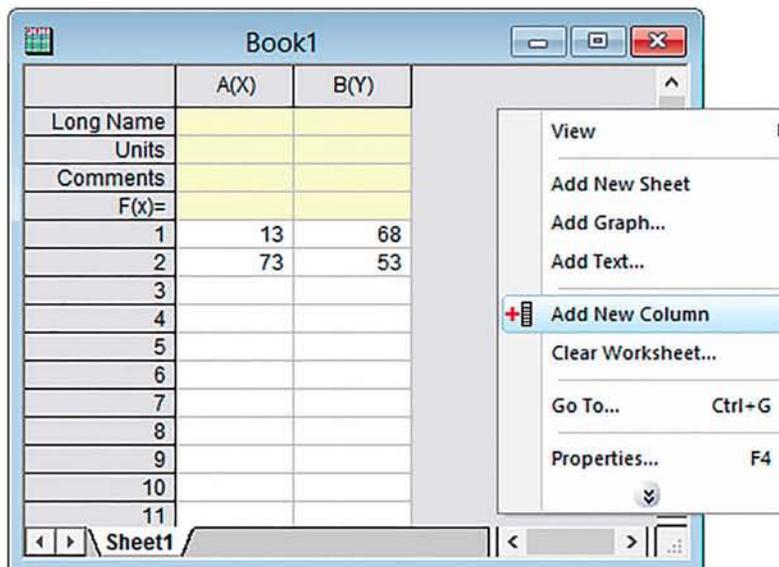
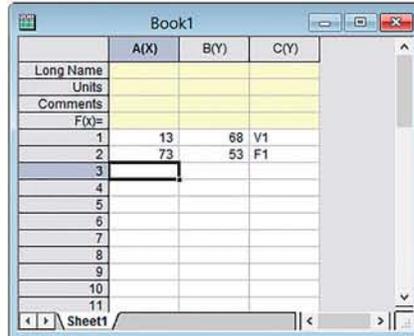


Imagen 113: Añadir nueva columna.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

- 5.3 En la columna “C(Y)” colocamos las etiquetas de la información correspondiente a la muestra de color, para visible será “V1” y para falso color será “F1” (Imagen 114).



	A(X)	B(Y)	C(Y)
Long Name			
Units			
Comments			
F(x)=			
1	13	68	V1
2	73	53	F1
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			

Imagen 114: Marcadores.

- 5.4 Seleccionar la columna “C(L)” y hacer “Clic derecho” sobre esta y seleccionar “Properties...” (Imagen 115).

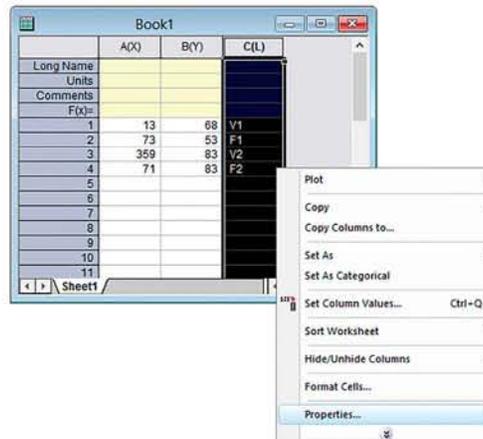


Imagen 115: Propiedades de columna.

- 5.4 Seleccionar la columna “C(L)” y hacer “Clic derecho” sobre esta y seleccionar “Properties...” (Imagen 115).

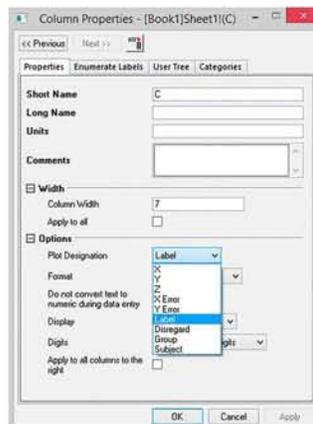


Imagen 116: Columna como etiqueta.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

5.6 Para graficar seleccionar los datos haciendo “clic sostenido” y arrastrando sobre las celdas (Imagen 117).

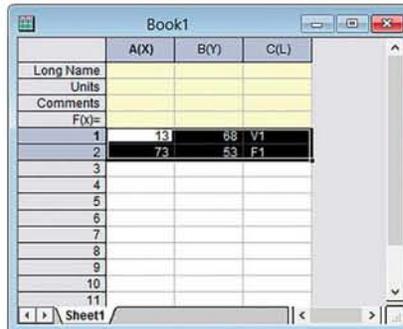


Imagen 117: Selección de los datos para graficar.

5.7 Hacer “clic derecho” sobre la selección y seleccionar la opción “Polar theta(X) r(Y)” en la siguiente ruta: Plot\Specialized\Polar theta(X) r(Y), para seleccionar el tipo de gráfica (Imagen 118).

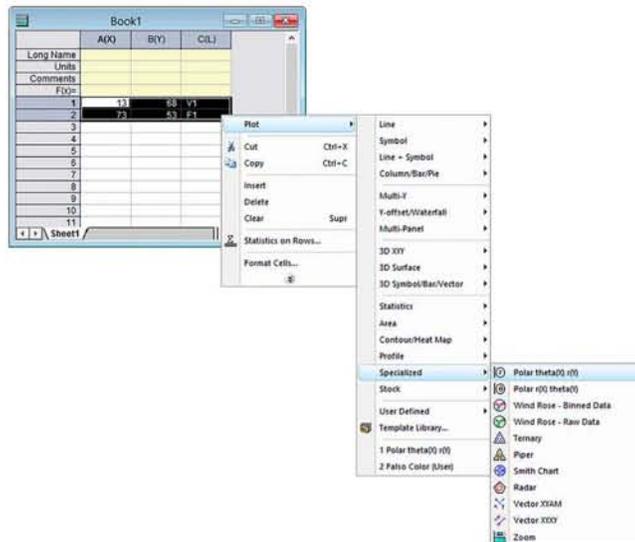
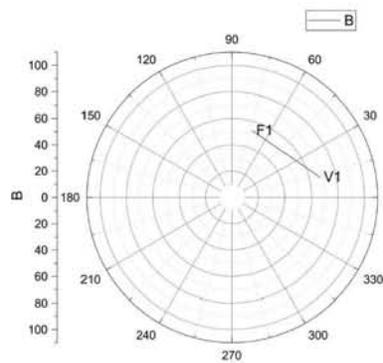


Imagen 118: Selección del tipo de gráfica.

5.8 Dará como resultado la siguiente gráfica (Gráfica 4).



Gráfica 4: Gráfica “Polar theta(X) r(Y)” .

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

5.9 Se recomienda personalizar la gráfica de la siguiente manera:

- Hacer “clic derecho sobre la línea de la gráfica” y seleccionar “Plot Details...” (Imagen 119).

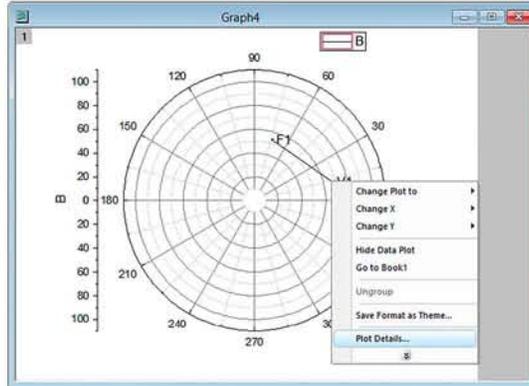


Imagen 119: “Plot Details...”.

- Seleccionar en “Plot Type” “Line+Symbol” (Imagen 120).

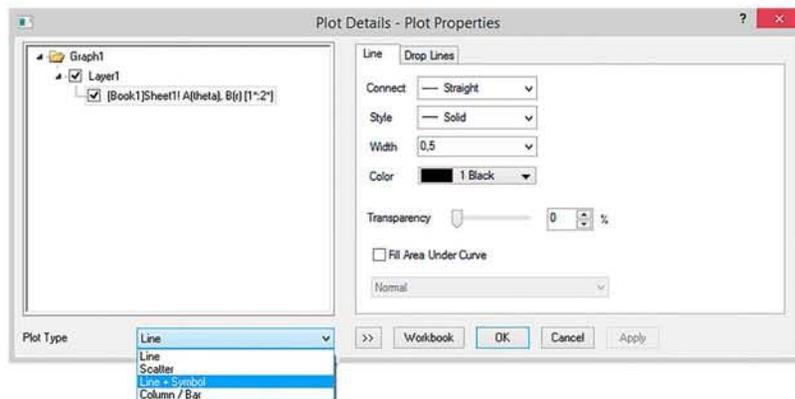


Imagen 120: “Plot Type”.

- Seleccionar en “Symbol” la forma que se desee, en este caso se utiliza el círculo y hacer “Clic” en “OK” (Imagen 121).

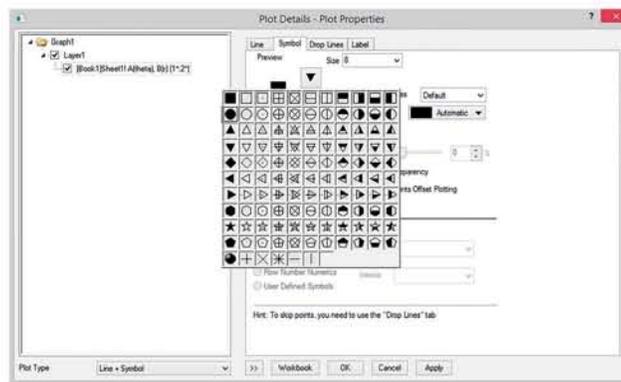
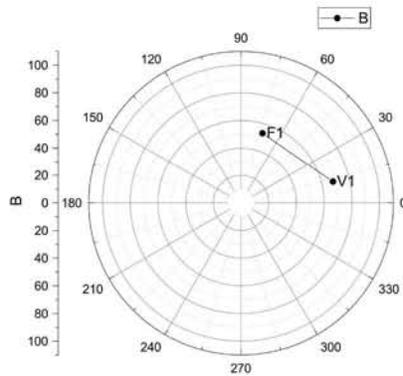


Imagen 121: “Symbol”.

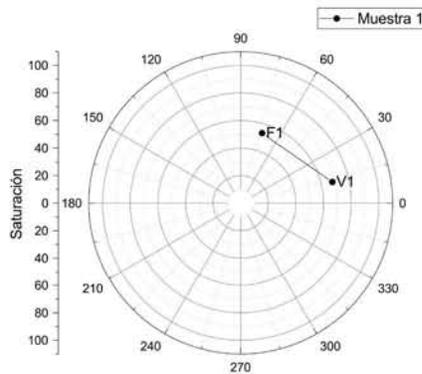
METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

- La gráfica tendrá el siguiente aspecto (Gráfica 5):



Gráfica 5: “Personalización de gráfica”.

- Se edita la información “B” haciendo clic sobre el texto, estableciendo la escala de la saturación y el nombre descriptivo de los datos graficados (Gráfica 6).



Gráfica 6: “Acotación de gráfica”.

5.10 Para hacer el análisis comparativo de dos muestras:

- Se procede a capturar los datos de la segunda muestra en el “book” actual (Imagen 122).

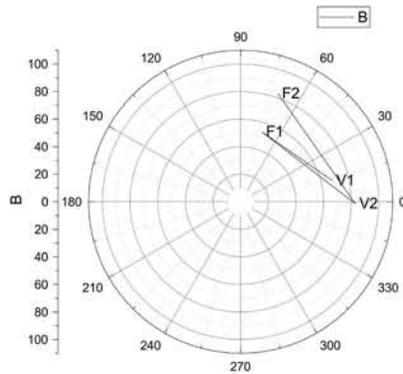
Imagen 122: Captura de datos. Una captura de pantalla de un libro de trabajo de Excel con una tabla de datos.

	A(X)	B(Y)	C(Y)
Long Name			
Units			
Comments			
F(x)=			
1	13	68	V1
2	73	53	F1
3	359	83	V2
4	71	83	F2
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			

Imagen 122: “Captura de datos”.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

- Si se grafican los datos seleccionándolos todos juntos quedará la gráfica de la siguiente manera (Gráfica 7):



Gráfica 7: "Graficación conjunta de datos".

- Para evitar que toda la información se junte en una sola línea, se establecen conjuntos de datos presionando "Ctrl" y haciendo "clic sostenido" y arrastrando sobre el primer conjunto, soltar el "clic" sin dejar de presionar "Ctrl" y continuar la selección del segundo conjunto. Finalizando la selección soltar el "clic sostenido" y dejar de presionar la tecla "Ctrl" (Imagen 123).

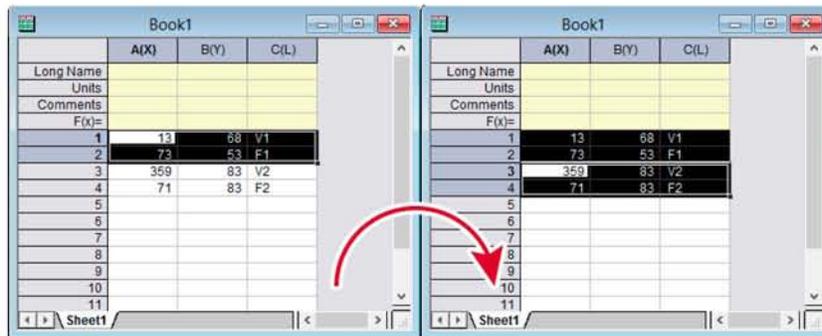
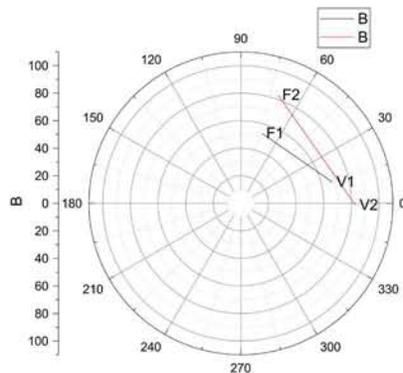


Imagen 123: "Selección de datos por grupos".

- Una vez seleccionada la información se grafican los datos, mismos que quedarán de la siguiente manera:



Gráfica 8: "Graficación de datos por grupos".

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

5.11 Para personalizar la gráfica del análisis comparativo de dos muestras:

- Hacer “clic derecho sobre alguna de las líneas de la gráfica” y seleccionar “Plot Details...” (Imagen 124).

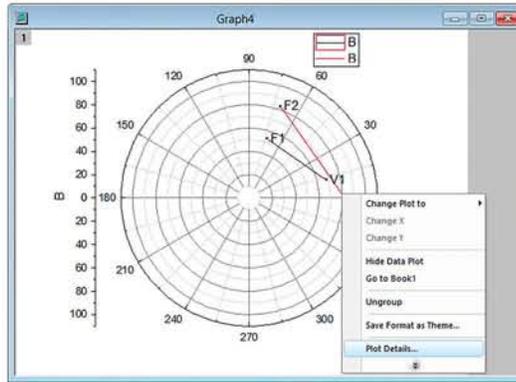


Imagen 124: “Plot Details...”.

- Seleccionar en “Plot Type” la opción de “Line+Symbol” (Imagen 125).

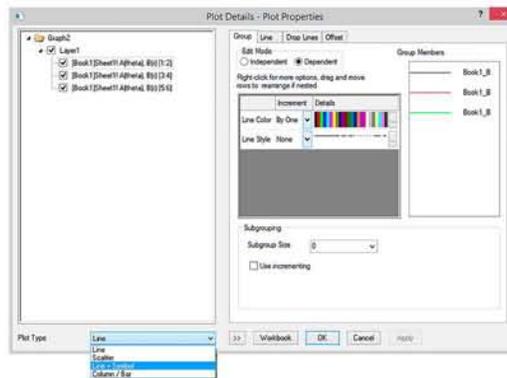


Imagen 125: “Plot Type”.

- Seleccionar en “Group” en el apartado “Symbol Type” la opción “None”, para que el símbolo sea el mismo en todos los puntos; y en “Line Color” seleccionar “By One” para asigne distintos colores (Imagen 126).

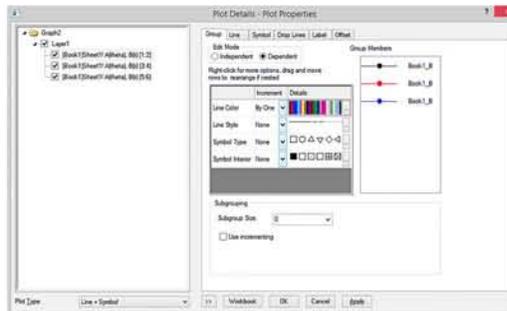


Imagen 126: “Group”.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

- En “Symbol” seleccionar en el apartado “Shape” la forma del punto, en este caso se opta por “2 Circle”, en “Interior” seleccionar “Solid” y hacer “Clic” en “OK” (Imagen 127).

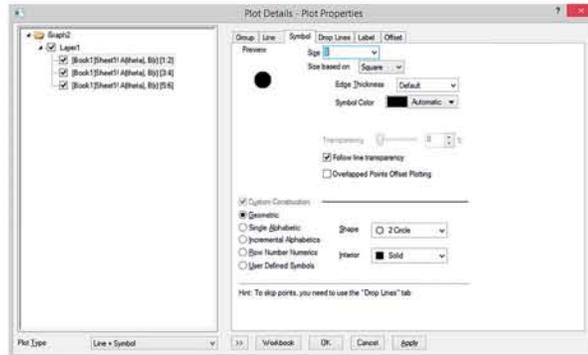
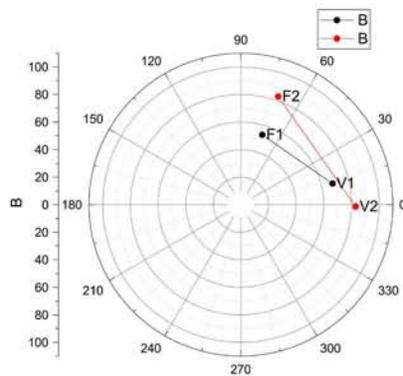


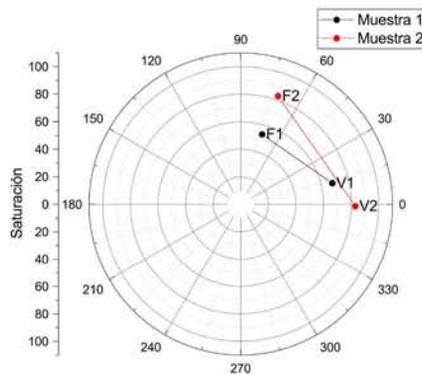
Imagen 127: “Symbol”.

- La gráfica queda de la siguiente manera (Gráfica 9):



Gráfica 9: “Personalización de gráfica”.

- Se edita la información “B” haciendo clic sobre el texto, estableciendo la escala de la saturación y el nombre descriptivo de los datos graficados (Gráfica 10).



Gráfica 10: “Acotación de gráfica”.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

5.12 Ajustes en la diagramación y en la escala de las gráficas.

- En ocasiones las gráficas pueden tener la escala con amplios intervalos o mostrarse solo una sección del círculo polar (Imagen 128), para evitar esto se puede hacer doble clic sobre la línea de la circunferencia y en el apartado "Angular Axes"/ "Scale" colocar en "From" 0 (cero), y en "To" 100; y en "Radial Axes"/ "Scale" (Imagen 129), al finalizar hacer "clic" en "Apply".

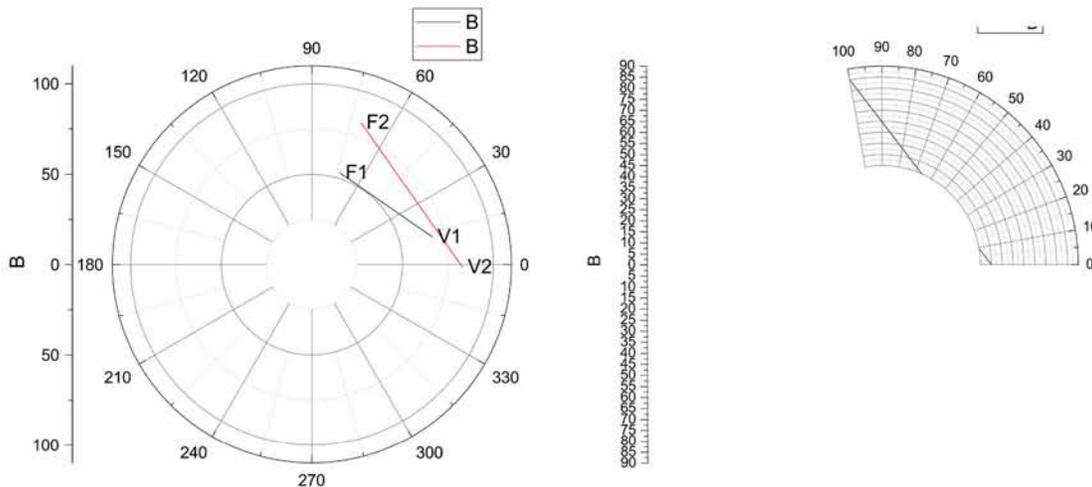


Imagen 128: "Intervalos amplios y círculo polar seccionado".

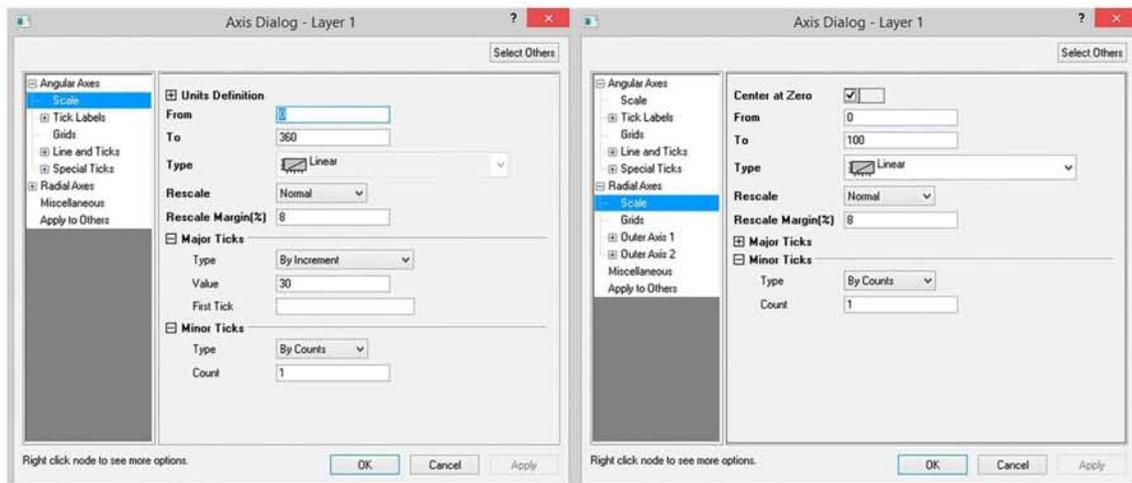


Imagen 129: "Ajustes de escala en la gráfica polar".

Etapa 5 Interpretación de resultados

Llegando a esta etapa metodológica ya se debe disponer de la siguiente información:

- Delimitación del objeto de estudio: Esto nos permite una primera aproximación a la caracterización material, es posible que se conozca el tipo de material (pigmento, colorante o laca), la técnica implementada (teñido, fresco, pintura al óleo, etc.), época de fabricación o manufactura, materiales de referencia y bases de datos disponibles.
- Reflectografías visibles e infrarrojas: Se ha realizado la adquisición de las reflectografías, retratando las áreas de análisis deseadas, posibles o disponibles.
- Imágenes visibles y de falso color procesadas: Se han generado y aplicado los perfiles de color, la gestión de este y se han realizado las imágenes infrarrojas de falso color.
- Muestreo y promediado de color: Se han estudiado las reflectografías visibles y las imágenes infrarrojas de falso color, haciendo los muestreos de color con sus medidas correspondientes.

Hasta ahora el tipo de resultados que se han logrado conseguir con esta metodología son los siguientes:

1. Obtención de datos colorimétricos en materiales de referencia.
2. Asociación de composición en común entre dos o más muestras sin caracterización del material.
3. Caracterización del material por confrontación de información empleando datos obtenidos de materiales de referencia directamente comparables*.
4. Determinación de tendencias de composición por confrontación de información empleando datos obtenidos de materiales de referencia indirectamente comparables**.
5. Caracterización del material por confrontación de información empleando datos obtenidos de materiales caracterizados por técnicas espectroscópicas.
6. Asociación de composición en común entre dos o más muestras con distintos grados de preservación de color.

* Directamente comparable: Se refiere a que tanto los materiales y la manufactura del objeto estudio, así como la manufactura y materiales de los objetos de referencia, es idéntica.

** Indirectamente comparable: Se refiere a que la manufactura del objeto de estudio y el material de referencia puede ser diferente; y a que los materiales empleados para la elaboración del objeto de estudio y de referencia, pueden ser diferentes, pero tienen componentes en común.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

1. Matiz de intervalo

Cabe señalar que ha resultado práctico organizar por intervalos la información de matiz obtenida del modelo HSB ó HSV, esto ha sido denominado como “Matiz de intervalo” (Tabla 5) y se asignará de acuerdo a lo siguiente:

Tabla 5: Matiz de intervalo.

Ángulo	Matiz	Intervalo
0°, 360°	Rojo (RGB)	353°-7°
15°	Rojo-Naranja	8°-22°
30°	Naranja	23°-37°
45°	Naranja-Amarillo	38°-52°
60°	Amarillo	53°-67°
75°	Amarillo-Verde	68°-82°
90°	Verde-Amarillo	83°-97°
120°	Verde (RGB)	98°-142°
150°	Verde-Cian	143°-157°
165°	Cian-Verde	158°-172°
180°	Cian	173°-187°
195°	Celeste-Cian	188°-202°
210°	Celeste	203°-217°
225°	Celeste-Azul	218°-232°
240°	Azul (RGB)	233°-247°
255°	Azul-Morado	248°-262°
270°	Morado	263°-277°
285°	Morado-Magenta	278°-292°
300°	Magenta	293°-307°
315	Magenta-Rosa	308°-322°
330°	Rosa	323°-337°
345°	Rosa-Rojo	338°-352°

En Excel es posible emplear una función de “SI” que nos ayude a asignar el matiz de intervalo, por ejemplo:

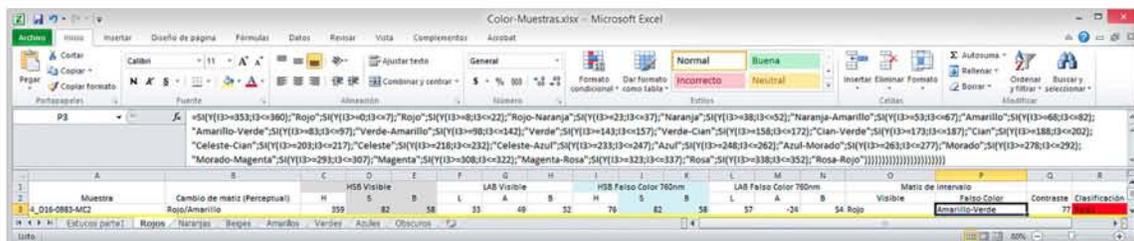


Imagen 130: Función “SI” en Excel, para asignar el matiz de intervalo.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

A continuación se muestra la programación de esta función, en el caso de que la información de matiz se encuentre en la columna “Y” y en la línea “3”.

```
=SI(Y(I3 >= 353;I3 <= 360);"Rojo";SI(Y(I3 >= 0;I3 <= 7);"Rojo";SI(Y(I3 >= 8;I3 <= 22);"Rojo-Naranja";SI(Y(I3 >= 23;I3 <= 37);"Naranja";SI(Y(I3 >= 38;I3 <= 52);"Naranja-Amarillo";SI(Y(I3 >= 53;I3 <= 67);"Amarillo";SI(Y(I3 >= 68;I3 <= 82);"Amarillo-Verde";SI(Y(I3 >= 83;I3 <= 97);"Verde-Amarillo";SI(Y(I3 >= 98;I3 <= 142);"Verde";SI(Y(I3 >= 143;I3 <= 157);"Verde-Cian";SI(Y(I3 >= 158;I3 <= 172);"Cian-Verde";SI(Y(I3 >= 173;I3 <= 187);"Cian";SI(Y(I3 >= 188;I3 <= 202);"Celeste-Cian";SI(Y(I3 >= 203;I3 <= 217);"Celeste";SI(Y(I3 >= 218;I3 <= 232);"Celeste-Azul";SI(Y(I3 >= 233;I3 <= 247);"Azul";SI(Y(I3 >= 248;I3 <= 262);"Azul-Morado";SI(Y(I3 >= 263;I3 <= 277);"Morado";SI(Y(I3 >= 278;I3 <= 292);"Morado-Magenta";SI(Y(I3 >= 293;I3 <= 307);"Magenta";SI(Y(I3 >= 308;I3 <= 322);"Magenta-Rosa";SI(Y(I3 >= 323;I3 <= 337);"Rosa";SI(Y(I3 >= 338;I3 <= 352);"Rosa-Rojo"))))))))))))))))))))))))))))
```

Cabe señalar que ésta programación está realizada para números enteros debido a que el selector de Photoshop arroja valores con ésta característica, en ocasiones se dispone de información colorimétrica que incorpora datos con decimales, por lo que hay que ajustar los intervalos tomando en cuenta la cantidad de decimales que se empleen.

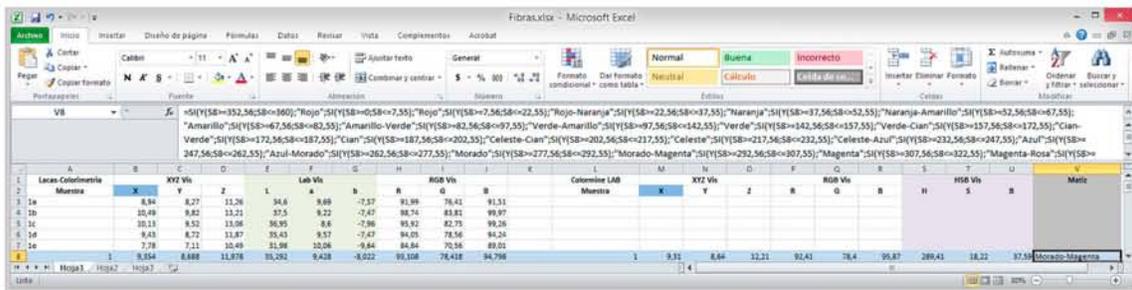


Imagen 131: Función “SI” en Excel, para asignar el matiz de intervalo, con dos decimales.

A continuación se muestra la programación de esta función, en el caso de que la información de matiz incorpore dos decimales, se encuentre en la columna “S” y en la línea “8”.

```
=SI(Y(S8 >= 352,56;S8 <= 360);"Rojo";SI(Y(S8 >= 0;S8 <= 7,55);"Rojo";SI(Y(S8 >= 7,56;S8 <= 22,55);"Rojo-Naranja";SI(Y(S8 >= 22,56;S8 <= 37,55);"Naranja";SI(Y(S8 >= 37,56;S8 <= 52,55);"Naranja-Amarillo";SI(Y(S8 >= 52,56;S8 <= 67,55);"Amarillo";SI(Y(S8 >= 67,56;S8 <= 82,55);"Amarillo-Verde";SI(Y(S8 >= 82,56;S8 <= 97,55);"Verde-Amarillo";SI(Y(S8 >= 97,56;S8 <= 142,55);"Verde";SI(Y(S8 >= 142,56;S8 <= 157,55);"Verde-Cian";SI(Y(S8 >= 157,56;S8 <= 172,55);"Cian-Verde";SI(Y(S8 >= 172,56;S8 <= 187,55);"Cian";SI(Y(S8 >= 187,56;S8 <= 202,55);"Celeste-Cian";SI(Y(S8 >= 202,56;S8 <= 217,55);"Celeste";SI(Y(S8 >= 217,56;S8 <= 232,55);"Celeste-Azul";SI(Y(S8 >= 232,56;S8 <= 247,55);"Azul";SI(Y(S8 >= 247,56;S8 <= 262,55);"Azul-Morado";SI(Y(S8 >= 262,56;S8 <= 277,55);"Morado";SI(Y(S8 >= 277,56;S8 <= 292,55);"Morado-Magenta";SI(Y(S8 >= 292,56;S8 <= 307,55);"Magenta";SI(Y(S8 >= 307,56;S8 <= 322,55);"Magenta-Rosa";SI(Y(S8 >= 322,56;S8 <= 337,55);"Rosa";SI(Y(S8 >= 337,56;S8 <= 352,55);"Rosa-Rojo"))))))))))))))))))))))))
```

2. Calculo del contraste de saturación y brillo

Recordando que el color posee tres cualidades que son el matiz, la saturación y el brillo; y que el contraste es la variación de éstas características entre los colores, es posible calcular el contraste con la diferencia de éstas.

Esta metodología emplea el modelo HSB ó HSV, debido a que cuantifica las cualidades del color. El brillo y la saturación están medidos en porcentajes, por lo que resulta sencillo calcular el contraste de estas dos cualidades restando el de menor valor al de mayor valor.

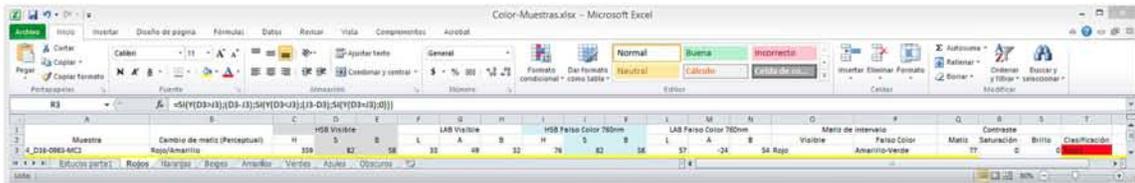


Imagen 132: Función “SI” en Excel, para cuantificar el contraste de saturación y brillo.

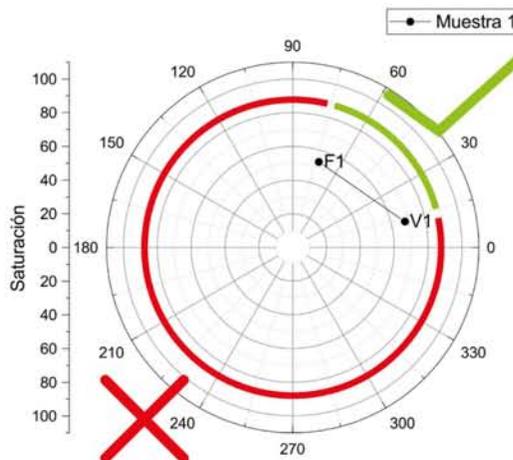
La función para calcular el contraste de saturación y de brillo; en el caso de que los datos estén en las columnas “D” y “J”, así como en la línea 3, es la siguiente:

$$=SI(Y(D3>J3);(D3-J3);SI(Y(D3<J3);(J3-D3);SI(Y(D3=J3);0)))$$

3. Calculo del contraste de matiz

Calcular el contraste del matiz resulta un poco más complicado que el de brillo y saturación, debido a que la información está organizada en un círculo cromático (Grados), donde los principales matices se describen en la tabla 5.

Para cuantificar el contraste es necesario calcular la diferencia en grados más corta entre los dos valores (Gráfica 11).



Gráfica 11: Calculo del contraste de matiz.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

Se puede programar una función que calcule el contraste siempre por el lado más corto de la circunferencia en el caso de que los datos se encuentren en las columnas “C” e “I”, en la fila 3 (Imagen 133).

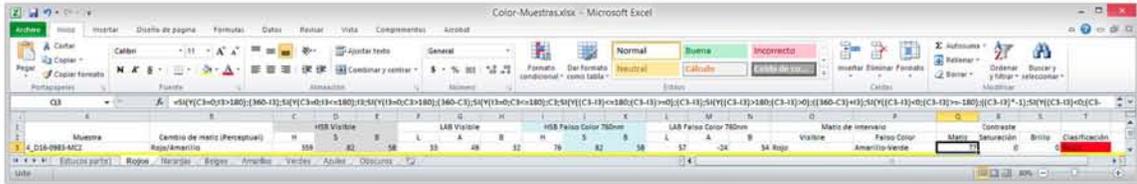


Imagen 133: Función “SI” en Excel, para cuantificar el contraste de matiz.

La función que se implementó fue la siguiente:

$$=SI(Y(C3=0;I3>180);(360-I3);SI(Y(C3=0;I3<=180);I3;SI(Y(I3=0;C3>180);(360-C3);SI(Y(I3=0;C3<=180);C3;SI(Y((C3-I3)<=180;(C3-I3)>=0);(C3-I3);SI(Y((C3-I3)>-180;(C3-I3)>0);((360-C3)+I3);SI(Y((C3-I3)<0;(C3-I3)>=-180);((C3-I3)*-1);SI(Y((C3-I3)<0;(C3-I3)<-180);((360-I3)+C3)))))))))$$

4. Registro del matiz, saturación y luminosidad

Se realizó un experimento registrando unos patrones estándares de color, de marca Labsphere, con la cámara e iluminación del instrumental modificando el brillo de la captura (Es el ajuste que controla la exposición); estos patrones son en color Rojo, Verde, Blanco, Amarillo y Azul. Se registraron en cinco tomas distintas, las tomas uno y dos están con un ajuste de brillo bajo (Sub exposición), la toma tres corresponde a una exposición automática y las imágenes cuatro y cinco corresponden a un ajuste de brillo alta (Sobre exposición, Imagen 134).

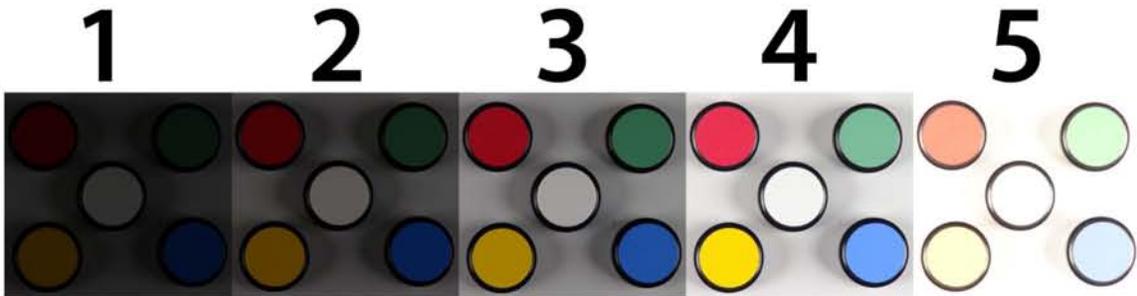


Imagen 134: Registro de patrones de color a modificando el brillo.

Posteriormente se realizó un muestreo y promediado de los colores obteniendo los siguientes resultados:

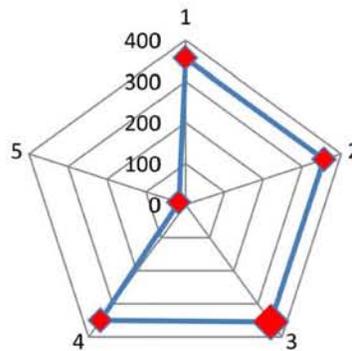
En el patrón rojo se obtuvieron los siguientes datos (Tabla 6):

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

Tabla 6: Datos colorimétricos del patrón rojo.

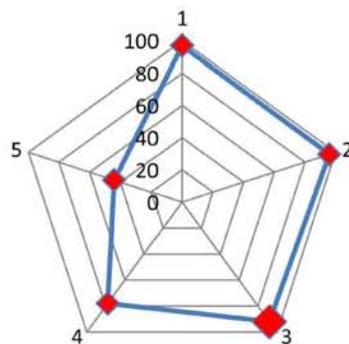
Muestra	HSB Visible			LAB Visible			RGB Visible			Matiz de Intervalo
	H	S	B	L	A	B	R	G	B	Visible
Rojo 1	356	97	13	3	14	4	34	1	3	Rojo
Rojo 2	356	96	27	12	31	16	69	3	7	Rojo
Rojo 3	354	92	56	30	51	33	142	11	23	Rojo
Rojo 4	350	78	92	53	70	29	235	52	83	Rosa-Rojo
Rojo 5	17	44	99	78	28	29	254	173	142	Rojo-Naranja

En el caso del patrón de color rojo, podemos apreciar que el matiz (H) presenta valores similares hasta el punto en que se aumenta demasiado este ajuste en la cámara (Punto 5), en la gráfica 12 se destaca en tamaño la muestra retratada con ajustes de brillo automático.



Gráfica 12: Comportamiento del matiz en el patrón rojo.

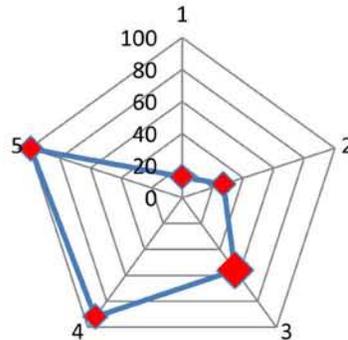
La saturación disminuye considerablemente al aumentar el brillo, en la gráfica 13 se destaca en tamaño la muestra retratada con ajustes de brillo automático.



Gráfica 13: Comportamiento de la saturación en el patrón rojo.

En cuanto al brillo, aumenta en tanto se aumentan los valores de este ajuste, en la gráfica 14 se destaca en tamaño la muestra retratada con ajustes de brillo automático.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR



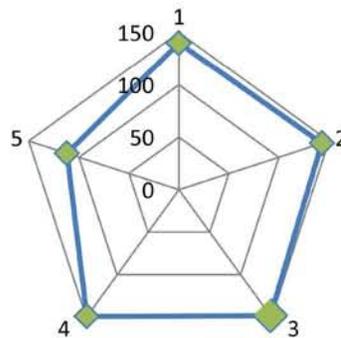
Gráfica 14: Comportamiento del brillo en el patrón rojo.

Del patrón verde se obtuvieron los siguientes datos (Tabla 7):

Tabla 7: Datos colorimétricos del patrón verde.

Muestra	HSB Visible			LAB Visible			RGB Visible			Matiz de Intervalo
	H	S	B	L	A	B	R	G	B	Visible
Verde 1	140	60	8	5	-5	3	8	20	12	Verde
Verde 2	143	57	16	14	-13	6	143	57	16	Verde-Cian
Verde 3	148	54	38	37	-24	10	45	97	69	Verde-Cian
Verde 4	149	34	73	71	-26	10	124	187	154	Verde-Cian
Verde 5	112	15	100	97	-16	15	222	255	217	Verde

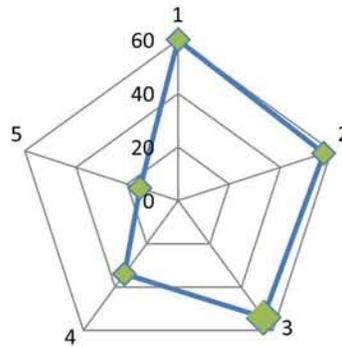
El comportamiento que tuvo el patrón verde con respecto al matiz, es similar entre las muestras 1 y dos, así como en las 3 y 4. En el segundo paso de sobre exposición se modifica este valor considerablemente, en la gráfica 15 se destaca en tamaño la muestra retratada con ajustes de brillo automático.



Gráfica 15: Comportamiento del matiz en el patrón Verde.

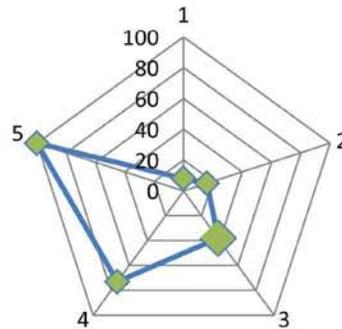
La saturación del patrón verde, presenta valores similares hasta el segundo incremento en el brillo, momento en el que comienza a disminuir, en la gráfica 16 se destaca en tamaño la muestra retratada con ajustes de brillo automático.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR



Gráfica 16: Comportamiento de la saturación en el patrón Verde.

El Brillo fue aumentando a medida que se incrementó este ajuste en la cámara, en la gráfica 17 se destaca en tamaño la muestra retratada con ajustes de brillo automático.



Gráfica 17: Comportamiento del brillo en el patrón Verde.

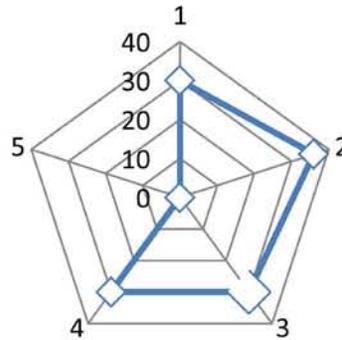
El patrón Blanco arrojó los siguientes datos (Tabla 8):

Tabla 8: Datos colorimétricos del patrón Blanco.

Muestra	HSB Visible			LAB Visible			RGB Visible			Matiz de Intervalo
	H	S	B	L	A	B	R	G	B	Visible
Blanco 1	30	4	19	19	0	1	48	47	46	Naranja
Blanco 2	36	6	35	38	0	2	90	88	85	Naranja
Blanco 3	30	3	62	64	0	1	157	155	153	Naranja
Blanco 4	30	1	95	95	0	1	242	241	240	Naranja
Blanco 5	0	0	100	100	0	0	255	255	255	Rojo

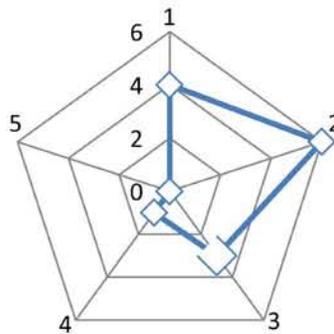
METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

El comportamiento del matiz en el color blanco, presenta valores similares, hasta que se incrementa una segunda vez el brillo, en la gráfica 18 se destaca en tamaño la muestra retratada con ajustes de brillo automático.



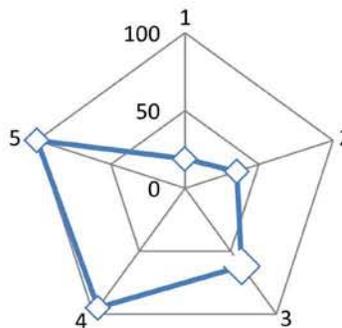
Gráfica 18: Comportamiento del matiz en el patrón Blanco.

El comportamiento de la saturación presenta valores similares, por debajo del 7%, en la gráfica 19 se destaca en tamaño la muestra retratada con ajustes de brillo automático.



Gráfica 19: Comportamiento de la saturación en el patrón Blanco.

El brillo del el patrón blanco aumentó en la medida que se incrementó este el ajuste en la cámara, en la gráfica 20 se destaca en tamaño la muestra retratada con ajustes de brillo automático.



Gráfica 20: Comportamiento del brillo en el patrón Blanco.

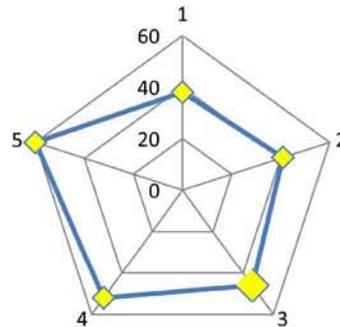
METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

Del patrón amarillo se obtuvieron los siguientes datos (Tabla 9):

Tabla 9: Datos colorimétricos del patrón Amarillo.

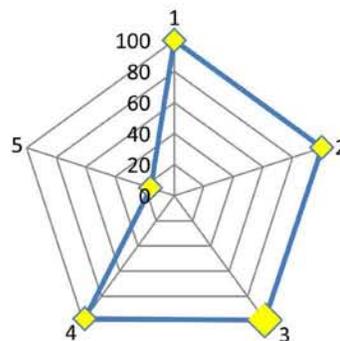
Muestra	HSB Visible			LAB Visible			RGB Visible			Matiz de Intervalo
	H	S	B	L	A	B	R	G	B	Visible
Amarillo 1	38	100	20	14	6	21	50	32	0	Naranja-Amarillo
amarillo 2	41	100	36	29	10	39	93	63	0	Naranja-Amarillo
Amarillo 3	46	99	65	56	8	61	166	128	1	Naranja-Amarillo
Amarillo 4	52	98	99	89	-1	87	253	222	6	Naranja-Amarillo
Amarillo 5	60	16	100	99	-5	20	255	255	213	Amarillo

El matiz del patrón amarillo presenta valores similares hasta que se incrementa el brillo, en la gráfica 21 se destaca en tamaño la muestra retratada con ajustes de brillo automático.



Gráfica 21: Comportamiento del matiz en el patrón Amarillo.

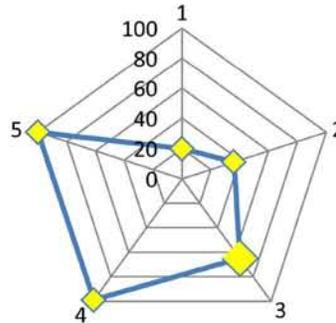
La saturación en el patrón amarillo presenta valores similares hasta que se aumenta el brillo los ajustes de la cámara, lo que disminuye esta, en la gráfica 22 se destaca en tamaño la muestra retratada con ajustes de brillo automático.



Gráfica 22: Comportamiento de la saturación en el patrón Amarillo.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

En el patrón blanco, el brillo aumenta en la medida de que este ajuste se incrementa en la cámara, en la gráfica 23 se destaca en tamaño la muestra retratada con ajustes de brillo automático.



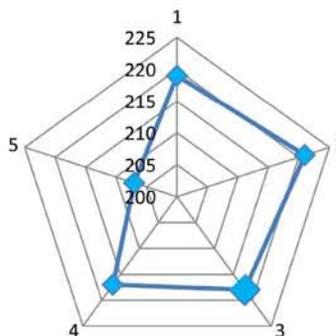
Gráfica 23: Comportamiento del brillo en el patrón Amarillo.

El patrón Azul arrojó los siguientes datos (Tabla 10):

Tabla 10: Datos colorimétricos del patrón Azul.

Muestra	HSB Visible			LAB Visible			RGB Visible			Matiz de Intervalo
	H	S	B	L	A	B	R	G	B	Visible
Azul 1	219	93	16	5	2	-18	3	16	41	Celeste-Azul
Azul 2	221	91	32	13	8	-34	7	31	81	Celeste-Azul
Azul 3	218	80	62	33	8	-50	31	77	158	Celeste-Azul
Azul 4	217	57	99	66	1	-50	109	164	252	Celeste
Azul 5	207	13	100	94	-4	-9	222	240	255	Celeste

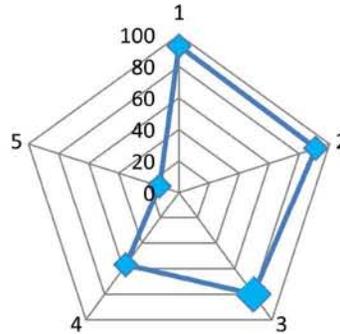
El matiz en el patrón azul presenta valores similares hasta que se aumenta el brillo en los ajustes de la cámara, en la gráfica 24 se destaca en tamaño la muestra retratada con ajustes de brillo automático.



Gráfica 24: Comportamiento del matiz en el patrón Azul.

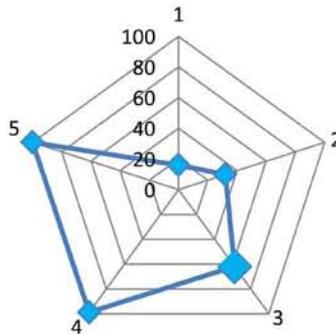
METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

La saturación del patrón azul presenta valores similares hasta que se aumenta el brillo en los ajustes de la cámara, razón por la que este disminuye, en la gráfica 25 se destaca en tamaño la muestra retratada con ajustes de brillo automático.



Gráfica 25: Comportamiento de la saturación en el patrón Azul.

El brillo del patrón azul va aumentando en la medida de que se incrementa este ajuste en la cámara, en la gráfica 26 se destaca en tamaño la muestra con ajustes de brillo automático.



Gráfica 26: Comportamiento de la saturación en el patrón Azul.

Los datos de este experimento se interpretan como:

- La captura del matiz se ve afectada con la sobreexposición, puede hacerlo variar casi 30 grados.
- El brillo está directamente relacionado con la exposición.
- La saturación se ve afectada con la sobreexposición, lo que hace que llegue a disminuir más de un 60%.
- El modelo HSB ó HSV es bueno para arrojar información sobre colores “cromáticos”, por otra parte los colores que presentan matices neutros (Blanco, negro y gris), siempre les asigna un matiz que tiene un comportamiento constante hasta que se sobreexpone.
- El matiz de intervalo resulta de utilidad ya que puede hacer grupos de muestras, se pudo observar en este experimento que el esta agrupación no se modifica. soportar un paso de sub-exposición sin variar esta información, pero que será afectado con la sobreexposición.

5. Interpretación del contraste en el matiz, saturación y luminosidad

Para interpretar los cálculos del contraste de matiz, es pertinente recordar que:

- El matiz depende directamente de la longitud de onda de la luz.
- El color depende de las propiedades ópticas de la materia, y estas a su vez dependen de su composición (Por lo que absorben y reflejan la radiación con longitudes de onda características).
- El color que se está analizando proviene del registro de la interacción de la luz y la radiación infrarroja con la materia.
- El registro del brillo se ve afectado directamente por la exposición y la intensidad de la luz.
- El registro de la saturación también resulta afectado por la exposición y la intensidad de la luz.
- El matiz es el que se ve menos afectado por las variaciones en la exposición y en la intensidad de la luz.
- La característica principal de la imagen infrarroja de falso color es el cambio de los matices en la imagen (Lo anterior se debe a un corrimiento intencional de la detección de energía electromagnética, en el que se sacrifica una parte del espectro visible para poder apreciar parte del espectro de infrarrojo cercano).

Por lo anterior se propone que el matiz es la cualidad del color que guarda una mayor relación con la composición de la materia en comparación del brillo y la saturación. Por lo que el contraste de matiz será el que nos ayude a asociar la composición de los materiales.

La saturación depende de factores como la conservación del color, los procesos de envejecimiento y la concentración de los materiales colorantes o pigmentantes; su registro depende de la intensidad de la luz y de los ajustes de exposición. Por lo que el contraste de saturación nos servirá para deducir (sin llegar a hacer una cuantificación), la concentración de los materiales colorantes y pigmentantes, así como el estatus de conservación de los colores.

El registro del brillo, como se ha explicado, depende de la intensidad de la luz y de los valores de exposición. En ocasiones depende de los sustratos donde las materias colorantes y pigmentantes son aplicadas. Por lo anterior el contraste del brillo se le podrá asociar a las bases de preparación, así como las características de los sustratos donde se apliquen los pigmentos, lacas y colorantes.

6. Obtención de datos colorimétricos en materiales de referencia

Los materiales de referencia son objetos que buscan recrear algunos aspectos de los objetos de estudio en cuestión (En este caso el color), empleando técnicas de manufactura y materias primas afines a estos.

Resulta de gran importancia realizar mediciones sobre este tipo de materiales con esta técnica, debido a que la información que se obtenga construirá las bases de datos, que a su vez permitirán, bajo ciertas circunstancias, la caracterización de los materiales.

7. Tabla C1, Temple o Témpera (Material de referencia)

ARMADO DEL PANEL

1. El panel se armó a partir del ensamble de tres tablones de pino en unión viva, embarrotados, pegados con cola fuerte de conejo (marca TalasR, n. 4). Para hinchar la tabla se utilizó sólo el agua necesaria.
2. El reverso del panel se enfibró con lino desfibrado. El lino se hirvió, se encogió y se tensó. Por el frente se colocaron tiras de lino de 5 cm de ancho con deshilado en los bordes de 1 ½ cm.
3. La giscola (cola de conejo marca Casa SerraR) se colocó en tres aplicaciones y no se lijó.

BASE DE PREPARACIÓN

4. Para la preparación de carbonato grosso se utilizó carbonato de calcio grueso (CaCO₃, de Casa SerraR) cernido en una solución de cola de conejo de 75 gr.
5. El carbonato sottile (cola de conejo 75 g: 1500 lt. H₂O) se obtuvo al calentar la cola de conejo hasta que esta se derritiera. El carbonato tamizado se espolvoreó hasta saturar. La mezcla se dejó reposar hasta que cuajó. Después se calentó a baño maría y se movió suavemente hasta integrar. La mezcla caliente se colocó en siete capas en direcciones opuestas. La preparación se extendió y se alisó con ayuda de agua caliente y fue extendida con brocha. La aplicación secó y reposó durante una semana.

NOTA: Las siete capas se aplicaron en un solo día. La superficie se hidrató con agua tibia antes de aplicar la preparación.

6. El polvo de carbón se extendió sobre la superficie a modo de grisalla. Con una navaja se raspó en diferentes direcciones hasta obtener una superficie lisa y blanca.
7. La preparación se selló con cola de conejo (75 g: 1lt H₂O)

NOTA: En la superficie se aprecian pequeñas fisuras.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

Se aplicaron los pigmentos de la siguiente forma:

Fila A:

- A1. El Ocre de mina inglés * aglutinado con aceite de linaza posee buen poder cubriente.
- A2. El Ocre de mina inglés mezclado con yema de huevo posee buen poder cubriente.
- A3. El Ocre de mina inglés con yema de huevo y aceite de linaza como aglutinantes se colocó en tres capas. Las capas tienen buen poder cubriente.
- A4. El Ocre de mina inglés aglutinado con cola de conejo posee buen poder cubriente ya que se aplicó una sola capa uniforme.
- A5. El Ocre de mina inglés con almáciga y aceite de linaza como aglutinantes posee buen poder cubriente. La aplicación de esta mezcla cuesta trabajo debido a la consistencia pegajosa.

Fila B:

- B1. El Oropimente ** mezclado con aceite de linaza se colocó en una sola capa. La capa aplicada quedó uniforme.
- B2. El Oropimente aglutinado con yema de huevo se colocó en una sola capa. La capa aplicada quedó uniforme.
- B3. El Oropimente con yema de huevo y aceite de linaza como aglutinantes necesitó de mucho tiempo para quedar completamente molido.
- B4. El Oropimente mezclado con cola de conejo se aplicó en una sola capa. En la capa se aprecian concentraciones del material. La capa se raspó con bisturí para retirar el sellado, se selló con cola y el dibujo se transfirió por estarcido.
- B5. El Oropimente con almáciga y aceite de linaza como aglutinantes necesitó de mucho tiempo para moler el pigmento.

Fila C:

- C1. El Amarillo de plomo estaño *** aglutinado con aceite de linaza se colocó en dos aplicaciones, sin embargo se aprecia poco poder cubriente.
- C2. El Amarillo de plomo estaño mezclado con yema de huevo se aplicó en dos capas, de las cuales la segunda es uniforme y cubriente. El dibujo no sellado se corre. La mezcla posee poco poder cubriente.

* Marca Kremer, n. 40191.

** Molido en el LDOA (Laboratorio de Diagnóstico de Obras de Arte IIE-UNAM).

*** Tipo II, marca Kremer, n. 10120.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

- C3. El Amarillo de plomo estaño con yema de huevo y aceite de linaza como aglutinantes se colocó en tres aplicaciones. La mezcla tiene buen poder cubriente.
- C4. El Amarillo de plomo estaño aglutinado con cola de conejo se aplicó en cuatro capas obteniendo un poder cubriente medio.
- C5. El Amarillo de plomo estaño con almáciga y aceite de linaza como aglutinantes tiene poco poder cubriente. El dibujo a tinta de carbón se corrió. El dibujo se redibujó con carbón y aceite de linaza.

Fila D:

- D1. La Ancorca* mezclada con aceite de linaza. El día 18 de enero de 2007 se colocó una sola capa de la mezcla. La aplicación presenta poco poder cubriente. El color es grumoso y poco uniforme. El día 24 de enero de 2007 se colocó una segunda capa medianamente cubriente. El color es grumoso y poco uniforme.
- D2. La Ancorca aglutinada con yema de huevo. El día 24 de enero de 2007 se colocó una segunda capa medianamente cubriente de la mezcla. La segunda capa resultó poco uniforme. El pigmento es grumoso.
- D3. La Ancorca con yema de huevo y aceite de linaza como aglutinantes se colocó en tres capas medianamente uniformes. La capa resultó con buen poder cubriente. El color era bastante grumoso
- D4. La Ancorca aglutinada con cola de conejo se aplicó en una sola capa. La capa aplicada resultó ser poco cubriente y medianamente uniforme.
- D5. La Ancorca con almáciga y aceite de linaza como aglutinantes. El dibujo se rehízo con carbón y aceite de linaza.

Fila E:

- E1. La Ancorca o gualda** mezclada con aceite de linaza se aplicó en dos capas. El dibujo se corrió con la segunda capa. La aplicación es poco uniforme.
- E2. La Ancorca o gualda aglutinada con yema de huevo se colocó en una sola capa. La capa resultó ser poco uniforme y con poco poder cubriente. El pigmento se caía.
- E3. La Ancorca o gualda con yema de huevo y aceite de linaza como aglutinantes se aplicó en cuatro capas. Las capas resultaron poco uniformes y medianamente cubrientes.
- E4. La Ancorca o gualda mezclada con cola de conejo no funcionó, pues se coaguló muy rápido.

* Marca Sennelier, *Reseda luteola*, sp.

** Marca Zecchi, *Reseda luteola*, sp.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

E5. La Ancorca o gualda con almáciga y aceite de linaza como aglutinantes es poco uniforme y muy poco cubriente.

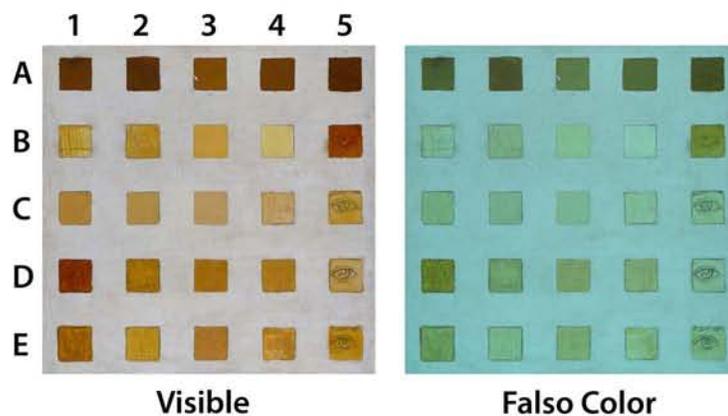


Imagen 135: Tabla C1.

Ocre de mina inglés marca Kremer, n. 40191:

Tabla 10: Datos colorimétricos del ocre de mina inglés en la tabla C1.

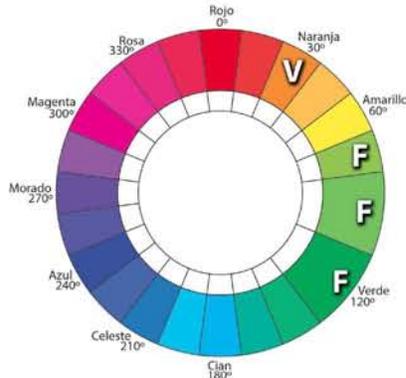
Tabla C1	HSB Visible			HSB Falso Color 760nm		
Pigmento	H	S	B	H	S	B
A1	29	90	36	89	47	36
A2	30	89	33	78	45	33
A3	35	94	49	100	39	49
A4	32	93	41	93	44	42
A5	27	97	31	80	52	31

Tabla 12: Matiz de intervalo y contraste del ocre de mina inglés en la tabla C1.

Tabla C1	Matiz de Intervalo		Contraste		
Pigmento	Visible	Falso Color	Matiz	Saturación	Brillo
A1	Naranja	Verde-Amarillo	60	43	0
A2	Naranja	Amarillo-Verde	48	44	0
A3	Naranja	Verde	65	55	0
A4	Naranja	Verde-Amarillo	61	49	1
A5	Naranja	Amarillo-Verde	53	45	0

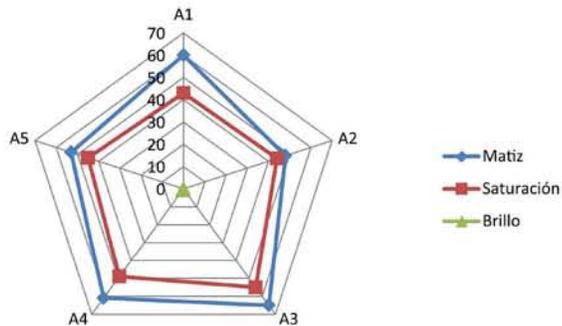
METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

El matiz de intervalo en el visible (V) de las cinco muestras es naranja, y en el falso color (F) corresponde al amarillo-verde, verde-amarillo y verde (Gráfica 27 y tabla 12).



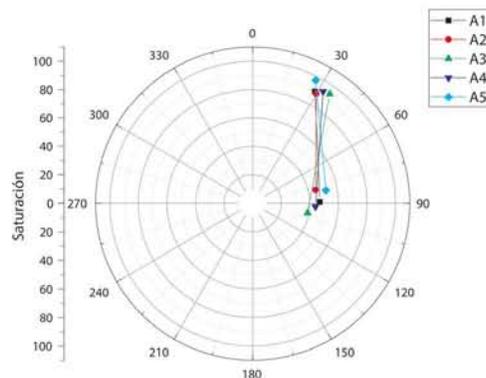
Gráfica 27: Matices del ocre de mina inglés en la tabla C1.

El contraste de matiz presenta valores que oscilan entre 60 y 65 unidades en las muestras A1, A3 y A4, presentaron valores de 48 y 53 unidades las muestras A2 y A5; el contraste de saturación oscila entre 43 y 45 unidades en las muestras A1, A2 y A5, y tienen valores de 49 y 55 unidades las muestras A3 y A4. El contraste de brillo fue de 0 unidades en todas las muestras exceptuando la muestra A4, que fue de 1 unidad. (Gráfica 28 y tabla 12)



Gráfica 28: Contraste del ocre de mina inglés en la tabla C1.

El contraste de matiz-saturación muestra valores con ciertas similitudes en las 5 muestras, los valores caen en regiones similares en la gráfica 29.



Gráfica 29: Contraste de matiz-saturación del ocre de mina inglés en la tabla C1.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

Para el ocre de mina inglés Kremer (Fila A) se propone que:

- Las muestras con aceite de linaza (A1) y con cola de conejo (A4), presentan valores colorimétricos muy similares entre sí y presentan matices de intervalo idénticos; al igual que las muestras con yema de huevo (A2) y con almáciga y aceite de linaza (A5); todas las muestras presentaron matiz de intervalo naranja en el visible, y en el falso color la única muestra que presentó matiz de intervalo verde fue la de yema de huevo y aceite de linaza (A3).
- Las muestras con aceite de linaza (A1), yema de huevo y aceite de linaza (A3) y con cola de conejo (A4) presentaron valores similares de contraste de matiz, igualmente entre las muestras con yema de huevo (A2) y almáciga con aceite de linaza (A5).
- Las muestras con aceite de linaza (A1), yema de huevo (A2) y almáciga con aceite de linaza (A5), presentaron valores de contraste de matiz muy similares entre sí.
- Todas las muestras presentaron un valor de contraste de cero unidades, exceptuando la muestra con cola de conejo (A4) que presentó valor de 1 unidad.
- Los aglutinantes modifican el color del ocre de mina inglés, pero el contraste de matiz-saturación puede ubicar a todas las muestras en regiones similares dentro de la gráfica

Oropimente molido en el LDOA:

Tabla 13: Datos colorimétricos del oropimente en la tabla C1.

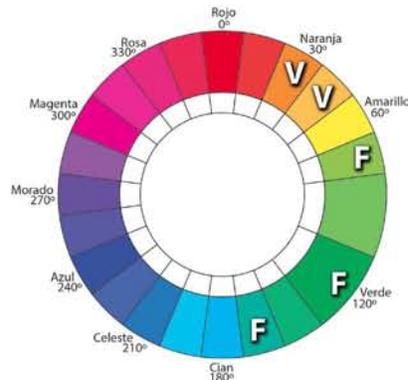
Tabla C1	HSB Visible			HSB Falso Color 760nm		
Pigmento	H	S	B	H	S	B
B1	43	85	67	136	33	57
B2	42	81	67	134	32	67
B3	41	69	73	140	32	74
B4	46	46	77	160	32	77
B5	25	99	53	84	58	54

Tabla 14: Matiz de intervalo y contraste del oropimente en la tabla C1.

Tabla C1	Matiz de Intervalo		Contraste		
Pigmento	Visible	Falso Color	Matiz	Saturación	Brillo
B1	Naranja-Amarillo	Verde	93	52	10
B2	Naranja-Amarillo	Verde	92	49	0
B3	Naranja-Amarillo	Verde	99	37	1
B4	Naranja-Amarillo	Cian-Verde	114	14	0
B5	Naranja	Verde-Amarillo	59	41	1

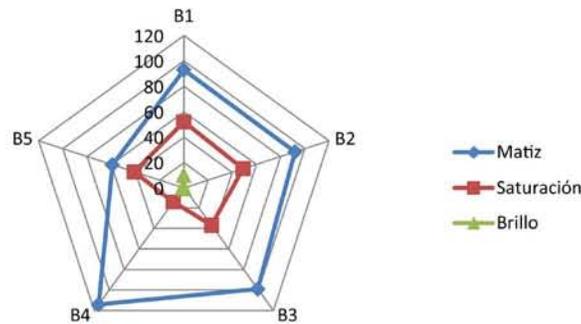
METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

El matiz de intervalo en el visible (V) de las cinco muestras es naranja y naranja-amarillo, y en el falso color (F) corresponde al amarillo-verde, verde y cian-verde (Gráfica 30 y tabla 14).



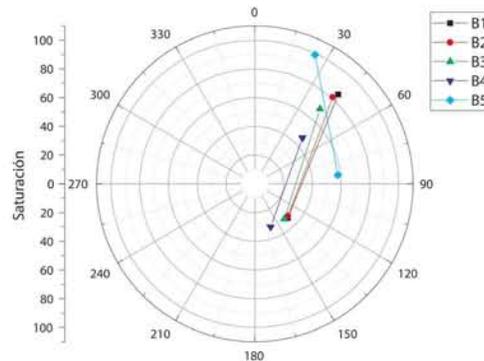
Gráfica 30: Matrices del oropimente en la tabla C1.

El contraste de matiz presenta valores similares de 93 y 92 unidades en las muestras B1 y B2, la muestra B3 presentó un valor de 99 unidades, la B4 de 114 unidades y la B5 presentó el menor valor, con 59 unidades; el contraste de saturación fue diverso en todas las muestras entre 14 y 52 unidades. El contraste de brillo osciló entre 0 y 1 unidad, exceptuando la muestra B1 que presentó un valor de 10 unidades (Gráfica 31 y tabla 14).



Gráfica 31: Contraste del oropimente en la tabla C1.

El contraste de matiz saturación (Gráfica 32) muestra valores similares entre las muestras B1, B2 y B3, la muestra B4 y B5 presentan valores distintos al resto del grupo.



Gráfica 32: Contraste de matiz-saturación del oropimente en la tabla C1.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

Para el oropimente (Fila B) se propone que:

- Las muestras con aceite de lianza (B1), yema de huevo (B2) y yema de huevo con aceite de lianza, presentan matices similares y matices de intervalo idénticos; La muestra con cola de conejo (B4) presenta un matiz de intervalo en el visible igual al grupo anterior, pero el matiz de intervalo es distinto en el falso color. La muestra con almáciga y aceite de linaza (B5) presentó matiz y matiz de intervalo distintos al resto de las muestras.
- El contraste de matiz en las muestras con aceite de linaza (B1) y yema de huevo (B2) fue casi idéntico con 93 y 92 unidades; la muestra con yema de huevo y aceite de lianza (B3) presentó un valor de 99 unidades, la muestra con cola de conejo (B4) presentó el valor más alto del grupo con 114 unidades y la muestra con almáciga y aceite de linaza (B5) presentó el valor más bajo con 59 unidades.
- Las muestras con aceite de linaza (B1), yema de huevo (B2) y yema de huevo y aceite de linaza (B3), presentaron valores de contraste de matiz-saturación similares entre sí, la muestra con cola de conejo (B4), presentó valores en un grado menor de similitud al grupo anteriormente mencionado; y la muestra con almáciga y aceite de linaza (B5) presentó valores que difieren con el resto de las muestras.
- Las muestras B1, B2, B3 y B4 presentan valores de contraste de matiz-saturación en regiones similares de la gráfica.
- La almáciga con aceite de lianza es el aglutinante que más ha modificado el color del oropimente.

Amarillo de plomo estaño tipo II, marca Kremer, n. 10120:

Tabla 15: Datos colorimétricos del amarillo de plomo estaño en la tabla C1.

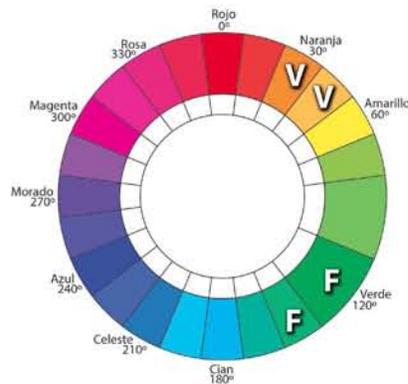
Tabla C1	HSB Visible			HSB Falso Color 760nm			
	Pigmento	H	S	B	H	S	B
C1		38	69	66	137	34	66
C2		40	60	67	145	34	67
C3		38	47	70	148	33	70
C4		37	48	73	147	33	73
C5		42	70	70	144	35	70

Tabla 16: Matiz de intervalo y contraste del amarillo de plomo estaño en la tabla C1.

Tabla C1	Matiz de Intervalo		Contraste			
	Pigmento	Visible	Falso Color	Matiz	Saturación	Brillo
C1		Naranja-Amarillo	Verde	99	35	0
C2		Naranja-Amarillo	Verde-Cian	105	26	0
C3		Naranja-Amarillo	Verde-Cian	110	14	0
C4		Naranja	Verde-Cian	110	15	0
C5		Naranja-Amarillo	Verde-Cian	102	35	0

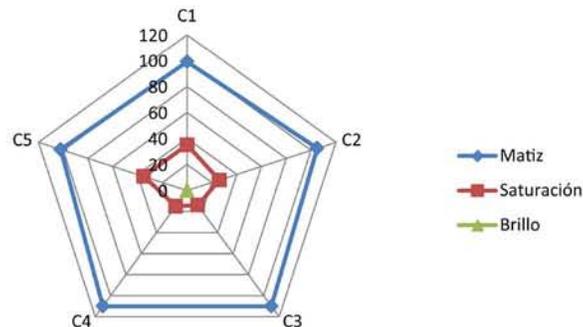
METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

El matiz de intervalo en el visible (V) de las cinco muestras es naranja y naranja amarillo, y en el falso color (F) corresponde al verde y verde cian (Gráfica 33 y tabla 16).



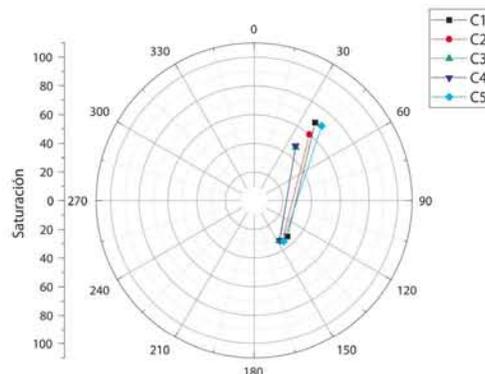
Gráfica 33: Matrices del amarillo de plomo estaño en la tabla C1.

El contraste de matiz es idéntico en las muestras C3 y C4 con 110 unidades, las muestras C2 y C5 presentan valores similares de 105 y 102 unidades, y el valor más bajo fue para la muestra C1 con 99 unidades; el contraste de saturación fue idéntico en las muestras C1 y C5 con 35 unidades, las muestras C3 y C4 presentaron valores similares de 14 y 15 unidades, y la muestra C2 presento un valor de 26 unidades distinto al resto de las muestras del grupo. El contraste de brillo fue idéntico en todas las muestras con 0 unidades (Gráfica 34 y tabla 16).



Gráfica 34: Contraste del amarillo de plomo estaño en la tabla C1.

El contraste de matiz-saturación (Gráfica 35) presenta valores similares en las muestras C1, C2 y C5; también entre las muestras C3 y C4.



Gráfica 35: Contraste de matiz-saturación del amarillo de plomo estaño en la tabla C1.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

Para el amarillo de plomo estaño Kremer se propone que:

- Las muestras con yema de huevo (C2), yema de huevo y aceite de linaza (C3) y almáciga con aceite de linaza, presentan el mismo matiz de intervalo en el visible y falso color.
- Las muestras con yema de huevo (C2) y yema de huevo con aceite de linaza (C3) presentaron contrastes de matiz, saturación y brillo casi idénticos.
- El aglutinante claramente modifica la saturación del color en el visible, y casi no modifica el color del falso color.
- El contraste de matiz-saturación presenta que todas las muestras se ubican en regiones similares dentro de la gráfica.

Ancorca marca Sennelier, *Reseda luteola*, sp:

Tabla 17: Datos colorimétricos de la Ancorca Sennelier en la tabla C1.

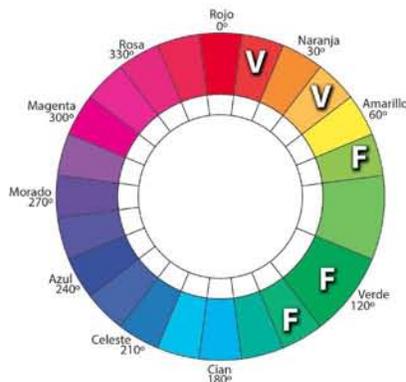
Tabla C1	HSB Visible			HSB Falso Color 760nm		
Pigmento	H	S	B	H	S	B
D1	21	98	49	82	63	49
D2	40	96	62	122	33	62
D3	38	92	62	108	33	62
D4	39	23	65	119	29	65
D5	41	56	70	149	35	70

Tabla 18: Matiz de intervalo y contraste de la Ancorca Seinnelier en la tabla C1.

Tabla C1	Matiz de Intervalo		Contraste		
Pigmento	Visible	Falso Color	Matiz	Saturación	Brillo
D1	Rojo-Naranja	Amarillo-Verde	61	35	0
D2	Naranja-Amarillo	Verde	82	63	0
D3	Naranja-Amarillo	Verde	70	59	0
D4	Naranja-Amarillo	Verde	80	6	0
D5	Naranja-Amarillo	Verde-Cian	108	21	0

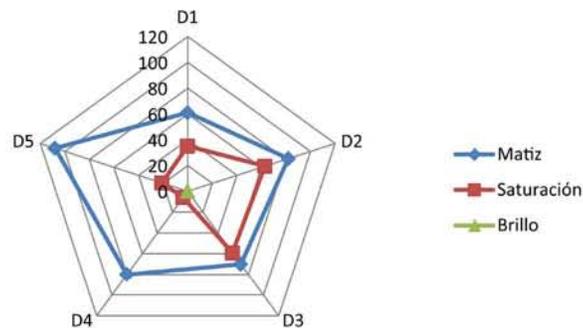
METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

El matiz de intervalo en el visible (V) de las cinco muestras es rojo-naranja y naranja amarillo, y en el falso color (F) corresponde al amarillo-verde, verde y verde cian (Gráfica 36 y tabla 18).



Gráfica 36: Matrices de la ancorca Seinnelier en la tabla C1.

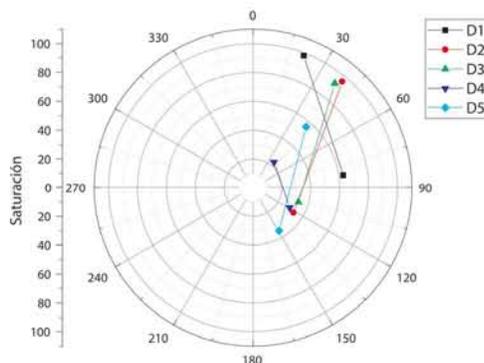
El contraste de matiz es similar en las muestras D2 y D4 con 82 y 80 unidades, la muestra D3 presenta 70 unidades, la muestra D1 presenta el valor más bajo con 61 unidades y la muestra D5 el más alto con 108 unidades; el contraste de saturación fue variable en las cinco muestras oscilando entre 6 y 63 unidades. El contraste de brillo fue idéntico en las 5 muestras con un valor de 0 unidades (Gráfica 37 y tabla 18).



Gráfica 37: Contraste de la ancorca Seinnelier en la tabla C1.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

El contraste de matiz-saturación (Gráfica 38), presentó valores similares entre las muestras D2 y D3, la muestra D5 presentó un menor grado de similitud entre las muestras del grupo anteriormente mencionado y las muestras D4 y D1 presentaron valores distintos entre sí y el resto de las muestras.



Gráfica 38: Contraste de matiz-saturación de la ancorca Seinnelier en la tabla C1

Para la ancorca Sennelier se propone que:

- Las muestras con yema de huevo (D2), yema de huevo y aceite de linaza (D3), y cola de conejo, presentan los mismos matices de intervalo.
- Las muestras con yema de huevo (D2) y cola de conejo (D4) presentan un contraste de matiz muy similar.
- En este caso el tipo de aglutinante modifica claramente las propiedades del color en la ancorca, aunque tiene un comportamiento similar en las muestras con yema de huevo (D2) y yema de huevo y aceite de linaza (D3).

Ancorca marca Sennelier, *Reseda luteola*, sp:

Tabla 19: Datos colorimétricos de la Ancorca Zecchi en la tabla C1.

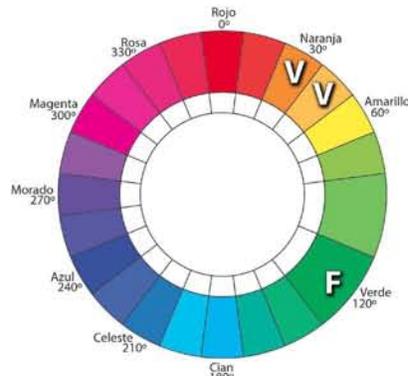
Tabla C1	HSB Visible			HSB Falso Color 760nm		
Pigmento	H	S	B	H	S	B
E1	36	96	60	113	39	60
E2	43	83	71	141	37	71
E3	35	76	66	121	32	66
E4	38	76	71	131	34	71
E5	42	91	69	137	37	69

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

Tabla 20: Datos colorimétricos de la Ancorca Zecchi en la tabla C1.

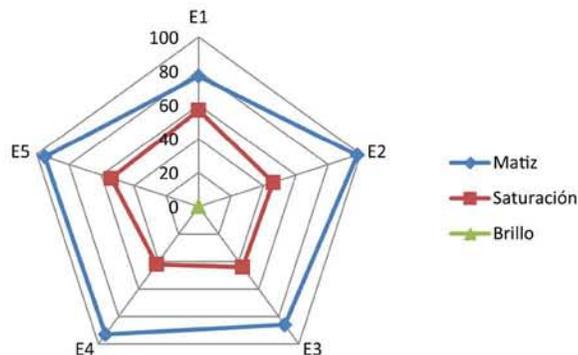
Tabla C1	Matiz de Intervalo		Contraste		
	Visible	Falso Color	Matiz	Saturación	Brillo
E1	Naranja	Verde	77	57	0
E2	Naranja-Amarillo	Verde	98	46	0
E3	Naranja	Verde	86	44	0
E4	Naranja-Amarillo	Verde	93	42	0
E5	Naranja-Amarillo	Verde	95	54	0

El matiz de intervalo en el visible (V) de las cinco muestras es naranja y naranja amarillo, y en el falso color (F) corresponde al verde (Gráfica 39 y tabla 20).



Gráfica 39: Matices de la ancorca Zecchi en la tabla C1.

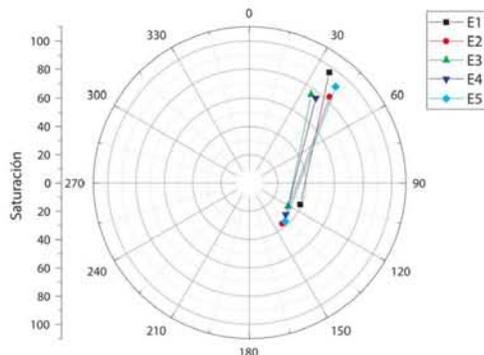
El contraste de matiz es similar entre las muestras E2, E4 y E5 entre 93 y 98 unidades, la muestra E3 presentó 86 unidades y la muestra E1 presentó el valor más bajo con 77 unidades; el contraste de matiz fue similar entre las muestras E2, E3 y E4, von valores entre 42 y 46 unidades, al igual que las muestras E1 y E5, con valores de 57 y 54 unidades. Todas las muestras presentaron un valor de contraste de matiz de 0 unidades (Gráfica 40 y tabla 20).



Gráfica 40: Contraste de la ancorca Zecchi en la tabla C1.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

El contraste de matiz-saturación presenta valores similares en las muestras E3 y E4, pero en sí todas las muestras caen en regiones similares dentro de la gráfica 41.



Gráfica 41: Contraste de matiz-saturación de la ancorca o gualda Zecchi en la tabla C1

Para la ancorca Zecchi se propone que:

- Todas las muestras presentan un matiz de intervalo verde en el falso color, y un matiz naranja o naranja-amarillo en el visible.
- El contraste de matiz-saturación presenta a todas las muestras en regiones similares dentro de la gráfica.
- El aglutinante modifica el color de la ancorca.

Conclusiones del análisis de falso color en la tabla C1:

- Resulta en extremo difícil distinguir claramente entre varias de las muestras de estos pigmentos amarillos, esto se debe a que algunas presentan valores colorimétricos muy similares entre pigmentos y/o aglutinantes diferentes.
- El comportamiento del contraste de matiz-saturación mostró una similitud importante entre el amarillo de plomo estaño (Fila C) y la ancorca o gualda (Fila E). Se puede diferenciar entre estas muestras por una mayor saturación en el visible de la Ancorca o gualda, y también por una mayor uniformidad en el falso color del amarillo de plomo estaño.
- El comportamiento del contraste de matiz-saturación presenta similitudes entre el oropimente (fila B) y la ancorca (Fila D); la muestra de oropimente con almáciga y aceite de linaza (B5) es muy similar a la muestra de ancorca con aceite de linaza (D1), por lo que no es posible hacer alguna distinción entre ellas.
- El contraste de matiz, brillo y saturación; puede diferenciar entre algunas de muestras con distintos pigmentos y/o aglutinantes; por ejemplo la ancorca con aceite de linaza (D1, tabla 18) y la ancorca o gualda con almáciga y aceite de linaza (E5, tabla 20).

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

- Hay muestras con distintos pigmentos pero con el mismo aglutinante que no muestran diferencias significativas en el matiz de intervalo, en los datos colorimétricos, ni en los contrastes; por ejemplo el oropimente con aceite de linaza (B1, tablas 13 y 14) y el amarillo de plomo estaño con aceite de linaza (C1, tablas 17 y 18).
- Hay muestras con distintos aglutinantes pero con el mismo pigmento que no presentan diferencias distintivas en el matiz de intervalo, en los datos colorimétricos, ni en los contrastes; por ejemplo el ocre de mina inglés con yema de huevo (A2, tablas 11 y 12) y el ocre de mina inglés con cola de conejo (A4, tablas 11 y 12).
- El ocre de mina inglés presenta valores de contraste de matiz-saturación, claramente diferente del resto de los pigmentos.
- No es posible marcar una clara diferencia entre los pigmentos: amarillo de plomo estaño, oropimente y la ancorca.
- La ancorca de Sennelier, su color sufre mayores modificaciones por el tipo de aglutinante (Matiz, saturación y brillo), a diferencia de la de Zecchi que presenta un comportamiento más estable al momento de interactuar con el aglutinante.
- Es posible detectar que cualidades de color del pigmento resultan afectadas por el tipo de aglutinante.

8. Asociación de composición en común entre dos o más muestras sin caracterización del material

Es posible asociar una misma composición sin llegar a hacer una caracterización del material, lo anterior se logra cuando los datos colorimétricos de las muestras coinciden entre sí, pero no se dispone de información sobre la composición.

Gracias a que es posible asociar composiciones en común, esta técnica puede guiar la implementación de técnicas espectroscópicas capaces de caracterizar materiales pero que cubren áreas de análisis muy pequeñas.

Esta característica hace que este tipo de técnicas sean globales y exploratorias, gracias a que pueden cubrir grandes áreas de análisis.

9. Muestras Históricas de Vidrios procedentes de la Ex-Hacienda Henequenera San Pedro Cholul, en el estado de Yucatán, México

A continuación se presenta el análisis de 52 muestras históricas de vidrios procedentes de la ExHacienda henequenera de San Pedro Cholul.

Se organizaron las muestras en 10 grupos basados en el matiz de intervalo en el visible y a la saturación del matiz en las muestras. En el caso de que los grupos presentaran uno o dos

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

muestras, se incorporaron a otros con matiz más próximo en el círculo cromático.

En este caso se aplicó el protocolo de registro por luz transmitida, y en el caso de las muestras: 9, 29, 30, 31, 32, 33, 34 y 35, se aumentó el ajuste de brillo, debido a que los ajustes automáticos de exposición, no registraban la luz transmitida, posiblemente por el tipo de composición y/o espesor del material.

Grupo 1:



Imagen 136: Muestras de vidrios, grupo 1 (Fila superior visible, inferior falso color).

Tabla 21: Datos colorimétricos del grupo 1.

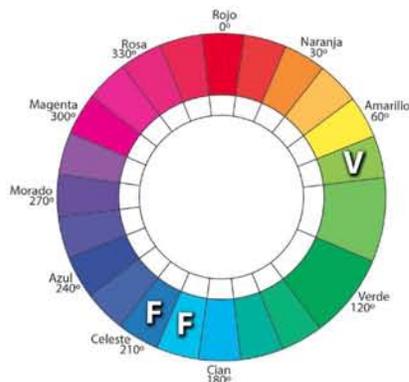
Vidrios	HSB Visible			HSB Falso Color 760nm		
Muestra	H	S	B	H	S	B
1 (v01s1)	94	31	36	212	33	36
3 (v01s3)	93	32	38	208	39	38
4 (v01s4)	92	35	36	209	38	36
14 (v12s1)	84	29	34	198	39	34
15 (v12s2)	86	24	37	197	38	37
16 (v12s3)	85	26	36	197	39	36
17 (v12s4)	88	33	31	204	38	31

Tabla 22: Matiz de intervalo y contraste del grupo 1.

Vidrios	Matiz de Intervalo		Contraste		
Muestra	Visible	Falso Color	Matiz	Saturación	Brillo
1 (v01s1)	Verde-Amarillo	Celeste	118	2	0
3 (v01s3)	Verde-Amarillo	Celeste	115	7	0
4 (v01s4)	Verde-Amarillo	Celeste	117	3	0
14 (v12s1)	Verde-Amarillo	Celeste-Cian	114	10	0
15 (v12s2)	Verde-Amarillo	Celeste-Cian	111	14	0
16 (v12s3)	Verde-Amarillo	Celeste-Cian	112	13	0
17 (v12s4)	Verde-Amarillo	Celeste	116	5	0

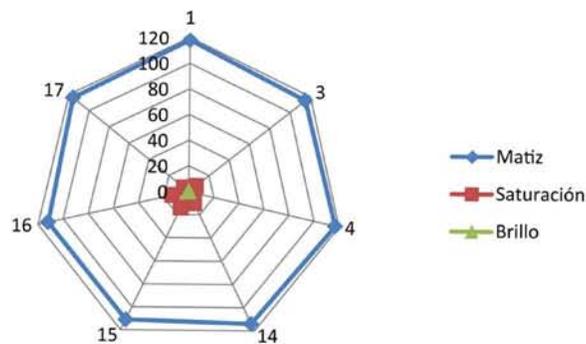
METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

El matiz de intervalo en el visible (V) de las siete muestras es verde-amarillo, y en el falso color (F) corresponde al celeste y celeste-cian (Gráfica 42 y tabla 22).



Gráfica 42: Matices del grupo 1 (V=Visible, F=FalsoColor).

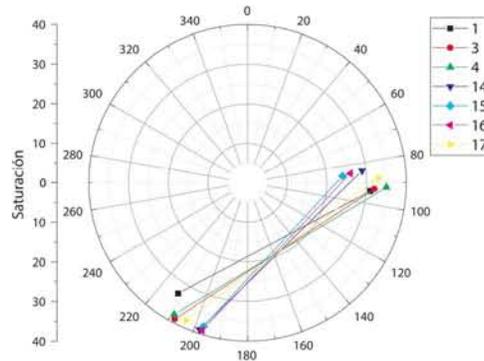
El contraste de matiz presenta valores similares entre 111 y 118 unidades en las siete muestras; el contraste de saturación presenta valores similares entre 2 y 7 unidades en las muestras con un matiz de intervalo celeste en el falso color (1, 3, 4, y 17), y valores entre 10 y 14 unidades en las muestras con matiz de intervalo celeste-cian en el falso color (14, 15 y 16). El contraste de brillo es idéntico en todas las muestras del grupo con valor de 0 unidades (Gráfica 43 y tabla 22).



Gráfica 43: Contraste de las muestras del grupo 1.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

El contraste de matiz-saturación (Gráfica 44) muestra valores similares en las muestras 14,15 y 16; las muestras 3, 4 y 17 también son similares entre sí, la muestra 1 es similar en el visible a las muestras anteriormente mencionadas, pero en la saturación es ligeramente diferente al resto de las muestras en el falso color.



Gráfica 44: Contraste de matiz-saturación del grupo 1.

En el grupo 1, se propone que:

- Las muestras 14, 15 y 16 tienen una composición similar, ya que el matiz, la saturación y brillo de estas en el visible y falso color, los matices de intervalo en el visible y falso color, así como el contraste de matiz, saturación y brillo es muy similar; destaca el mayor grado de similitud entre las muestras 15 y 16 en el contraste de matiz-saturación.
- Las muestras 1, 3, 4 y 17 presentan una composición similar, debido a que el matiz y la saturación en el visible y falso color, los matices de intervalo en el visible y falso color, así como los contrastes de matiz, brillo y saturación son similares; las muestras 3 y 4 presentan una mayor similitud en el contraste de matiz-saturación y la muestra 1 presenta una menor saturación en el falso color al resto de las muestras.

Grupo 2:

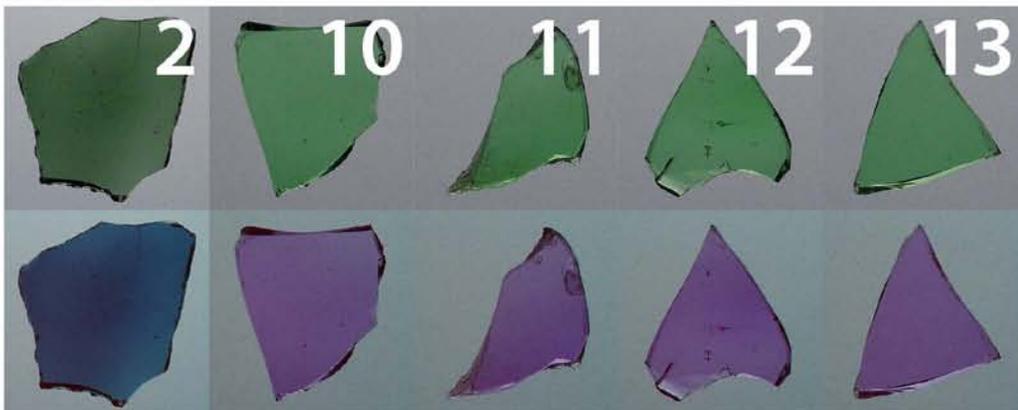


Imagen 137: Muestras de vidrios, grupo 2 (Fila superior visible, inferior falso color).

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

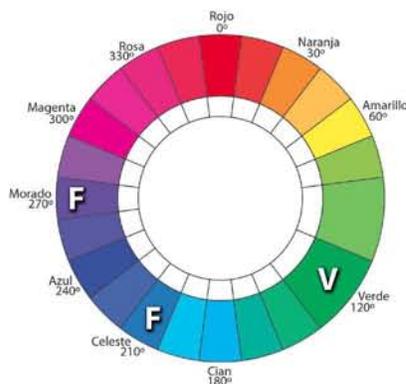
Tabla 23: Datos colorimétricos del grupo 2.

Vidrios	HSB Visible			HSB Falso Color 760nm		
	H	S	B	H	S	B
2 (v01s2)	122	30	36	214	55	36
10 (v09s1)	130	38	48	269	38	48
11 (v09s2)	130	39	46	269	39	46
12 (v09s3)	132	43	47	272	43	47
13 (v09s4)	134	39	47	272	39	47

Tabla 24: Matiz de intervalo y contraste del grupo 2.

Vidrios	Matiz de Intervalo		Contraste		
	Visible	Falso Color	Matiz	Saturación	Brillo
2 (v01s2)	Verde	Celeste	92	25	0
10 (v09s1)	Verde	Morado	139	0	0
11 (v09s2)	Verde	Morado	139	0	0
12 (v09s3)	Verde	Morado	140	0	0
13 (v09s4)	Verde	Morado	138	0	0

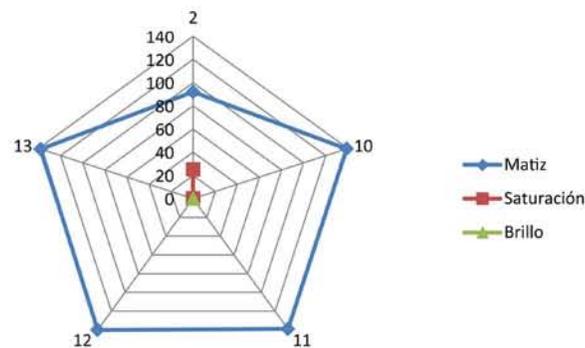
El matiz de intervalo en el visible (V) de las siete muestras es verde, y en el falso color (F) corresponde al celeste y morado (Gráfica 45 y tabla 24).



Gráfica 45: Matrices del grupo 2 (V=Visible, F=Falso Color).

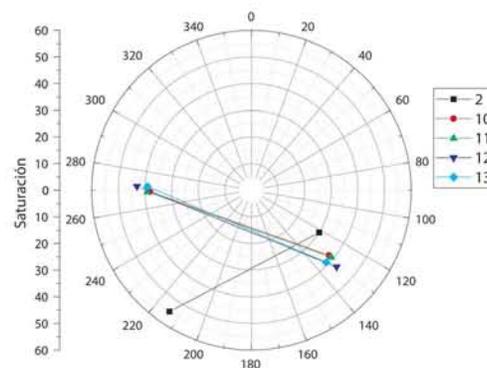
METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

El contraste de matiz presenta valores similares entre 138 y 140 unidades en cuatro de las cinco muestras, destacando que la muestra dos presenta el menor valor de todos (92 unidades) debido a que tiene el matiz de intervalo en el falso color distinto del resto (Celeste); el contraste de saturación presenta valores idénticos de 0 excepto en la muestra 2 (25 unidades). El contraste de brillo es idéntico en todas las muestras del grupo con valor de 0 unidades (Gráfica 46 y tabla 24).



Gráfica 46: Contraste de las muestras del grupo 2.

El contraste de matiz-saturación (Gráfica 47) muestra valores similares en las muestras 10, 11, 12 y 13; la muestra 2 es similar en el matiz visible pero no en la saturación a las muestras anteriormente mencionadas, además, en el falso color presenta un matiz diferente al resto del grupo.



Gráfica 47: Contraste de matiz-saturación del grupo 2.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

En el grupo 2, se propone que:

- Las muestras 10, 11, 12 y 13 tienen una composición similar, ya que el matiz y la saturación de estas en el visible y falso color, los matices de intervalo en el visible y falso color, así como el contraste de matiz y saturación es muy similar; se destaca el mayor grado de similitud entre las muestras 10, 11 y 13 en el contraste de matiz-saturación.
- La muestra 2, aunque fue incluida en este grupo debido a que su matiz de intervalo en el visible es igual al resto; se propone que tiene una composición diferente ya que su matiz y matiz de intervalo en el falso color, así como el contraste de matiz y saturación, y sus valores de contraste matiz-saturación difieren claramente del resto de las muestras.

Grupo 3:



Imagen 138: Muestras de vidrios, grupo 3 (Fila superior visible, inferior falso color).

Tabla 25: Datos colorimétricos del grupo 3.

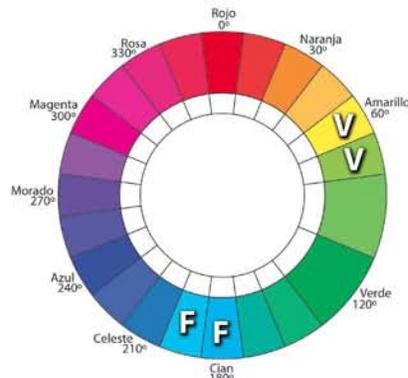
Vidrios	HSB Visible			HSB Falso Color 760nm		
	Muestra	H	S	B	H	S
5 (v04s1)	76	39	33	195	44	33
6 (v04s2)	76	22	39	192	31	39
7 (v04s3)	58	64	22	174	18	22
9 (v05s2exp)	60	7	29	180	48	29

Tabla 26: Matiz de intervalo y contraste del grupo 3.

Vidrios	Matiz de Intervalo		Contraste		
	Muestra	Visible	Falso Color	Matiz	Saturación
5 (v04s1)	Amarillo-Verde	Celeste-Cian	119	5	0
6 (v04s2)	Amarillo-Verde	Celeste-Cian	116	9	0
7 (v04s3)	Amarillo	Cian	116	46	0
9 (v05s2exp)	Amarillo	Cian	120	41	0

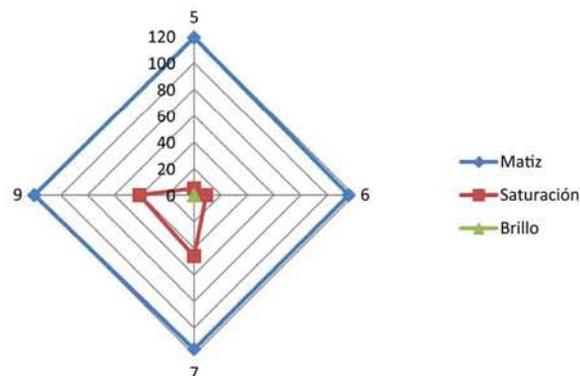
METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

El matiz de intervalo en el visible (V) de las siete muestras es amarillo y amarillo-verde, y en el falso color (F) es cian y celeste-cian (Gráfica 48 y tabla 26).



Gráfica 48: Matrices del grupo 3 (V=Visible, F=Falso Color).

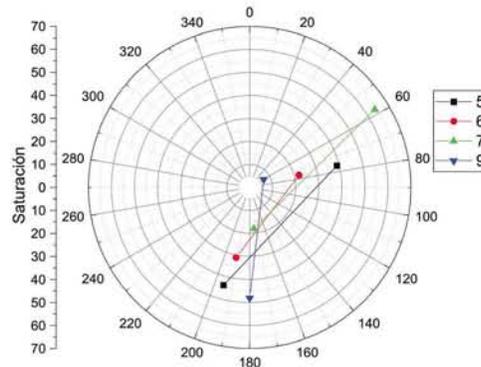
El contraste de matiz presenta valores similares entre 116 y 120 unidades en todas las muestras; el contraste de saturación presenta valores similares de 5 y 9 unidades en las muestras con un matiz de intervalo celeste-cian en el falso color (muestras 5 y 6), y presenta valores de 46 y 41 unidades en las muestras con un matiz de intervalo cian en el falso color (muestras 7 y 9). El contraste de brillo es idéntico en todas las muestras del grupo con valor de 0 unidades (Gráfica 49 y tabla 26).



Gráfica 49: Contraste de las muestras del grupo 3.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

El contraste de matiz-saturación (Gráfica 50) muestra valores algo similares en las muestras 5 y 6; las muestras 6 y 7 aunque presentan valores de matiz similares, los valores de saturación son muy diferentes, posiblemente por el espesor de los materiales que no permiten una fluida transmisión de luz.



Gráfica 50: Contraste de matiz-saturación del grupo 3.

En el grupo 3, se propone que:

- En general todas las muestras del grupo parecen tener una composición similar, pero se destacan dos grupos debido a los valores de matiz de intervalo en el visible y en el falso color.
- Las muestras 5 y 6 tienen una composición similar debido a que sus matices en el visible y falso color son casi idénticos, sus matices de intervalo son iguales y sus contrastes de matiz y saturación presentan una gran similitud.
- Las muestras 7 y 9, tienen una composición similar debido a que sus matices en el visible y falso color son casi idénticos, sus matices de intervalo en el visible y falso color son iguales y sus contrastes de matiz y saturación son similares.

Grupo 4:

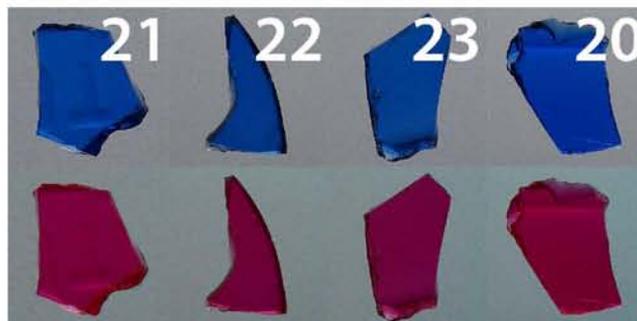


Imagen 139: Muestras de vidrios, grupo 4 (Fila superior visible, inferior falso color).

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

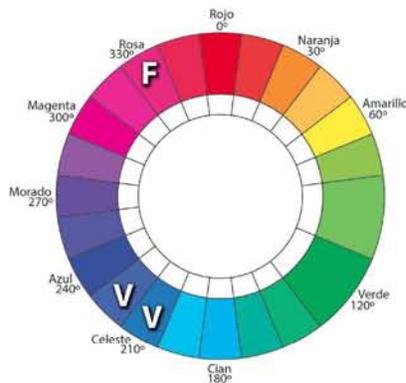
Tabla 27: Datos colorimétricos del grupo 4.

Vidrios	HSB Visible			HSB Falso Color 760nm		
Muestra	H	S	B	H	S	B
21 (v03s2)	216	100	58	330	100	48
22 (v03s3)	216	100	53	330	100	43
23 (v03s4)	215	99	55	327	98	42
20 (v03s1)	222	100	59	336	100	44

Tabla 28: Matiz de intervalo y contraste del grupo 4.

Vidrios	Matiz de Intervalo		Contraste		
Muestra	Visible	Falso Color	Matiz	Saturación	Brillo
21 (v03s2)	Celeste	Rosa	114	0	10
22 (v03s3)	Celeste	Rosa	114	0	10
23 (v03s4)	Celeste	Rosa	112	1	13
20 (v03s1)	Celeste-Azul	Rosa	114	0	15

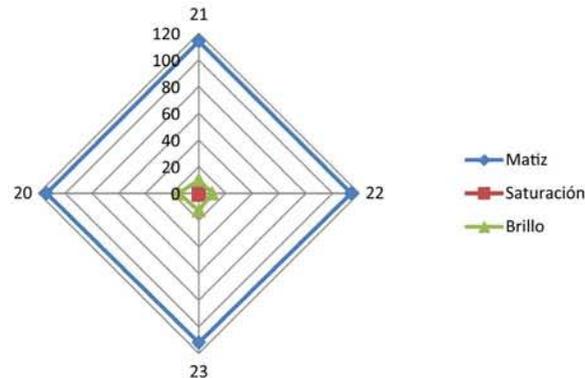
El matiz de intervalo en el visible (V) de las cuatro muestras es celeste y celeste-azul, y en el falso color (F) corresponden todas al rosa (Gráfica 51 y tabla 28).



Gráfica 51: Matices del grupo 4 (V=Visible, F=Falso Color).

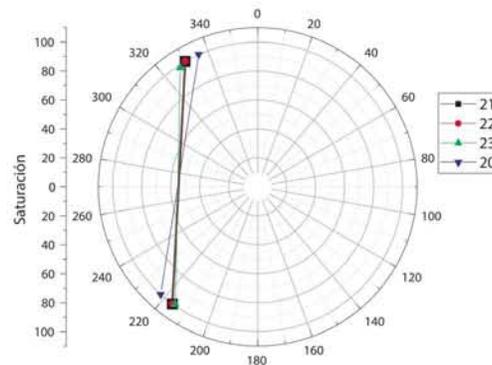
METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

El contraste de matiz presenta valores similares entre 112 y 114 unidades en todas las muestras; el contraste de saturación presenta valores similares de 0 y 1. El contraste de brillo oscila entre 10 y 15 unidades, destacando que la muestra que tiene el mayor valor (muestra 20), tiene un matiz de intervalo visible distinto al resto de las muestras (celeste-azul, Gráfica 52 y tabla 28).



Gráfica 52: Contraste de las muestras del grupo 4.

El contraste de matiz-saturación (Gráfica 53) muestra valores similares en las muestras 20, 21, 22 y 23; se destaca la mayor similitud presente en las muestras 21, 22 y 23.



Gráfica 53: Contraste de matiz-saturación del grupo 4.

En el grupo 4, se propone que:

- En general todas las muestras del grupo parecen tener una composición similar debido a que sus valores de matiz, saturación y brillo son similares, así como sus valores de contraste de matiz saturación y brillo.
- La muestra 20 presenta una composición ligeramente distinta del resto de las muestras debido a que su matiz de intervalo en el visible, así como su matiz es diferente del resto.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

- Las muestras 21, 22 y 23 presentan una composición con un mayor grado de similitud entre sí, debido a que su matiz, saturación y brillo son muy similares, sus matices de intervalo en el visible y falso color son idénticos, sus valores de contraste de matiz saturación y brillo son casi idénticos y presentaron claramente un mayor grado de similitud en el contraste de matiz-saturación.

Grupo 5:



Imagen 140: Muestras de vidrios, grupo 5 (Fila superior visible, inferior falso color).

Tabla 29: Datos colorimétricos del grupo 5.

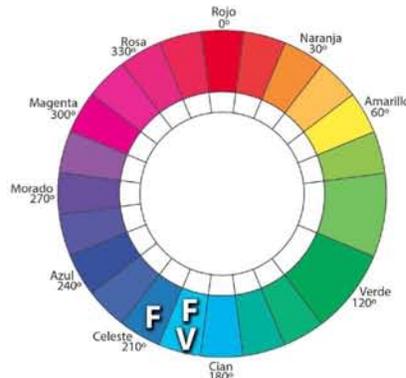
Vidrios	HSB Visible			HSB Falso Color 760nm		
	H	S	B	H	S	B
25 (v07s2)	200	7	51	210	9	50
26 (v07s3)	200	7	52	195	18	51
27 (v07s4)	200	7	50	193	22	49
28 (v08s1)	198	7	53	197	18	52

Tabla 30: Matiz de intervalo y contraste del grupo 5.

Vidrios	Matiz de Intervalo		Contraste		
	Visible	Falso Color	Matiz	Saturación	Brillo
25 (v07s2)	Celeste-Cian	Celeste	10	2	1
26 (v07s3)	Celeste-Cian	Celeste-Cian	5	11	1
27 (v07s4)	Celeste-Cian	Celeste-Cian	7	15	1
28 (v08s1)	Celeste-Cian	Celeste-Cian	1	11	1

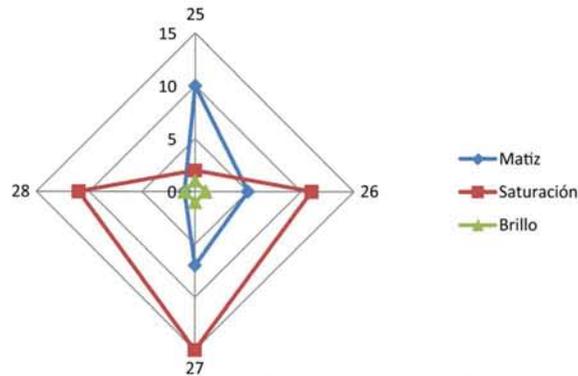
METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

El matiz de intervalo en el visible (V) de las cuatro muestras es celeste-cian, y en el falso color (F) corresponden al celeste y celeste-cian (Gráfica 54 y tabla 30).



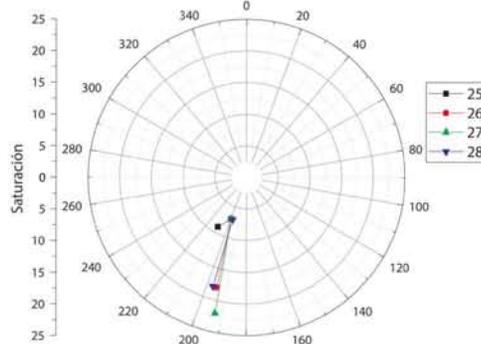
Gráfica 54: Matices del grupo 5 (V=Visible, F=Falso Color).

El contraste de matiz presenta valores que oscilan entre 1 y 10 unidades en las muestras; el contraste de saturación presenta valores similares entre 11 y 15 en las muestras con un matiz de intervalo celeste-cian en el falso color (muestras 26, 27 y 28) y de 2 unidades en la muestra con matiz celeste en el falso color. El contraste de brillo es de una unidad (1) en todas las muestras (Gráfica 55 y tabla 30).



Gráfica 55: Contraste de las muestras del grupo 5.

El contraste de matiz-saturación (Gráfica 56) muestra valores similares en las muestras 26, 27 y 28; se destaca la mayor similitud presente en las muestras 26 y 28, la muestra 25 presenta valores distintos en el falso color al resto de las muestras.



Gráfica 56: Contraste de matiz-saturación del grupo 5.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

En el grupo 5, se propone que:

- En general todas las muestras del grupo parecen tener una composición similar debido a que sus valores de matiz, saturación y brillo son similares, así como sus valores de contraste de matiz saturación y brillo.
- La muestra 25 presenta una composición ligeramente distinta del resto de las muestras debido a que su matiz de intervalo en el falso color, así como su contraste de matiz es diferente del resto.
- Las muestras 26 y 28 tienen una composición con mayor grado de similitud entre sí, ya que presentaron valores casi idénticos en su contraste de matiz-saturación.

Grupo 6:



Imagen 141: Muestras de vidrios, grupo 6 (Fila superior visible, inferior falso color).

Tabla 31: Datos colorimétricos del grupo 6.

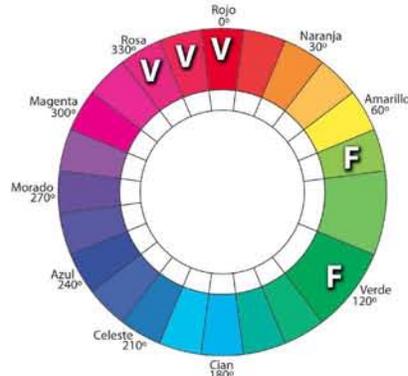
Vidrios	HSB Visible			HSB Falso Color 760nm		
	Muestra	H	S	B	H	S
30 (v02s2exp)	326	41	24	110	41	24
32 (v02s4exp)	334	47	31	117	46	31
29 (v02s1exp)	352	63	32	105	63	32
31 (v02s3exp)	358	70	21	69	70	21

Tabla 32: Matiz de intervalo y contraste del grupo 6.

Vidrios	Matiz de Intervalo		Contraste		
	Muestra	Visible	Falso Color	Matiz	Saturación
30 (v02s2exp)	Rosa	Verde	144	0	0
32 (v02s4exp)	Rosa	Verde	143	1	0
29 (v02s1exp)	Rosa-Rojo	Verde	113	0	0
31 (v02s3exp)	Rojo	Amarillo-Verde	71	0	0

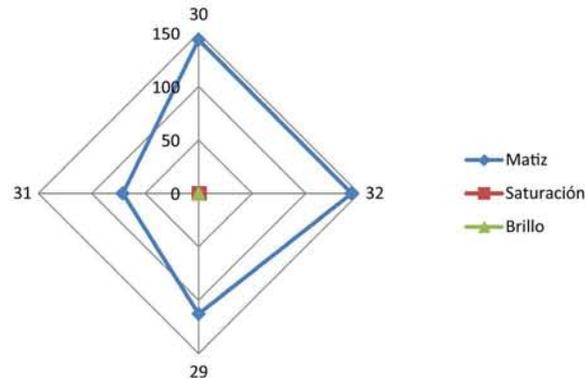
METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

El matiz de intervalo en el visible (V) de las cuatro muestras es rosa, rosa-rojo y rojo, y en el falso color (F) corresponden al amarillo-verde y verde (Gráfica 57 y tabla 32).



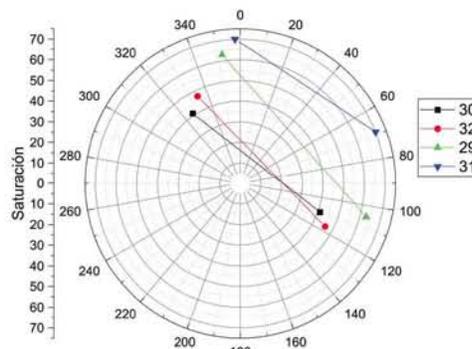
Gráfica 57: Matices del grupo 6 (V=Visible, F=Falso Color).

El contraste de matiz presenta valores similares de 143 y 144 unidades en las muestras con matiz rosa en el visible y verde en el falso color (muestras 30 y 32), tiene valor de 113 la muestra con matiz rosa rojo en el visible y verde en el falso color, y con un valor de 71 la muestra de matiz rojo en el visible y amarillo verde en el falso color; el contraste de saturación presenta valores similares de 0 y 1 en todas las muestras. El contraste de brillo es de 0 unidades en todas las muestras (Gráfica 58 y tabla 30).



Gráfica 58: Contraste de las muestras del grupo 6.

El contraste de matiz-saturación (Gráfica 59) muestra valores casi idénticos en las muestras 29 y 31; las muestras 30 y 32 presentan un poco de similitud entre sí.



Gráfica 59: Contraste de matiz-saturación del grupo 6.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

En el grupo 6, se propone que:

- Las muestras 30 y 32 presentan una composición similar debido a que su matiz y saturación en el visible y falso color son similares, su matiz de intervalo es idéntico y su contraste de matiz es casi idéntico.
- La muestra 29 tiene una composición distinta al resto de las muestras del grupo; fue incluida en este grupo debido a que tiene un matiz visible similar al de las muestras 30 y 32 pero su matiz visible, matiz de intervalo visible y su contraste de matiz, claramente difiere del resto de las muestras del grupo.
- Al igual que la muestra 29, la muestra 31 tiene una composición distinta al resto de las muestras del grupo; fue incluida en este grupo debido a que tiene un matiz visible similar al de las muestras 30 y 32 pero su matiz visible y de falso color, así como su matiz de intervalo visible y falso color, y su contraste de matiz, claramente difiere del resto de las muestras del grupo.

Grupo 7:



Imagen 142: Muestras de vidrios, grupo 7 (Fila superior visible, inferior falso color).

Tabla 33: Datos colorimétricos del grupo 7.

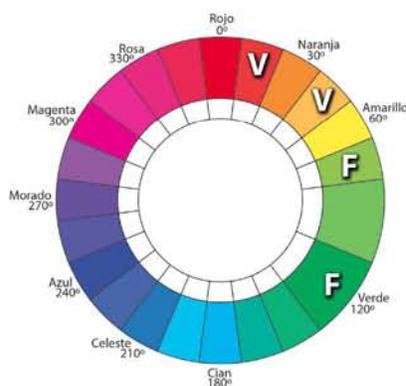
Vidrios	HSB Visible			HSB Falso Color 760nm		
	H	S	B	H	S	B
33 (v05s1exp)	12	46	33	137	51	33
35 (v05s4exp)	11	42	25	142	55	25
36 (v10s1)	17	100	38	78	71	38
37 (v10s2),	14	100	31	69	76	31
38 (v10s3)	20	100	39	77	66	39
39 (v10s4)	20	100	42	80	67	42
34 (v05s3exp)	40	76	25	138	37	25

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

Tabla 34: Matiz de intervalo y contraste del grupo 7.

Vidrios	Matiz de Intervalo		Contraste		
	Visible	Falso Color	Matiz	Saturación	Brillo
33 (v05s1exp)	Rojo-Naranja	Verde	125	5	0
35 (v05s4exp)	Rojo-Naranja	Verde	131	13	0
36 (v10s1)	Rojo-Naranja	Amarillo-Verde	61	29	0
37 (v10s2)	Rojo-Naranja	Amarillo-Verde	55	24	0
38 (v10s3)	Rojo-Naranja	Amarillo-Verde	57	34	0
39 (v10s4)	Rojo-Naranja	Amarillo-Verde	60	33	0
34 (v05s3exp)	Naranja-Amarillo	Verde	98	39	0

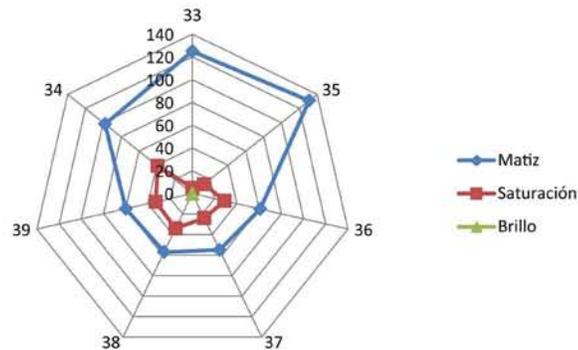
El matiz de intervalo en el visible (V) de las siete muestras es rojo-naranja y naranja-amarillo, y en el falso color (F) corresponden al amarillo-verde y verde (Gráfica 60 y tabla 34).



Gráfica 60: Matices del grupo 7 (V=Visible, F=Falso Color).

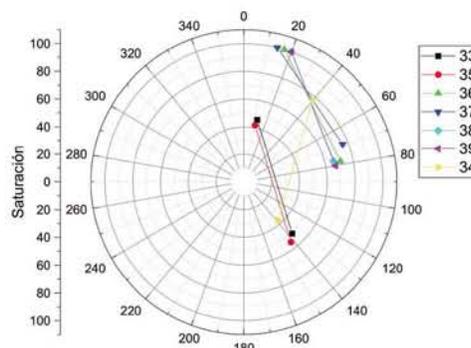
METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

El contraste de matiz presenta valores de 125 y 131 unidades en las muestras con matiz rojo-naranja en el visible y verde en el falso color, valores entre 55 y 61 unidades en las muestras con matiz rojo-naranja en el visible y amarillo-verde en el falso color, y valor de 98 unidades en la muestra con matiz naranja-amarillo en el visible y verde en el falso color; el contraste de saturación presenta valores de 5 y 13 unidades en las muestras con matiz rojo-naranja en el visible y verde en el falso color, de entre 55 y 61 unidades en las muestras con matiz rojo-naranja en el visible y amarillo-verde en el falso color, y 39 unidades en la muestra con matiz naranja-amarillo en el visible y verde en el falso color. El contraste de brillo es de 0 en todas las muestras (Gráfica 61 y tabla 34).



Gráfica 61: Contraste de las muestras del grupo 7.

El contraste de matiz-saturación (Gráfica 62) muestra valores similares en las muestras 36, 37, 38 y 39, destaca una mayor similitud entre los valores de las muestras 36 y 38; las muestras 33 y 35 presentan valores similares. La muestra 34 presentó claramente valores diferentes al resto de las muestras del grupo.



Gráfica 62: Contraste de matiz-saturación del grupo 7.

En el grupo 7, se propone que:

- Las muestras 36, 37, 38 y 39 tienen una composición similar entre sí debido a que su matiz y saturación en el visible y falso color son similares, sus matices de intervalo en el visible y falso color son idénticos, sus contrastes de matiz son similares, y su contraste de matiz-saturación son similares. Destaca una mayor similitud en el contraste de matiz-saturación de las muestras 36, 38 y 39.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

- Las muestras 33 y 35 tienen una composición similar entre sí debido a que su matiz y saturación son similares, sus matices de intervalo en el visible y falso color son idénticos, su contraste de matiz son similares; y su contraste de matiz-saturación son casi idénticos.
- La muestra 34 tiene una composición distinta al resto de las muestras del grupo debido a que su matiz y saturación en el visible y falso color, su matiz de intervalo en el visible, su contraste de matiz y su contraste matiz-saturación es distinto de las demás.

Grupo 8:



Imagen 143: Muestras de vidrios, grupo 8 (Fila superior visible, inferior falso color).

Tabla 35: Datos colorimétricos del grupo 8.

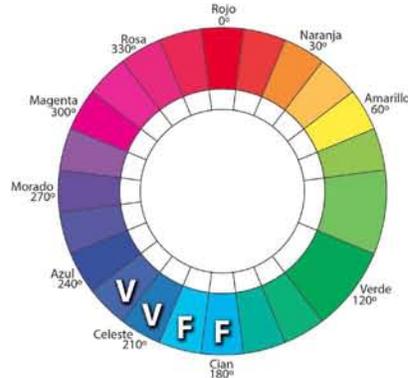
Vidrios	HSB Visible			HSB Falso Color 760nm		
	Muestra	H	S	B	H	S
41 (v06s1)	220	2	49	185	10	49
52 (v13s4)	216	4	51	188	12	50
46 (v08s3)	204	4	53	189	15	52
24 (v07s1)	204	4	50	191	13	49

Tabla 36: Matiz de intervalo y contraste del grupo 8.

Vidrios	Matiz de Intervalo		Contraste		
	Muestra	Visible	Falso Color	Matiz	Saturación
41 (v06s1)	Celeste-Azul	Cian	35	8	0
52 (v13s4)	Celeste	Celeste-Cian	28	8	1
46 (v08s3)	Celeste	Celeste-Cian	15	11	1
24 (v07s1)	Celeste	Celeste-Cian	13	9	1

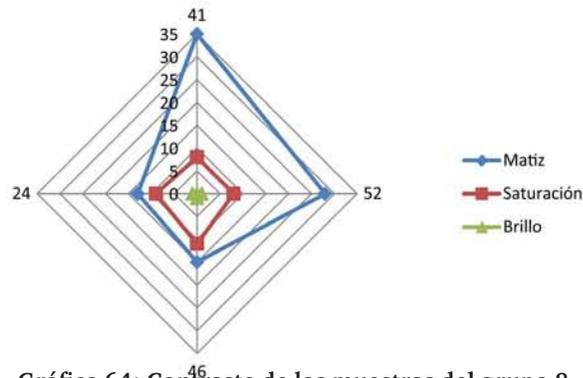
METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

El matiz de intervalo en el visible (V) de las cuatro muestras es Celeste y celeste-azul, y en el falso color (F) corresponden al cian y cian-celeste (Gráfica 63 y tabla 36).



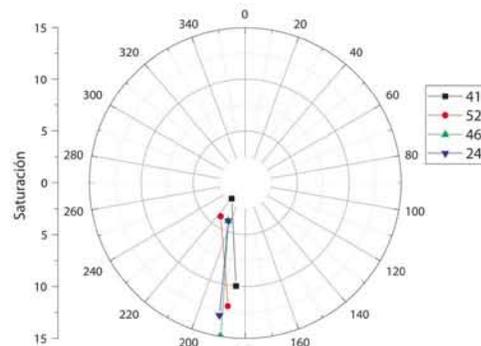
Gráfica 63: Matrices del grupo 8 (V=Visible, F=Falso Color).

El contraste de matiz presenta valores de 13 y 15 unidades en las muestras 46 y 24, la muestra 52 tiene 28 unidades, y la muestra con matiz de intervalo distinto en el grupo (muestra 41) 35 unidades; los valores de contraste de saturación oscilaron entre 8 y 11 unidades en las cuatro muestras. El contraste de brillo oscila entre 0 y 1 en todas las muestras (Gráfica 64 y tabla 36).



Gráfica 64: Contraste de las muestras del grupo 8.

El contraste de matiz-saturación (Gráfica 65) muestra valores similares en las muestras 52 y 41. Las muestras 46 y 24 presentan valores similares.



Gráfica 65: Contraste de matiz-saturación del grupo 8.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

En el grupo 8, se propone que:

- Las muestras 36, 37, 38 y 39 tienen una composición similar entre sí debido a que su matiz y saturación en el visible y falso color son similares, sus matices de intervalo en el visible y falso color son idénticos, sus contrastes de matiz son similares, y su contraste de matiz-saturación son similares. Destaca una mayor similitud en el contraste de matiz-saturación de las muestras 36, 38 y 39.

Grupo 9:

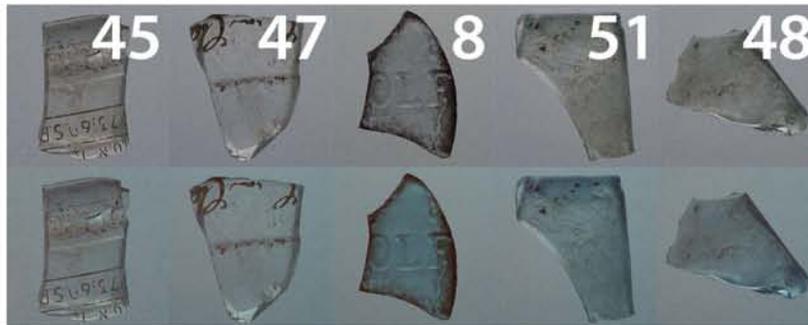


Imagen 144: Muestras de vidrios, grupo 9 (Fila superior visible, inferior falso color).

Tabla 37: Datos colorimétricos del grupo 9.

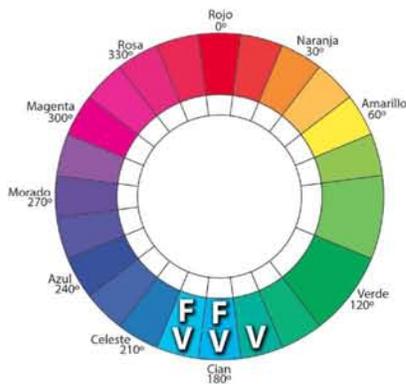
Vidrios	HSB Visible			HSB Falso Color 760nm		
	Muestra	H	S	B	H	S
45 (v08s2)	200	2	49	189	11	48
47 (v08s4)	200	2	53	187	13	53
8 (v04s4)	180	5	43	189	29	43
51 (v11s4)	180	4	49	192	21	49
48 (v11s1)	165	3	45	193	16	45

Tabla 38: Matiz de intervalo y contraste del grupo 9.

Vidrios	Matiz de Intervalo		Contraste		
	Muestra	Visible	Falso Color	Matiz	Saturación
45 (v08s2)	Celeste-Cian	Celeste-Cian	11	9	1
47 (v08s4)	Celeste-Cian	Cian	13	11	0
8 (v04s4)	Cian	Celeste-Cian	9	24	0
51 (v11s4)	Cian	Celeste-Cian	12	17	0
48 (v11s1)	Cian-Verde	Celeste-Cian	28	13	0

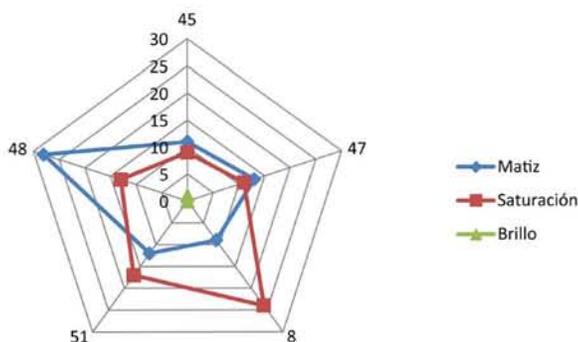
METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

El matiz de intervalo en el visible (V) de las cinco muestras es celeste-cian, cian y cian-verde, y en el falso color (F) corresponden a celeste-cian y cian (Gráfica 66 y tabla 38).



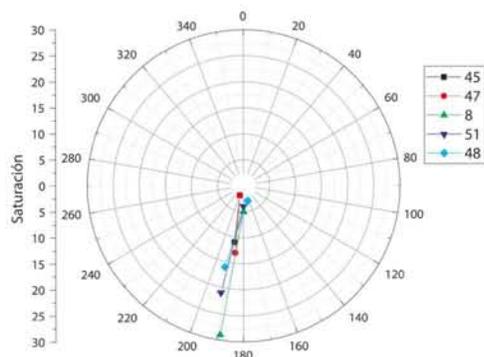
Gráfica 66: Matices del grupo 9 (V=Visible, F=Falso Color).

El contraste de matiz presenta valores que oscilan entre 9 y 13 unidades en las muestras 45, 47, 8 y 51, la muestra 28 presentó un valor de 28 unidades. El contraste de brillo osciló entre 9 y 13 unidades en las muestras 45, 47 y 48, la muestra 51 presenta 17 unidades y la 8 presenta 24 unidades, el contraste de brillo fue de 0 en todas las muestras, exceptuando la 45 que es de 1 unidad (Gráfica 67 y tabla 38).



Gráfica 67: Contraste de las muestras del grupo 9.

El contraste de matiz-saturación (Gráfica 68) muestra valores diversos en todas las muestras.



Gráfica 68: Contraste de matiz-saturación del grupo 9.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

En el grupo 9, se propone que:

- Tienen una composición similar las muestras 45 y 47 debido a que su matiz, saturación y brillo en el visible y falso color son muy similares.
- Tienen una composición similar las muestras 8 y 51 debido a que su matiz, saturación y brillo en el visible y falso color son muy similares.
- La muestra 48 resultó con una composición diferente del resto de las muestras del grupo debido a que sus valores de colorimetría, matices de intervalo, y contrastes fueron distintos del resto de las muestras del grupo.

Grupo 10:



Imagen 145: Muestras de vidrios, grupo 10 (Fila superior visible, inferior falso color).

Tabla 39: Datos colorimétricos del grupo 10.

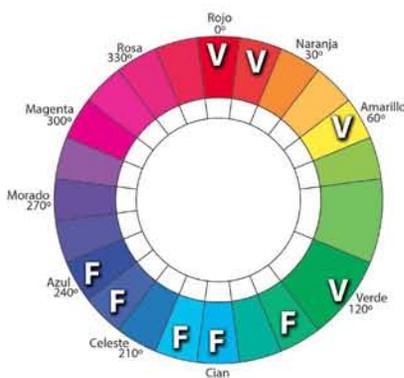
Vidrios	HSB Visible			HSB Falso Color 760nm			
	Muestra	H	S	B	H	S	B
43 (v06s3)		60	1	49	180	8	49
44 (v06s4)		60	1	49	180	8	49
42 (v06s2)		0	0	50	180	10	50
40 (v13s1)		12	8	48	152	14	48
49 (v11s2)		120	4	44	189	23	44
50 (v11s3)		120	3	45	189	22	45
19 (v13s3)		135	13	47	228	17	47
18 (v13s2)		120	22	45	245	22	45

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

Tabla 40: Matiz de intervalo y contraste del grupo 10.

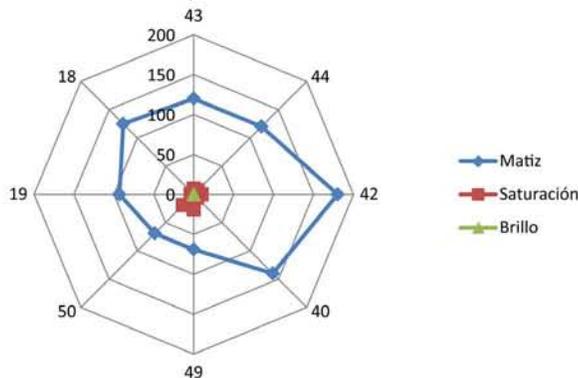
Vidrios	Matiz de Intervalo		Contraste		
	Visible	Falso Color	Matiz	Saturación	Brillo
43 (v06s3)	Amarillo	Cian	120	7	0
44 (v06s4)	Amarillo	Cian	120	7	0
42 (v06s2)	Rojo	Cian	180	10	0
40 (v13s1)	Rojo-Naranja	Verde-Cian	140	6	0
49 (v11s2)	Verde	Celeste-Cian	69	19	0
50 (v11s3)	Verde	Celeste-Cian	69	19	0
19 (v13s3)	Verde	Celeste-Azul	93	4	0
18 (v13s2)	Verde	Azul	125	0	0

El matiz de intervalo en el visible (V) de las ocho muestras es rojo, rojo-naranja, amarillo y verde, y en el falso color (F) corresponden a verde-cian, cian, cian-celeste, cian-azul y azul (Gráfica 69 y tabla 40).



Gráfica 69: Matices del grupo 10 (V=Visible, F=Falso Color).

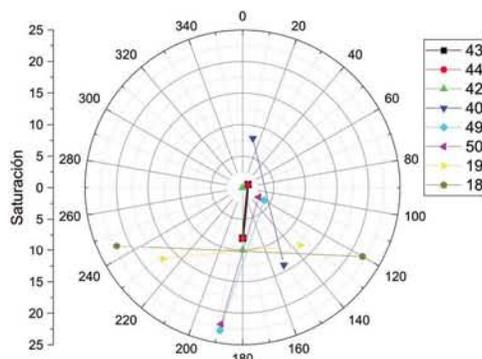
El contraste de matiz y saturación presenta valores idénticos en las muestras con matiz de intervalo amarillo en el visible y cian en el falso color (muestras 43 y 44), las muestras con matiz de intervalo verde en el visible y celeste-cian en el falso color (muestras 49 y 50) presentaron valores de contraste de matiz y saturación idénticos, las muestras 42, 40, 19 Y 18 presentaron valores de contraste distintos entre sí y entre los grupos anteriormente mencionados. Los valores de contraste de brillo oscilan entre 44 y 50 unidades en todas las muestras (Gráfica 70 y tabla 40).



Gráfica 70: Contraste de las muestras del grupo 10.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

El contraste de matiz-saturación muestra valores similares 42, 43 y 44, se destacan valores idénticos en las muestras 43 y 44, presenta valores similares en las muestras 40 y 50; las muestras 40, 19 y 18 presentan valores distintos entre sí y entre los grupos anteriormente mencionados (Gráfica 71).



Gráfica 71: Contraste de matiz-saturación del grupo 10.

En el grupo 10, se propone que:

- Tienen una composición similar las muestras 42, 43 y 44 debido a que sus valores colorimétricos y de contraste son similares, presentando valores idénticos las muestras 43 y 44.
- Las muestras 49, 50 y 19 tienen una composición similar debido a que sus matices son similares y sus matices de intervalo son idénticos, las muestras 49 y 50 presentan valores casi idénticos en matiz y saturación, así como en los contrastes.
- Las muestras 40 y 48 tienen una composición distinta entre sí y entre los grupos anteriormente mencionados, debido a que sus valores colorimétricos, matices de intervalo y contrastes difieren con el resto de las muestras del grupo 10.

Conclusiones del estudio de vidrios:

- La técnica permitió agrupar las distintas muestras en grupos con similitudes de composición de una forma clara, lo que ayudará a planificar futuros análisis de las muestras con técnicas espectroscópicas.
- Luego de obtener los datos colorimétricos de las 52 muestras se lograron proponer 10 grupos tomando en cuenta el matiz de intervalo y la saturación, lo que ayudó a graficar los datos en grupos menores con claras similitudes compositivas.
- En el grupo 1 se propuso que las muestras 14, 15 y 16; y las muestras 1, 4 y 17 tienen una composición similar entre sí.
- En el grupo 2 se propuso que las muestras 10, 11, 12, y 13, tienen una composición similar entre sí; y que la muestra 2 tiene una composición diferente al resto del grupo.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

- En el grupo 3 se propuso que todas las muestras (5, 6, 7 y 8) tienen una composición similar entre sí.
- En el grupo 4 se propuso que todas las muestras (21, 22, 23 y 20) tienen una composición similar entre sí.
- En el grupo 5 se propuso que todas las muestras (25, 26, 27 y 28) tienen una composición similar entre sí.
- En el grupo 6 se propuso que las muestras 30 y 32, tienen una composición similar entre sí; y que las muestras 29 y 31 tienen una composición diferente del grupo y entre sí.
- En el grupo 7 se propuso que las muestras 36, 37, 38 y 39, así como las muestras 33 y 35 tienen una composición similar entre sí; y que la muestra 34 tiene una composición distinta del grupo.
- En el grupo 8 se propuso que todas las muestras (41, 52, 46 y 24) tienen una composición similar entre sí.
- En el grupo 9 se propuso que las muestras 45 y 47, así como las 8 y 51, tienen una composición similar entre sí, y que la muestra 48 presenta una composición distinta al resto del grupo.
- En el grupo 10 se propuso que las muestras 42, 43 y 44, así como las 49, 50 y 19 tienen una composición similar entre sí; y las muestras 40 y 48 tienen una composición distinta del resto de las muestras y entre sí.

10. Determinación de tendencias compositivas por confrontación de información empleando datos obtenidos de materiales de referencia indirectamente comparables

Se puede marcar una tendencia compositiva de una muestra, confrontando la información obtenida contra una base de datos de materiales de referencia, que no son del todo afines al objeto de estudio.

En ocasiones se cuenta con bases de datos de materiales de referencia, elaboradas con técnicas que no son del todo afines al objeto de estudio, pero que fueron hechas con materias primas afines; motivo por el cual, es posible determinar una tendencia compositiva cuando algunos de los datos muestran características similares.

11. Análisis de Corladuras verdes V.S. Tabla de referencia Y4

Tabla Y4 (Temple o Témpera)

ARMADO DEL PANEL

1. El ensamble del panel se realizó con tres tabloncillos de pino con dos travesaños traseros y con cola fuerte de conejo (marca Talas, n. 4)
2. La parte trasera se enfió con hilos de lino sobre las uniones. En las uniones delanteras se colocaron bandas de lino de 5 cm con deshulado de 1.5 cm.
3. El sellado se realizó con tres capas de giscola.

BASE DE PREPARACIÓN

1. El Yeso grosso (cola de conejo 75 g: 1lt agua), el yeso se hidrató previamente durante una noche. La cola se calentó hasta disolver. El yeso se añadió directo de la bolsa y se mezcló suavemente hasta integrar evitando formar burbujas. La mezcla se aplicó caliente y con espátula. La aplicación se dejó secar y reposar durante una semana aproximadamente.
2. El yeso sottile se aplicó en seis capas. Es el yeso hidratado en cubeta con agua purificada por un mes moviendo diariamente. Se formaron “panes” que se dejaron secar para posteriormente molerlos y tamizarlos. El polvo obtenido se agregó a una solución de cola de conejo caliente (75 g: 1500 ml) evitando la formación de burbujas. La mezcla se aplicó con brocha, suavizando y alisado con agua caliente, en direcciones opuestas. El proceso se realizó en un día.
3. El bruñido se logró con la aplicación de polvo de carbón sobre la superficie a modo de grisalla. El raspado se hizo con una navaja en diferentes direcciones hasta obtener superficie blanca y lisa.
4. El sellado de la superficie se realizó con tres capas de aceite de linaza doble cocido.

NOTA: La preparación sufrió de pequeñas fisuras, a pesar de las reparaciones. El secado duró un día.

CAPA PICTÓRICA

TABLA

Imprimatura verde grisácea

El aceite de linaza se usó como aglutinante

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

Fila A:

- A1. El Ocre de mina inglés (Marca Kremer, n. 40191) con aceite de linaza como aglutinante posee buen poder cubriente, pues bastó con la aplicación de una sola capa.
- A2. El Oropimente (Molido directamente de la piedra en el LDOA) con aceite de linaza como aglutinante posee un poder cubriente medio. El secado fue más o menos rápido.
- A3. El Amarillo de Plomo (Lead tin yellow deep, marca Kremer, n. 10120) con aceite de linaza como aglutinante tiene un poder cubriente medio. La mezcla se aplicó en dos capas y aún así se vislumbró el dibujo.
- A4. La Gualda (*Reseda Jaune*, Couleurs de quai, marca Sennelier) es una laca vegetal que debe molerse durante mucho tiempo pues tiende a hacerse granulosa y tiene un tiempo de secado acelerado. Presenta poco poder cubriente por lo que el dibujo se trasluce a pesar de las dos o tres capas que se aplicaron.
- A5. El Arzica (Marca Zecchi, n.50122) tiende a granularse, por lo que la molienda debe prolongarse hasta eliminar esas imperfecciones. El pigmento tiene poco poder cubriente, por lo que el dibujo se trasluce después de las dos o tres capas que se aplicaron.

Fila B:

- B1. El Pardo antílope (Sombra natural, marca Kremer, n. 40241) con aceite de linaza como aglutinante tiene poder cubriente medio. El dibujo aún se trasluce. Le falta una capa.
- B2. La Sombra tostada de Chipre (Marca Kremer, n. 40720) posee un excelente poder cubriente. El tiempo de secado es rápido.
- B3. El Ocre alemán oscuro (Dark ochre, marca Kremer, n. 40310) con aceite de linaza como aglutinante tiene un excelente poder cubriente. El tiempo de secado es rápido.
- B4. La Tierra de Siena tostada oscura (Marca Kremer, n. 40430) posee un excelente poder cubriente. El tiempo de secado es rápido.
- B5. El betún de judea (*Bifume de judee*, marca Sennelier) tiende a formar muchos grumos por lo que debe molerse perfectamente. El pigmento con aceite de linaza como aglutinante presenta gran poder cubriente. El tiempo de secado es acelerado.

Fila C:

- C1. El Cinabrio (Molido en el LDOA) con aceite de linaza como aglutinante como primera capa se sustituyó por cinabrio (Marca Kremer, n. 12000) debido a su dificultad de molienda y alto contenido de impurezas que presenta. El cinabrio (marca Kremer) presenta un excelente poder cubriente.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

- C2. La Hematita natural (Molida en el LDOA) con el aceite de linaza como aglutinante posee un excelente poder cubriente.
- C3. El Minio (Marca Kremer, n. 42500) con aceite de linaza como aglutinante tiene un poder cubriente medio. El dibujo se trasluce a pesar de las dos o tres capas que se aplicaron. Sucede algo curioso: si se desea reaplicar color, la nueva capa se contrae como si se colocara agua sobre aceite.
- C4. La Cochinilla (Ácido Carminico *Tlapanochestli*) con aceite de linaza como aglutinante posee un poder cubriente medio.
- C5. El Carmín de alizarina (Marca Zecchi, n. 661) con aceite de linaza como aglutinante tiene un poder cubriente medio.

Fila D:

- D1. La Laca rubia (Marca Zecchi) con aceite de linaza como aglutinante presenta un poder cubriente medio, pues se aplicaron varias capas y aún así se transparenta el dibujo.
- D2. La Azurita natural (Marca Zecchi, n. 10210) con aceite de linaza como aglutinante posee un excelente poder cubriente.
- D3. El Esmalte (Smalt fine, marca Kremer, n. 10010) es muy granuloso por lo que debe molerse perfectamente. El pigmento presenta un poder cubriente medio, por lo que el dibujo se trasluce a pesar de las dos o tres capas aplicadas. El tiempo de secado es rápido.
- D4. El Lapislázuli (de Mineralia molido en el LDOA) con aceite de linaza como aglutinante presenta muy buen poder cubriente.
- D5. El Añil o índigo (Marca Santiago) tiende a hacerse un poco grumoso por lo que debe molerse perfectamente. El pigmento con aceite de linaza como aglutinante presenta un excelente poder cubriente.

Fila E:

- E1. El Resinato de cobre (Preparado en el LDOA) es muy translúcido, por lo que se le agregaron pequeñas porciones de blanco de plomo (marca KremerR), ocre (marca KremerR, n. 40191) y negro de vid (marca KremerR, n. 47010). La mezcla posee un poder cubriente medio, pues el dibujo se trasluce después de la aplicación de tres o cuatro capas.
- E2. La Malaquita natural (Molida en el LDOA) tiene un poder cubriente medio, pues el dibujo se trasluce después de dos o tres capas aplicadas.
- E3. La Terre verde (Marca Kremer, n. 40810) con aceite de linaza como aglutinante tiene un poder cubriente medio, pues el dibujo se trasluce a pesar de las dos o tres capas que se aplicaron. El tiempo de secado es rápido.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

E4. El Negro de huesos o marfil (Marca Kremer, n. 47150) presenta un excelente poder cubriente.

E5. El Negro de vid francés (Marca Kremer, n. 47010) posee un excelente poder cubriente

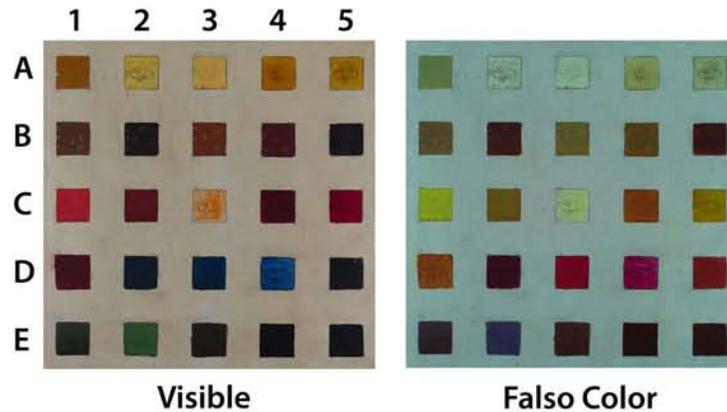


Imagen 146: Tabla Y4.

Para el estudio de imagen infrarroja de falso color, se hicieron 7 grupos de pigmentos organizados por color:

Pigmentos Amarillos (naranjas/naranjas-amarillos):

Tabla 41: Datos colorimétricos de los pigmentos Amarillos.

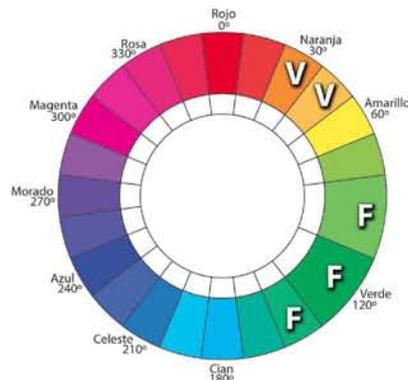
Tabla Y4	HSB Visible			HSB Falso Color 760nm		
Pigmento	H	S	B	H	S	B
A1 Ocre de mina inglés	32	89	45	94	41	45
A2 Oropimente	46	65	63	145	25	63
A3 Amarillo de plomo	43	66	65	137	26	65
A4 Gualda	36	99	55	87	40	55
A5 Arzica	43	97	57	110	29	57

Tabla 42: Matiz de intervalo y contraste de los pigmentos Amarillos.

Tabla Y4	Matiz de Intervalo		Contraste		
Pigmento	Visible	Falso Color	Matiz	Saturación	Brillo
A1 Ocre de mina inglés	Naranja	Verde-Amarillo	62	48	0
A2 Oropimente	Naranja-Amarillo	Verde-Cian	99	40	0
A3 Amarillo de plomo	Naranja-Amarillo	Verde	94	40	0
A4 Gualda	Naranja	Verde-Amarillo	51	59	0
A5 Arzica	Naranja-Amarillo	Verde	67	68	0

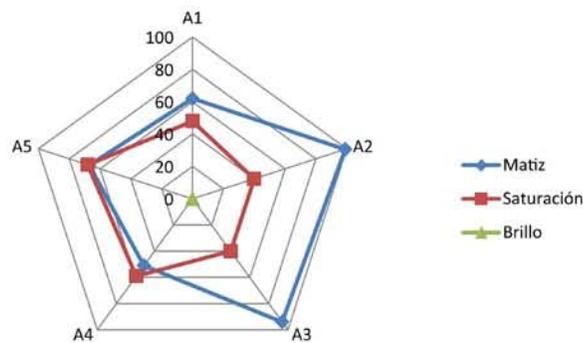
METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

El matiz de intervalo en los pigmentos Amarillos corresponde en el visible al naranja y naranja-amarillo, y en el falso color al verde-amarillo, verde y cian-verde. Las muestras A1 y A4, así como las A3 y A5, presentan los mismos matices de intervalo en el visible y falso color (Gráfica 72 y tabla 42).



Gráfica 72: Matices de intervalo de los pigmentos Amarillos.

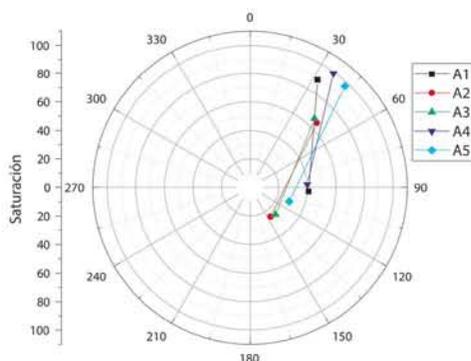
El contraste de matiz en las muestras A2 y A3 presenta valores similares de 99 y 94 unidades, las muestras A1 y A5 presentan también valores similares de 62 y 67 unidades, la muestra A4 presento el valor más bajo con 51 unidades; el contraste de matiz de las muestras A2 y A3 fue idéntico con 40 unidades, el resto de las muestras presentó valores entre 48 y 68 unidades. El contraste de brillo en todas las muestras es de 0 unidades (Gráfica 73 y tabla 42).



Gráfica 73: Contraste de los pigmentos Amarillos.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

El contraste de matiz-saturación presenta valores similares en las muestras A2 y A3, las muestras A1 y A4 presentaron valores similares en el visible pero en el falso color presentaron un matiz similar pero difirieron en su saturación. La muestra A5 presentó valores distintos al resto de las muestras (Gráfica 74).



Gráfica 74: Contraste de matiz-saturación de los pigmentos Amarillos.

Para los pigmentos Amarillos se propone que:

- Esta técnica no puede diferenciar entre el oropimente (A2) del amarillo de plomo KremerR No. 10120 (A3), debido a que sus datos colorimétricos y de contraste, resultan similares entre sí.
- Esta técnica puede diferenciar entre el Ocre de mina inglés Kremer No. 40191 (A1) y la Gualda SennelierR (A4), únicamente por la diferencia de contraste de matiz, el cual difiere por más de 10 unidades, resultado de su diferencia de matiz en el falso color; cabe señalar que estos pigmentos presentaron matices de intervalo idénticos.
- La Arzica Zecchi No. 50122 (A5) es el único pigmento de este grupo que se diferencia fácilmente, ya que presenta claramente valores colorimétricos y de contraste que difieren del resto de las muestras amarillas.

Pigmentos Azules (Celestes/Celestes-Azules):

Tabla 43: Datos colorimétricos de los pigmentos Azules.

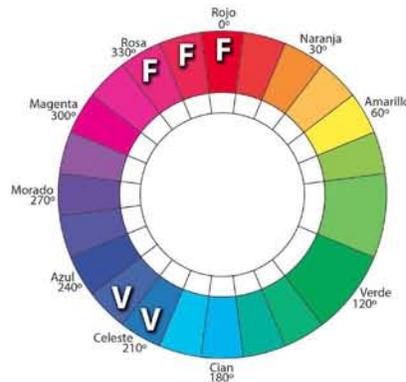
Tabla Y4	HSB Visible			HSB Falso Color 760nm		
Pigmento	H	S	B	H	S	B
D2 Azurita natural	208	53	14	341	68	20
D3 Esmalte	211	86	22	346	93	42
D4 Lapizlázuli	210	92	42	331	92	43
D5 Azul añil (Índigo)	225	15	11	359	76	38

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

Tabla 44: Matiz de intervalo y contraste de los pigmentos Azules.

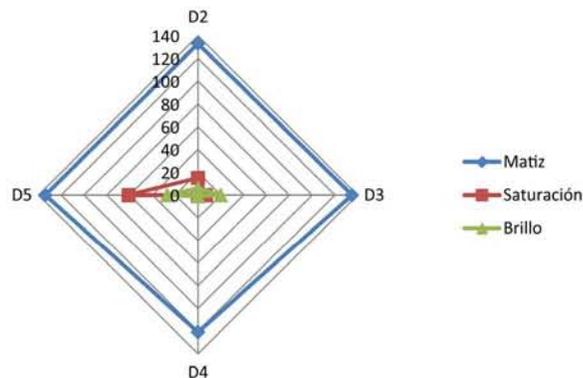
Tabla Y4 Pigmento	Matiz de Intervalo		Contraste		
	Visible	Falso Color	Matiz	Saturación	Brillo
D2 Azurita natural	Celeste	Rosa-Rojo	133	15	6
D3 Esmalte	Celeste	Rosa-Rojo	135	7	20
D4 Lapizlázuli	Celeste	Rosa	121	0	1
D5 Azul añil (Índigo)	Celeste-Azul	Rojo	134	61	27

El matiz de intervalo (Gráfica75 y tabla 44) de los pigmentos Azules es el celeste y el azul-celeste en el visible, y en el falso color oscila entre el rosa y el rojo. Las muestras D2 y D3 presentan los mismos matices de intervalo en el visible y el falso color.



Gráfica 75: Matices de intervalo de los azules.

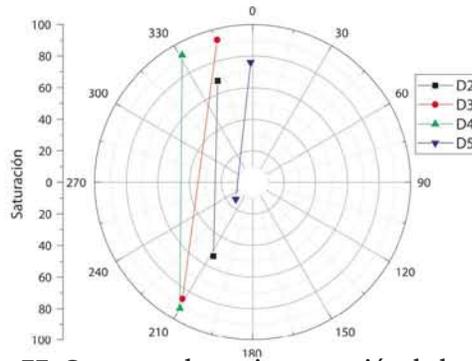
El contraste de matiz (Gráfica76 y tabla 44) en los azules presentó valores similares entre las muestras D2, D3 y D5, con valores entre 133 y 135 unidades, la muestra D4 presentó el valor más bajo con 121 unidades; todas las muestras presentaron valores de contraste de saturación diferentes, así como de contraste de brillo.



Gráfica 76: Contraste de los azules.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

El contraste de matiz saturación, presenta diferentes valores para todas las muestras azules (Gráfica77).



Gráfica 77: Contraste de matiz-saturación de los azules.

Para los azules se propone que:

- Esta técnica puede diferenciar entre los pigmentos Lapizlázuli de Mineralia (D4) y Azul añil Santiago (D5) (Índigo), debido a que sus valores colorimétricos y de contraste de matiz-saturación, difieren entre sí.
- Los pigmentos Azurita natural Zecchi No. 10210 y Esmalte Kremer No. 10010 no son diferenciables entre sí debido a que la información colorimétrica y de contraste resulta muy similar; aunque cabe destacar que difieren en sus valores de saturación en falso color.

Pigmentos Cafés (Naranja-Amarillo/Amarillo):

Tabla 45: Datos colorimétricos de los pigmentos cafés.

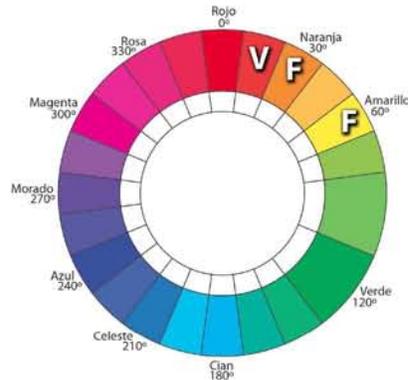
Tabla Y4	HSB Visible			HSB Falso Color 760nm		
Pigmento	H	S	B	H	S	B
B1 Pardo antílope	19	58	28	45	46	31
B3 Ocre oscuro	16	75	33	59	55	33

Tabla 46: Matiz de intervalo y contraste de los pigmentos cafés.

Tabla Y4	Matiz de Intervalo		Contraste		
Pigmento	Visible	Falso Color	Matiz	Saturación	Brillo
B1 Pardo antílope	Rojo-Naranja	Naranja-Amarillo	26	12	3
B3 Ocre oscuro	Rojo-Naranja	Amarillo	43	20	0

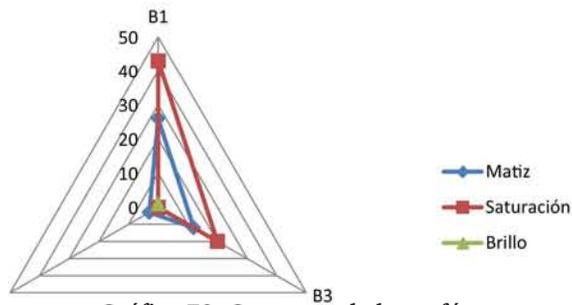
METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

El matiz de intervalo corresponde en el visible al rojo-naranja, y en el falso color al naranja y al amarillo (Gráfica 78 y tabla 46).



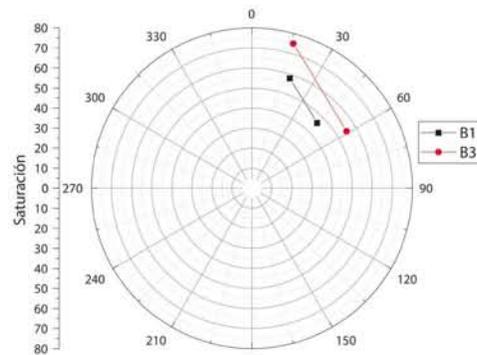
Gráfica 78: Matrices de intervalo de los cafés.

El contraste de matiz, saturación y brillo, difieren claramente entre las muestras B1 y B3 (Gráfica 79 y tabla 46).



Gráfica 79: Contraste de los cafés.

El contraste de matiz-saturación presenta claramente valores distintos en el falso color de las muestras B1 y B3 (Gráfica 80).



Gráfica 80: Contraste de matiz-saturación de los cafés.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

Para los cafés se propone que:

Esta técnica puede diferenciar entre el Pardo antílope Kremer No. 40241 (B1) y el Ocre alemán oscuro Kremer No. 40310 (B3), debido a que sus datos colorimétricos y de contraste difieren claramente entre sí.

Pigmento Naranja:

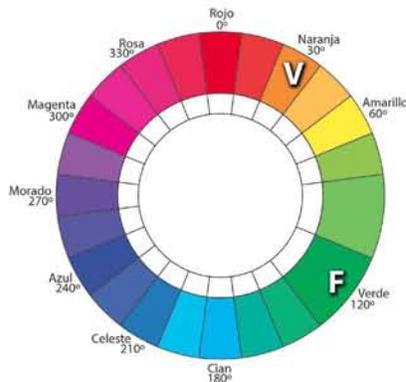
Tabla 47: Datos colorimétricos del pigmento naranja.

Tabla Y4	HSB Visible			HSB Falso Color 760nm		
Pigmento	H	S	B	H	S	B
C3 Minio	28	88	66	88	47	66

Tabla 48: Matiz de intervalo y contraste del pigmento naranja.

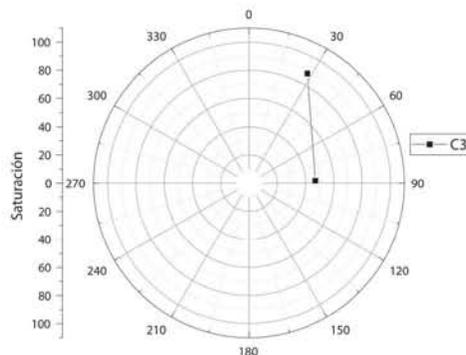
Tabla Y4	Matiz de Intervalo		Contraste		
Pigmento	Visible	Falso Color	Matiz	Saturación	Brillo
Minio	Naranja	Verde-Amarillo	60	41	0

El matiz de intervalo (Gráfica 81 y tabla 48) en la muestra C3 es Naranja en el visible y verde-amarillo en el falso color.



Gráfica 81: Matrices de intervalo del naranja.

Los datos de contraste de matiz, saturación, brillo y matiz-saturación se presentan en la Gráfica 82 y tabla 48.



Gráfica 82: Contraste de matiz-saturación del naranja.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

Para el pigmento Naranja se propone que:

- El Minio Kremer No. 42500 es la única muestra que presentó color naranja por lo que no se ha contrastado con ninguna otra muestra, los datos de este estudio presentan el comportamiento colorimétrico y de contraste de la muestra.

Pigmentos Negros:

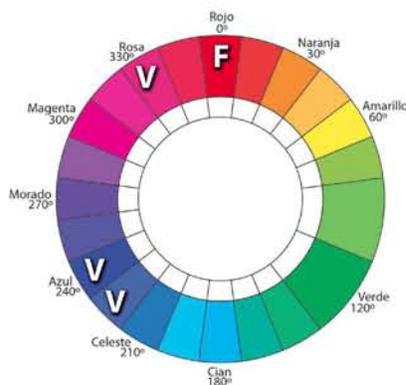
Tabla 49: Datos colorimétricos de los pigmentos Negros.

Tabla Y4	HSB Visible			HSB Falso Color 760nm		
Pigmento	H	S	B	H	S	B
B2 Sombra tostada	330	8	10	4	55	21
B5 Betún de Judea	240	11	11	0	51	19
E4 Negro marfil o de huesos	228	25	8	357	55	13
E5 Negro de vid francés	240	16	10	0	36	13

Tabla 50: Matiz de intervalo y contraste de los pigmentos Negros.

Tabla Y4	Matiz de Intervalo		Contraste		
Pigmento	Visible	Falso Color	Matiz	Saturación	Brillo
B2 Sombra tostada	Rosa	Rojo	34	47	11
B5 Betún de Judea	Azul	Rojo	120	40	8
E4 Negro marfil o de huesos	Celeste-Azul	Rojo	129	30	5
E5 Negro de vid francés	Azul	Rojo	120	20	3

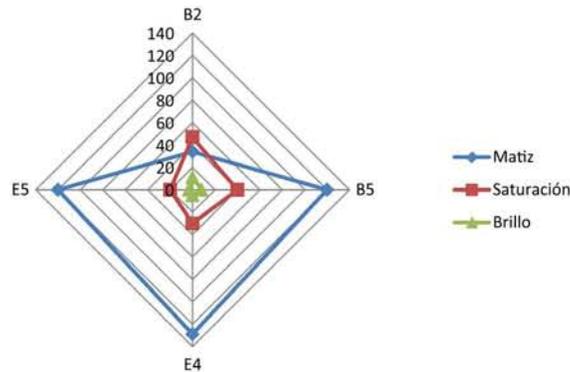
El matiz de intervalo (Gráfica 83 y tabla 50) para los pigmentos negros es celeste-azul, azul y rosa en el visible, y en el falso color es rojo.



Gráfica 83: Matrices de intervalo de los negros.

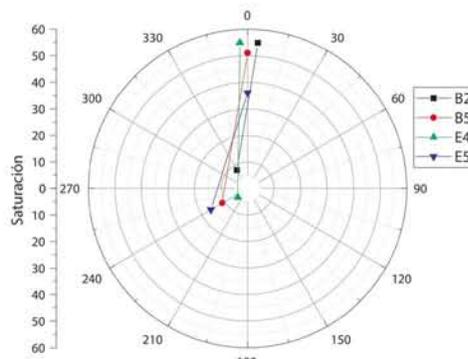
METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

El contraste de matiz (Gráfica 84 y tabla 50) de las muestras B5 y E5 es idéntico con 120 unidades, la muestra E4 presento el valor más alto con 129 unidades y la B2 el más bajo con 34 unidades; el contraste de saturación y brillo presento valores diversos para todas las muestras.



Gráfica 84: Contraste de los negros.

El contraste de matiz-saturación (Gráfica 85), presento valores similares en las muestras B5, E4 y E5; la muestra B2 presento valores distintos del resto de las muestras.



Gráfica 85: Contraste de matiz-saturación de los negros.

Para los pigmentos Negros se propone que:

- No es posible diferenciar entre el Betún de Judea SennelierR (B5), el negro de huesos o marfil KremerR No. 47150 (E4) y el negro de vid francés KremerR No. 47010 (E5), debido a que los datos colorimétricos y de contraste son similares entre sí.
- La sombra tostada de Chipre KremerR No. 40720 (B2), presenta información colorimétrica y de contraste que lo diferencia del resto de las muestras negras.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

Pigmentos Rojos (Rosa-Rojo/Rojo):

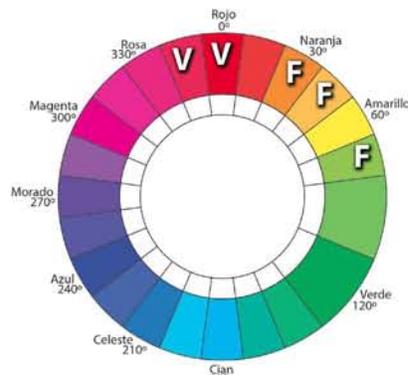
Tabla 51: Datos colorimétricos de los pigmentos Rojos.

Tabla Y4	HSB Visible			HSB Falso Color 760nm		
Pigmento	H	S	B	H	S	B
B4 Tierra de siena tostada	355	62	24	40	71	31
C1 Cinabrio	355	81	59	73	81	59
C2 Almagre (Hematita)	355	73	30	47	77	36
C4 Laca carmín Tlapano- cheztli, Cochinilla	345	74	21	24	88	44
C5 Carmín de alizarina	345	96	38	52	96	44
D1 Laca rubia	348	66	24	26	82	45

Tabla 52: Matiz de intervalo y contraste de los pigmentos Rojos.

Tabla Y4	Matiz de Intervalo		Contraste		
Pigmento	Visible	Falso Color	Matiz	Saturación	Brillo
B4 Tierra de siena tostada	Rojo	Naranja-Amarillo	45	9	7
C1 Cinabrio	Rojo	Amarillo-Verde	78	0	0
C2 Almagre (Hematita)	Rojo	Naranja-Amarillo	52	4	6
C4 Laca carmín Tlapano- cheztli, Cochinilla	Rosa-Rojo	Naranja	39	14	23
C5 Carmín de alizarina	Rosa-Rojo	Naranja-Amarillo	67	0	6
D1 Laca rubia	Rosa-Rojo	Naranja	38	16	21

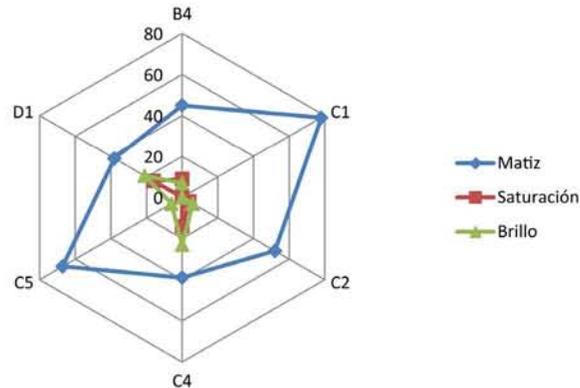
El matiz de intervalo (Gráfica 86 y tabla 52) para los pigmentos Rojos es rosa-rojo y rojo en el visible y naranja, naranja-amarillo y verde-amarillo en el falso color; las muestras B4 y C2, presentan los mismos matices de intervalo, también las muestras C4 y D1.



Gráfica 86: Matices de intervalo de los pigmentos Rojos.

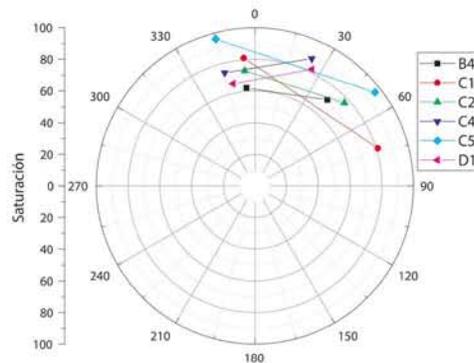
METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

El contraste de matiz (Gráfica 87 y tabla 52) en los rojos presentó valores similares entre las muestras C4 y D1 con 39 y 38 unidades, el resto de las muestras presentó valores que oscilan entre 45 y 78 unidades; los contrastes de saturación y brillo también fueron similares para las muestras anteriormente mencionadas.



Gráfica 87: Contraste de los rojos.

El contraste de matiz-saturación (Gráfica 88) presenta valores similares entre las muestras D1 y C4, el resto de las muestras presenta valores diferentes entre sí.



Gráfica 88: Contraste de matiz-saturación de los rojos.

Para los pigmentos Rojos se propone que:

- La Sombra tostada de Siena oscura KremerR No. 40430 (B4), el Cinabrio KremerR No. 12000 (C1), la Hematita natural (C2) y el carmín de alizarina ZecchiR No. 661 (C5), son diferenciables entre sí debido a que presentan datos colorimétricos y contrastes diferentes entre sí.
- La cochinilla (Ácido Carminico *Tlapanochestli*, C4) y la Laca Rubia ZecchiR (D1), presentan datos colorimétricos y de contraste similares entre sí por lo que no es posible una clara distinción entre estas muestras.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

Pigmentos Verdes (Verde/Naranja):

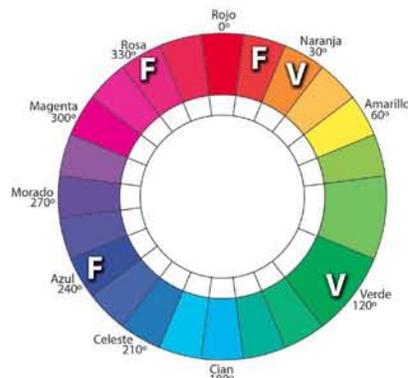
Tabla 53: Datos colorimétricos de los pigmentos Verdes.

Tabla Y4	HSB Visible			HSB Falso Color 760nm		
Pigmento	H	S	B	H	S	B
E1 Resinato de cobre	100	16	15	330	19	16
E2 Malaquita	120	41	27	234	46	27
E3 Tierra verde	30	21	11	9	46	18

Tabla 54: Matiz de intervalo y contraste de los pigmentos Verdes.

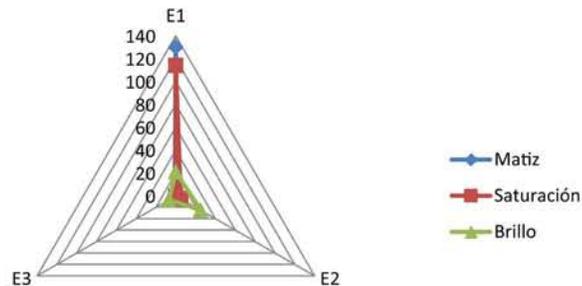
Tabla Y4	Matiz de Intervalo		Contraste		
Pigmento	Visible	Falso Color	Matiz	Saturación	Brillo
E1 Resinato de cobre	Verde	Rosa	130	3	1
E2 Malaquita	Verde	Azul	114	5	0
E3 Tierra verde	Naranja	Rojo-Naranja	21	25	7

El matiz de intervalo de las muestras verdes en el visible es verde y naranja, en el falso color es Azul, rosa y rojo-naranja (Gráfica 89 y tabla 54).



Gráfica 89: Matrices de intervalo de los pigmentos Verdes.

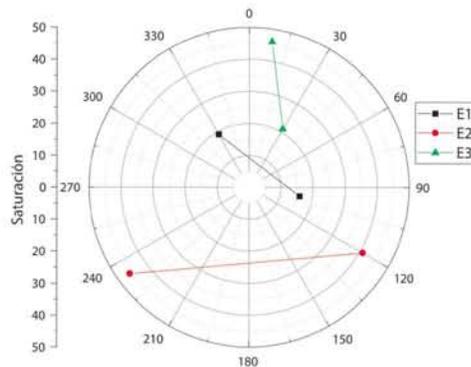
El contraste de matiz, saturación y brillo; presento valores diferentes entre todas las muestras verdes (Tabla 54 y gráfica 90).



Gráfica 90: Contraste de los pigmentos Verdes.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

El contraste de matiz-saturación, presentó valores diferentes entre todas las muestras verdes (Gráfica 91).



Gráfica 91: Contraste de matiz-saturación de los pigmentos Verdes.

Para los pigmentos Verdes se propone que:

El Resinato de Cobre, la Malaquita natural y la Tierra verde Kremer No. 40810, presentan datos colorimétricos y de contraste distintos entre sí por lo que es posible hacer una diferenciación entre estos.

Corladuras verdes – Figuras de arte novohispano

A continuación se presenta el estudio de imagen infrarroja de falso color de dos figuras pertenecientes a la Colección del Museo del Virreinato, Antiguo Colegio de San Francisco Javier en Tepetzotlán, México.

Se analizaron las zonas con corladuras* verdes para poder identificar el tipo de pigmento.

Estas figuras corresponden a dos figuras de arte novohispano que representan a los arcángeles San Gabriel y San Rafael.

* Corladura: Barniz sobre una pieza plateada de bruñido

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

San Gabriel:



Imagen 147: Figura de San Gabriel.

Fueron seleccionadas nueve zonas de análisis (Imagen 147), mismas que arrojaron los siguientes datos:

Tabla 55: Datos colorimétricos de las corladuras verdes en San Gabriel.

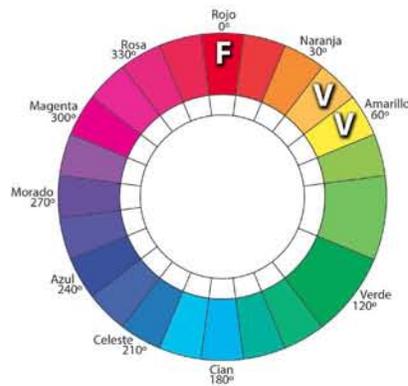
San Gabriel	HSB Visible			HSB Falso Color 760nm		
	H	S	B	H	S	B
Muestra						
1g	53	37	9	1	63	25
2g	51	48	11	3	60	27
3g	54	49	17	3	53	35
4g	57	44	16	1	52	33
5g	56	49	14	1	59	32
6g	55	71	22	5	40	34
7g	60	32	9	0	66	25
8g	55	55	9	2	64	23
9g	54	34	11	1	60	27

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

Tabla 56: Matiz de intervalo y contraste de las corladuras verdes en San Gabriel.

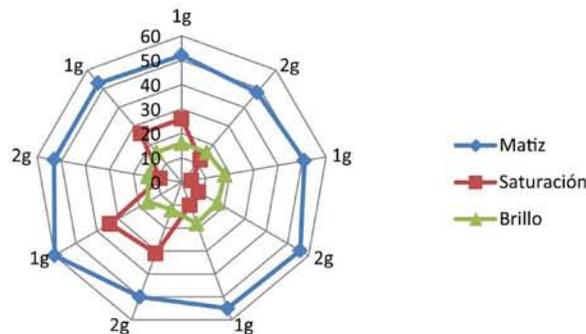
San Gabriel	Matiz de Intervalo		Contraste		
	Visible	Falso Color	Matiz	Saturación	Brillo
1g	Amarillo	Rojo	52	26	16
2g	Naranja-Amarillo	Rojo	48	12	16
3g	Amarillo	Rojo	51	4	18
4g	Amarillo	Rojo	56	8	17
5g	Amarillo	Rojo	55	10	18
6g	Amarillo	Rojo	50	31	12
7g	Amarillo	Rojo	60	34	16
8g	Amarillo	Rojo	53	9	14
9g	Amarillo	Rojo	53	26	16

El matiz de intervalo corresponde en el visible al naranja-amarillo y amarillo, la única muestra que presentó un matiz de intervalo distinto fue la 2g (Gráfica 92 y tabla 56).



Gráfica 92: Matices de intervalo de las corladuras verdes en San Gabriel.

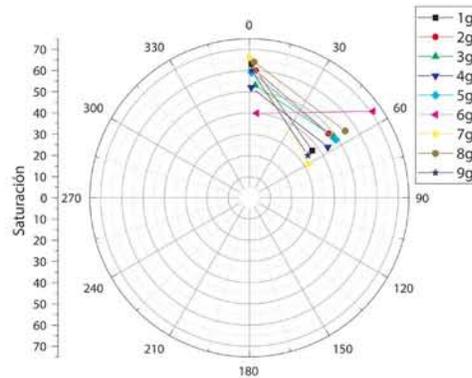
El contraste de matiz en todas las muestras osciló entre 48 y 60 unidades, la saturación entre 8 y 34 unidades; y el brillo entre 12 y 18 unidades (Gráfica 93 y tabla 56).



Gráfica 93: Contraste de las corladuras verdes en San Gabriel.

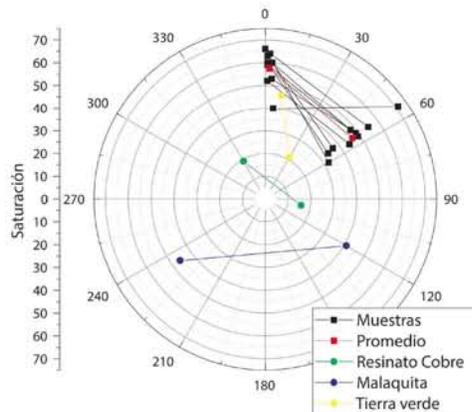
METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

El contraste de matiz-saturación de las nueve muestras presenta valores similares en el matiz, pero diferente en la saturación (Gráfica 94).



Gráfica 94: Contraste de matiz-saturación de las corladuras verdes en San Gabriel.

Confrontando de los resultados obtenidos V.S. los pigmentos verdes de la tabla Y4 por medio del contraste de matiz saturación se puede observar que hay una mayor correspondencia con el pigmento Tierra verde, debido a que presenta los valores de matiz más similares en el falso color al resto de los pigmentos verdes (Gráfica 95).



Gráfica 95: Contraste de matiz-saturación de las corladuras verdes en San Gabriel V.S. los pigmentos verdes de la tabla Y4.

Para las corladuras verdes de San Gabriel se propone que:

- Las nueve zonas analizadas presentan una composición material similar entre sí.
- El contraste de matiz-saturación presenta una tendencia compositiva de la corladura verde hacia el pigmento Tierra Verde, presentando una mayor correspondencia en el matiz de falso color que en el matiz visible.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

San Rafael:



Imagen 148: Figura de San Rafael.

Fueron seleccionadas nueve zonas de análisis (Imagen 148), mismas que arrojaron los siguientes datos:

Tabla 57: Datos colorimétricos de las corladuras verdes en San Rafael.

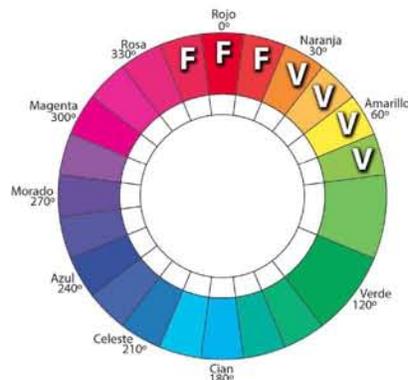
San Rafael	HSB Visible			HSB Falso Color 760nm		
	Muestra	H	S	B	H	S
1r	37	29	24	9	46	40
2r	43	32	9	2	72	28
3r	55	67	15	3	54	31
4r	54	54	15	1	54	31
5r	55	48	19	3	46	33
6r	57	56	25	4	32	36
7r	46	61	11	5	66	28
8r	56	56	44	13	15	49
9r	70	55	22	350	38	31

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

Tabla 58: Matiz de intervalo y contraste de las corladuras verdes en San Rafael.

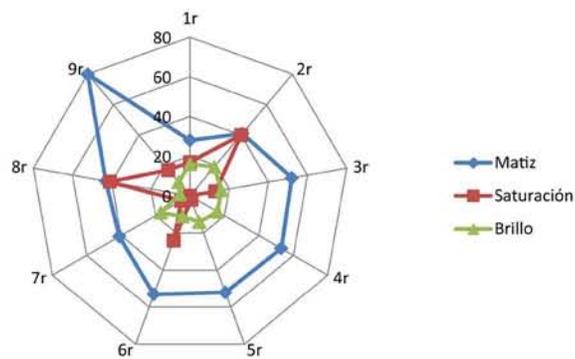
San Rafael	Matiz de Intervalo		Contraste		
	Visible	Falso Color	Matiz	Saturación	Brillo
1r	Naranja	Rojo-Naranja	28	17	16
2r	Naranja-Amarillo	Rojo	41	40	19
3r	Amarillo	Rojo	52	13	16
4r	Amarillo	Rojo	53	0	16
5r	Amarillo	Rojo	52	2	14
6r	Amarillo	Rojo	53	24	11
7r	Naranja-Amarillo	Rojo	41	5	17
8r	Amarillo	Rojo-Naranja	43	41	5
9r	Amarillo-Verde	Rosa-Rojo	80	17	9

El matiz de intervalo (Gráfica 96 y tabla 58) de las corladuras verdes en San Rafael oscila entre el Naranja y el amarillo-verde en el visible, en el falso color oscila entre el rosa-rojo y el rojo-naranja. La muestra 9r presentó matices de intervalo distintos del resto de las muestras.



Gráfica 96: Matices de intervalo de las corladuras verdes en San Rafael.

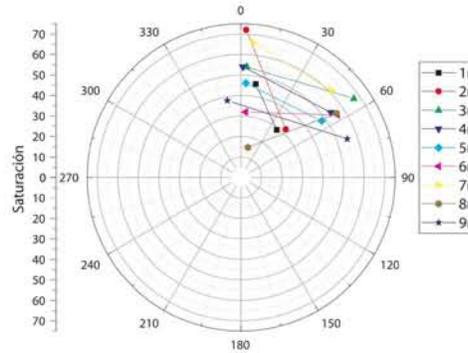
El contraste de matiz (Gráfica 97 y tabla 58) presentó valores que oscilan entre 41 y 53 unidades para las muestras 2r a la 8 r, las muestras 1r y 9 r presentaron valores fuera del intervalo anteriormente mencionado.



Gráfica 97: Contraste de las corladuras verdes en San Rafael.

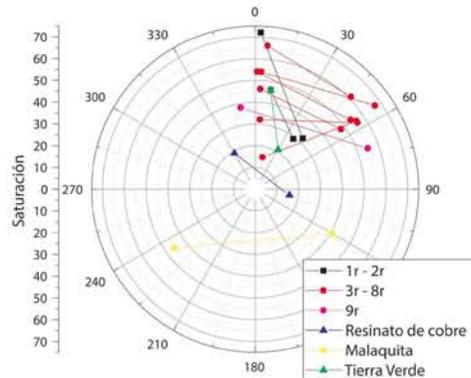
METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

El contraste de matiz-saturación (Gráfica 98) presenta valores similares entre las muestras 1r y 2r, también entre las muestras 3r a la 8r; la muestra 9r tiene valores diferentes al resto de las muestras.



Gráfica 98: Contraste de matiz-saturación de las corladuras verdes en San Rafael.

Confrontando los datos de las corladuras verdes contra los pigmentos verdes de la tabla y4 por medio del contraste de matiz-saturación (Gráfica 99), podemos observar que todas las muestras presentan más o menos la misma composición y tienen una tendencia compositiva más cercana al pigmento Tierra verde.



Gráfica 99: Contraste de matiz-saturación de las corladuras verdes en San Rafael V.S. los pigmentos verdes de la tabla Y4.

Para las corladuras verdes de San Gabriel se propone que:

- Las nueve muestras analizadas presentan una composición material similar, destacando una mayor correspondencia entre las muestras 1r y 2r, así como 3r, 4r, 5r, 6r, 7r y 8r; la muestra 9r presentó valores que difieren del resto de las muestras.
- El contraste de matiz-saturación presentó una tendencia compositiva de la corladura verde hacia el pigmento Tierra Verde, presentando una mayor correspondencia en el matiz de falso color que en el matiz visible.

12. Caracterización del material por confrontación de información, empleando datos obtenidos de materiales de referencia directamente comparables

Este tipo de resultado se obtiene de comparar la información obtenida de las muestras con bases de datos hechas con materiales de referencia con técnicas de manufactura y materiales afines al objeto de estudio en cuestión.

Estas caracterizaciones se logran cuando hay una concordancia entre los datos obtenidos de las muestras y las bases de datos correspondientes.

13. Análisis del color Azul, en la pintura “Virgen de la leche”

Óleo sobre tablero de álamo, Jacopo Carucci da Pontormo, Colección del Museo Nacional de San Carlos, Ciudad de México.

Esta pieza fue analizada en el marco de la exposición “Secretos del Arte, Historia y Ciencia para el estudio de la colección del MNSC” (Museo Nacional de San Carlos, CDMX, México, 2017).



Imagen 149: Pintura “Virgen de la leche” (Visible, izquierda; falso color, derecha).

Se seleccionaron 12 zonas de análisis para el color azul (Imagen 149).

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

Tabla 59: Datos colorimétricos de los azules.

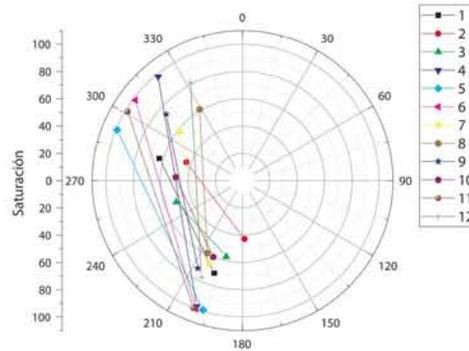
Azules	HSB Visible			HSB Falso Color 760nm		
Muestra	H	S	B	H	S	B
1	197	71	37	285	63	30
2	178	43	27	288	43	27
3	192	57	49	252	51	44
4	200	98	18	321	98	19
5	197	99	38	292	99	27
6	200	100	25	307	98	18
7	202	66	25	308	58	21
8	206	59	23	329	61	24
9	207	72	24	331	74	26
10	201	60	38	273	49	30
11	201	100	29	301	98	20
12	203	77	12	332	81	15

Tabla 60: Matiz de intervalo y contraste de los azules.

Azul	Matiz de Intervalo		Contraste		
Muestra	Visible	Falso Color	Matiz	Saturación	Brillo
1	Celeste-Cian	Morado-Magenta	88	8	7
2	Cian	Morado-Magenta	110	0	0
3	Celeste-Cian	Azul-Morado	60	6	5
4	Celeste-Cian	Magenta-Rosa	121	0	1
5	Celeste-Cian	Morado-Magenta	95	0	11
6	Celeste-Cian	Magenta	107	2	7
7	Celeste-Cian	Magenta-Rosa	106	8	4
8	Celeste	Rosa	123	2	1
9	Celeste	Rosa	124	2	2
10	Celeste-Cian	Morado	72	11	8
11	Celeste-Cian	Magenta	100	2	9
12	Celeste	Rosa	129	4	3

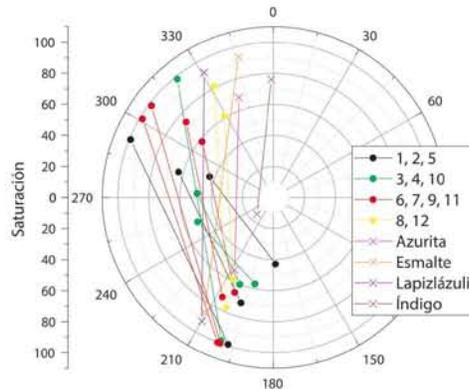
METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

El contraste de matiz saturación (Gráfica 102) presentó valores similares de matiz entre las muestras 6, 7, 9, y 11; también en las muestras 8 y 12, así como entre las muestras 1, 2 y 5. Las muestras 3, 4 y 10 presentaron valores distintos entre sí y el resto de las muestras.



Gráfica 102: Contraste de matiz-saturación de los Azules.

Confrontando los resultados de las muestras azules contra los pigmentos azules de la tabla Y4, por medio de matiz-saturación (Gráfica 103), se encontró que las muestras 8 y 12 presentaron valores similares al Lapislázuli, el resto de las muestras no fueron asociadas a ningún pigmento.



Gráfica 103: Contraste de matiz-saturación de los azules V.S. los pigmentos azules de la tabla Y4.

Para los Azules se propone que:

- Las muestras 8 y 12, presentan una composición material similar al Lapislázuli, debido a que su información colorimétrica y de contraste es similar.
- Las muestras 1, 2 y 5, presentan una composición material similar debido a que sus matices son similares.
- Las muestras 6, 7 y 11, presentan una composición material similar, debido a que sus matices son similares.

- Las muestras 3, 4 y 10, presentan una composición material diferente entre si y el resto de las muestras debido a que presentan datos colorimétricos y de contraste diferentes.

14. Caracterización del material por confrontación de información empleando datos obtenidos de materiales caracterizados por técnicas espectroscópicas

En el LANCIC-IF es común que se realicen análisis materiales empleando simultáneamente técnicas de imagen multiespectrales y técnicas espectroscópicas como:

- Florescencia de rayos X (XRF).
- Espectrometría infrarroja con transformada de Fourier (FTIR).
- Espectroscopia Raman.
- Difracción de rayos X.
- Espectroscopia de reflectancia por fibra óptica (FORS).

Hay ocasiones en que se disponen de la caracterización de algunas de las muestras mediante algunas de las técnicas mencionadas anteriormente. Aplicando esta técnica a las mismas áreas de análisis previamente caracterizadas, podemos hacer extensivas estas a otras áreas del objeto de estudio.

Esta característica hace a esta técnica pueda hacer extensivos los estudios realizados por técnicas espectroscópicas a otras muestras. Además las caracterizaciones realizadas en estos casos, los datos arrojados son susceptibles de formar parte de las bases de datos.

15. Análisis del color rojo en un fragmento del techo de la misión de “Santa María de Cuevas” con Imagen Infrarroja de Falso Color

En México durante la época colonial, hubo dos tipos de asentamientos mineros:

1. El campo minero efímero (rancho, ranchería) con una estructura económica rudimentaria.
2. La comunidad minera permanente conocida como “Real de minas”.³⁷

Se fundaron junto a los “Reales de minas” los Presidios, asentamientos militares para proteger a la población y las Misiones, encargadas de la evangelización del pueblo indígena.

En la colonia, estos asentamientos nutrieron al estado de Chihuahua. A finales del siglo XVI e inicios del XVII, los frailes Franciscanos siguen las incursiones españolas y fundan intermitentemente misiones, que posteriormente, durante el Siglo XVII, retoman las congregaciones Jesuitas, hasta finales del siglo XVIII, que son expulsados por el rey de España Carlos III.³⁸

³⁷ Robert C. West, *La comunidad Minera en el Norte de la Nueva España: El Distrito Minero de Parral*, 2002, P. 11

³⁸ Zacarías Márquez, *Misiones de Chihuahua Siglos XVII y XVIII*, 2004, P.4-5

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

“Santa María de Cuevas” es una Misión Jesuita ubicada en una localidad homónima (Imagen 150) que a su vez, es parte del municipio Dr. Belisario Domínguez en el centro del estado de Chihuahua.



Imagen 150: Ubicación de Santa María de Cuevas. Google 2017, INEGI México.

“El lienzo de su fachada, del Templo de Santa María, enmarca el monograma de María (imagen 1), con una corona real encima, tapó bruscamente la ventana del coro, de la cual sólo sobresale parte del vano superior. La inspiración es barroca popular, y la cantera rosa en que fue labrado el conjunto le imprime una gran belleza. Es obvio que todo este trabajo fue posterior a los jesuitas, pues su imprescindible emblema de la Compañía de Jesús no luce en ninguna parte. Una fea torrecilla remata el lado derecho de la fachada, la cual conmueve por su pequeñez y rusticidad. Seguramente ésta sí es la original (Imagen 151).



Imagen 151: Fachada de la Misión Colonial de Santa María de Cuevas, Fotografía: Isaac Rangel.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

“Lo más importante en el interior es el techo de madera, todo recubierto con pinturas al temple de inspiración barroca y con temas alusivos a la Virgen María, quizá realizado por pintores indígenas. De todos modos impacta la conservación que ha mantenido después más de dos siglos de descuido y abandono.” (Imagen 152)

ZACARÍAS MÁRQUEZ 2004

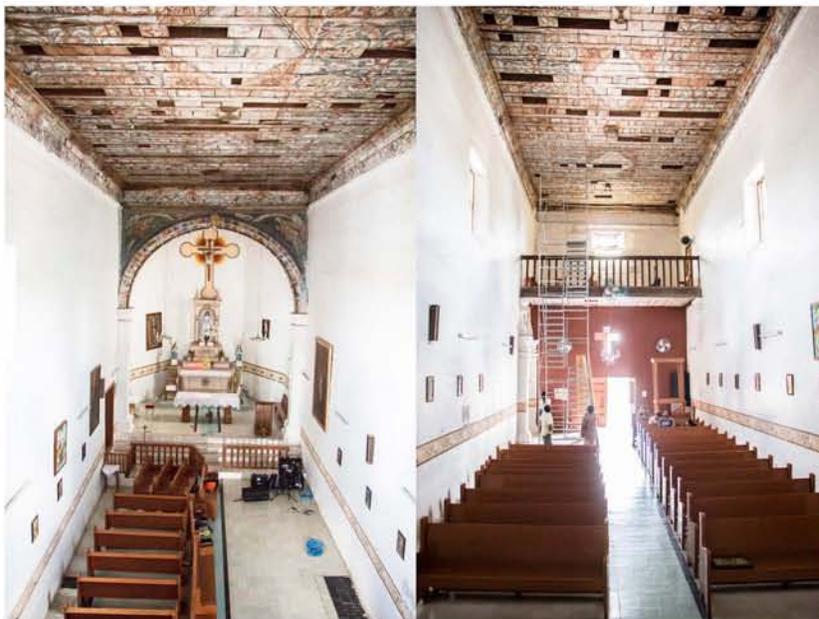


Imagen 152: Interior de la Misión Colonial de Santa María de Cuevas, Fotografía: Isaac Rangel.

El techo está formado por diversas tablas al temple, en la imagen 153 podemos apreciar algunos fragmentos que se han desprendido del techo.



Imagen 153: Fragmentos del techo de la Misión Colonial Santa María de Cuevas, Fotografía: Isaac Rangel.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

Este estudio es parte de un proyecto en el que se analizaron varias misiones coloniales de chihuahua. En este caso se cuenta con un análisis de Espectroscopia de Reflectancia por Fibra Óptica (FORS, Imagen 154), realizado por el Dr. Miguel Ángel Maynez Rojas; el cual se presenta un fragmento a continuación:

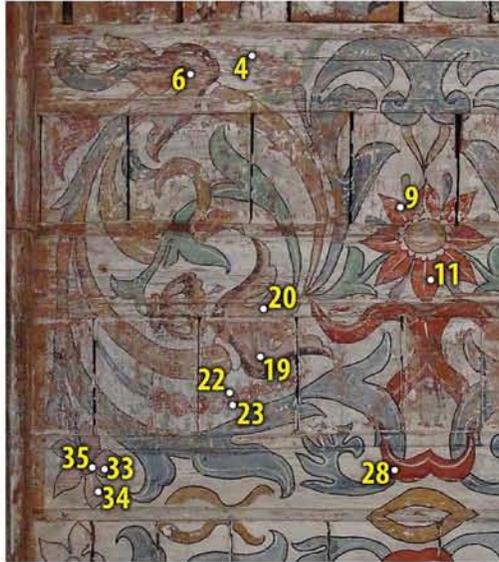
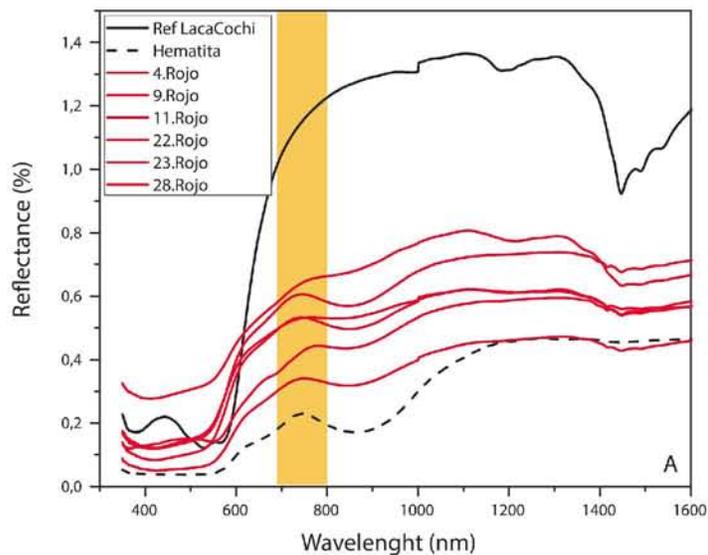


Imagen 154: Zonas de análisis FORS.

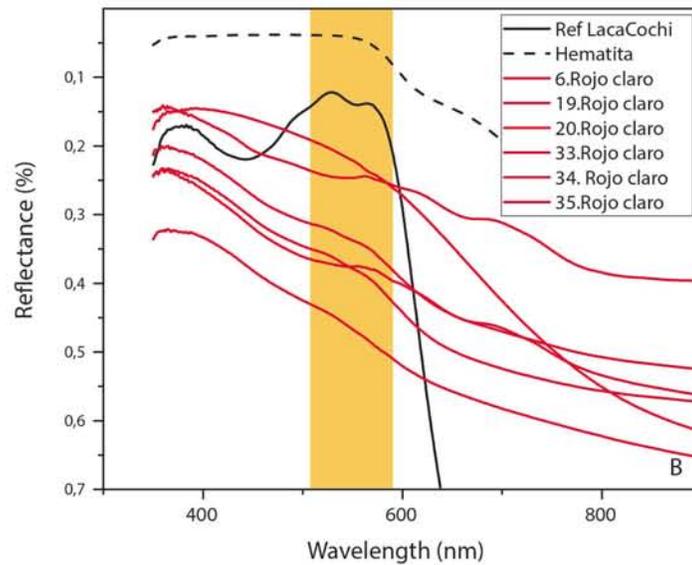
“Existen al menos dos tipos de rojo en los techos de esta misión colonial. El primero corresponde con el espectro de un óxido de hierro, probablemente Hematita, y se localiza en 625 nm y 750 nm (Gráfica 104). En el segundo espectro de rojo aún se pueden distinguir picos característicos del colorante cochinilla en 521 nm (Gráfica 105). Sin embargo, el deterioro de la pintura no permitió obtener un espectro donde se aprecien claramente las bandas características de la cochinilla.”

MIGUEL ÁNGEL MAYNEZ ROJAS



Gráfica 104: Puntos afines al Óxido de Hierro (Hematita).

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR



Gráfica 105: Puntos afines a la Laca Cochinilla.

A continuación, presentamos la reflectografía visible V.S. imagen infrarroja de falso color con el mapa de las zonas de análisis (imagen 155), mismas que se utilizaron para hacer los análisis de FORS extensivos a otras zonas.



Imagen 155: Fragmento del techo de la nave central de la Misión Colonial de Santa María de Cuevas (Visible, izquierda; falso color, derecha).

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

Tabla 61: Datos colorimétricos de los rojos.

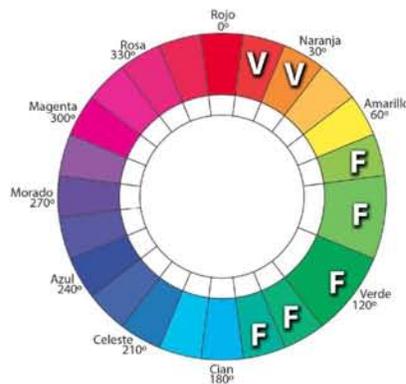
Rojos	HSB Visible			HSB Falso Color 760nm		
	Muestra	H	S	B	H	S
1	24	21	55	133	16	55
2	14	62	59	89	47	59
3	16	15	56	142	17	56
4	12	73	49	76	59	49
5	15	64	60	94	48	60
6	24	21	56	151	26	56
7	14	71	49	79	55	49
8	16	20	51	134	19	51
9	21	20	51	144	21	51
10	12	73	53	84	58	53
11	14	71	53	90	54	53
12	11	69	49	87	56	49
13	28	18	60	157	26	60
14	14	69	53	92	52	53
15	8	63	53	92	54	53
16	25	13	56	164	29	56
17	30	14	57	165	28	57

Tabla 62: Matiz de intervalo y contraste de los rojos.

Rojos	Matiz de Intervalo		Contraste		
	Muestra	Visible	Falso Color	Matiz	Saturación
1	Naranja	Verde	109	5	0
2	Rojo-Naranja	Verde-Amarillo	75	15	0
3	Rojo-Naranja	Verde	126	2	0
4	Rojo-Naranja	Amarillo-Verde	64	14	0
5	Rojo-Naranja	Verde-Amarillo	79	16	0
6	Naranja	Verde-Cian	127	5	0
7	Rojo-Naranja	Amarillo-Verde	65	16	0
8	Rojo-Naranja	Verde	118	1	0
9	Rojo-Naranja	Verde-Cian	123	1	0
10	Rojo-Naranja	Verde-Amarillo	72	15	0
11	Rojo-Naranja	Verde-Amarillo	76	17	0
12	Rojo-Naranja	Verde-Amarillo	76	13	0
13	Naranja	Verde-Cian	129	8	0
14	Rojo-Naranja	Verde-Amarillo	78	17	0
15	Rojo-Naranja	Verde-Amarillo	84	9	0
16	Naranja	Cian-Verde	139	16	0
17	Naranja	Cian-Verde	135	14	0

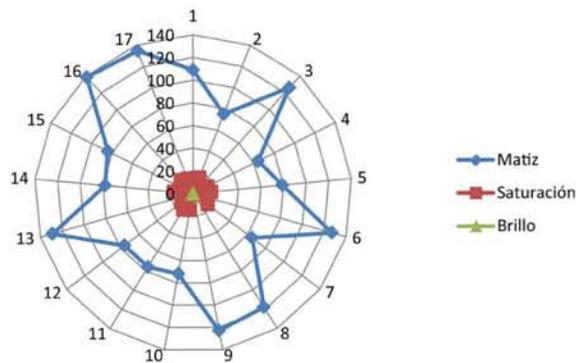
METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

El matiz de intervalo (Gráfica 106 y tabla 62) en las muestras corresponde a rojo-naranja y naranja en el visible, y en el falso color presentan matices entre el amarillo-verde y cian-verde. Las muestras 2, 5, 10, 11, 12, 14 y 15; las muestras 3 y 8, las muestras 4 y 7, las muestras 6 y 13, y las muestras 16 y 17, presentan los mismos matices de intervalo en el visible y el falso color.



Gráfica 106: Matices de intervalo de los Rojos.

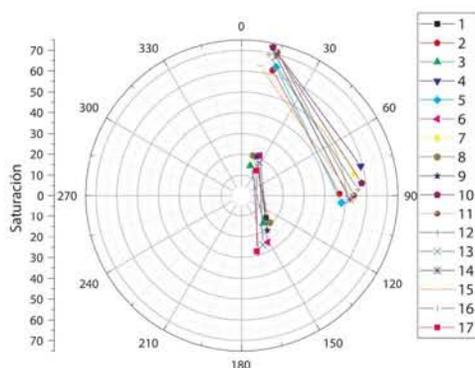
Las muestras 1, 3, 6, 8, 9, 13, 16 y 17, presentan contraste de matiz con valores que oscilan entre 109 y 139 unidades; el resto de las muestras presentan valores que oscilan entre 64 y 84 unidades. El contraste de saturación en las muestras 2, 4, 5, 7, 10, 11, 12, 14, 16 y 17, oscila entre 13 y 17 unidades; para el resto de las muestras sus valores oscilan entre 1 y 9 unidades. Todas las muestras presentan un contraste de brillo de 0 unidades (Gráfica 107 y tabla 62).



Gráfica 107: Contraste de los Rojos.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

El contraste de matiz-saturación (Gráfica 108) presenta valores similares entre las muestras 1, 3, 6, 8, 9, 13, 16 y 17, así como en las muestras 2, 4, 5, 7, 10, 11, 12, 14 y 15. Las muestras 1 y 3 corresponden a áreas de análisis donde por FORS se identificó Cochinilla; la muestra 2 corresponde a una zona de análisis donde se identificaron óxidos de hierro por FORS.



Gráfica 108: Contraste de matiz-saturación de los rojos.

Para los rojos se propone que:

Las muestras 1, 3, 6, 8, 9, 13, 16 y 17, presentan una composición material común debido a que la información colorimétrica y de contraste es similar, además las muestras 1 y 3 de este grupo corresponden a zonas caracterizadas como grana cochinilla mediante FORS, por lo que todas las muestras de este grupo se caracterizan como cochinilla.

Las muestras 2, 4, 5, 7, 10, 11, 12, 14 y 15, presentan una composición material común debido a que la información colorimétrica y de contraste es similar, además la muestra 2 de este grupo corresponden a zonas caracterizadas como óxido de hierro mediante FORS, por lo que todas las muestras de este grupo se caracterizan como óxido de hierro, posiblemente Hematita.

16. Asociación de composición en común entre dos o más muestras con distintos grados de preservación de color

Este tipo de resultados se consigue cuando se logran asociar dos o más muestras que presentan colores distintos a una misma composición, debido a que esta variación del color es resultado de condiciones medioambientales distintas que ayuden o perjudiquen la preservación de este.

17. Análisis de Falso Color de un Morral Otomí perteneciente a la colección de textiles, de la Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas V.S. Base de datos de Fibras teñidas y envejecidas.

Fibras teñidas y envejecidas

Con el objetivo de identificar pigmentos y colorantes mexicanos, en el LANCIC se creó una base de datos que incluye fibras teñidas.³⁹

A continuación se presentan un análisis de imagen infrarroja de falso color de la base de datos anteriormente mencionada:

Grupo 1:

- A Cochinilla + índigo en lana.
- B Cochinilla en algodón.
- C Cochinilla en lana.
- D Cochinilla + $\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ en algodón.
- E Cochinilla + $\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ en lana.
- F Cochinilla + ácido oxálico en algodón.
- G Cochinilla + ácido oxálico en lana.
- H Cochinilla + $\text{Mg}(\text{SO}_4)_2$ en algodón.
- I Cochinilla + $\text{Mg}(\text{SO}_4)_2$ en lana.
- J Cochinilla + $\text{Cu}(\text{SO}_4)_2$ en algodón.
- K Cochinilla + $\text{Cu}(\text{SO}_4)_2$ en lana.

³⁹ M. A. Maynez-Rojas, et al, Identification of natural red and purple dyes on textiles by Fiber-optics Reflectance Spectroscopy, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomecular Spectroscopy*, México, 2017

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

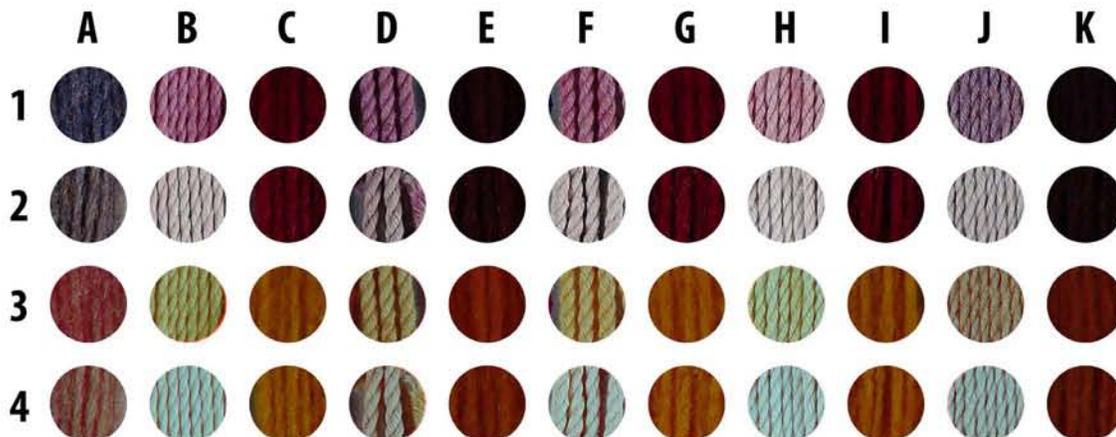


Imagen 156: Detalle de las fibras del grupo 1. 1/Visible normal, 2/ Visible envejecido, 3/Falso color normal y 4/Falso color envejecido.

Tabla 63: Datos colorimétricos del grupo 1.

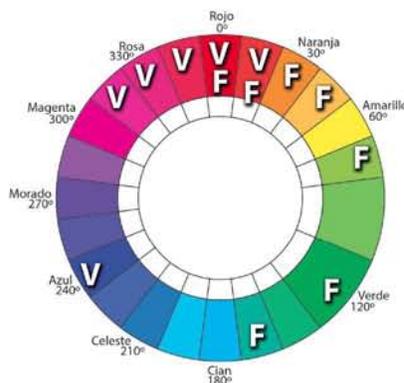
Grupo 1	HSB Visible			HSB Falso Color 760nm		
	Muestra	H	S	B	H	S
A1	240	30	29	0	56	46
B1	332	37	57	70	37	57
C1	350	98	26	31	99	49
D1	326	38	49	49	43	53
E1	348	74	11	11	94	44
F1	333	39	56	52	42	59
G1	349	99	27	31	99	52
H1	341	22	69	103	22	69
I1	350	99	27	32	99	51
J1	316	23	47	40	30	52
K1	342	59	7	8	92	33
A2	337	15	34	17	38	46
B2	7	4	71	171	25	71
C2	349	97	30	34	98	51
D2	352	12	55	75	12	55
E2	352	77	12	14	93	41
F2	5	6	68	157	13	68
G2	351	96	29	32	98	53
H2	9	4	73	171	21	73
I2	350	97	26	30	98	51
J2	0	3	65	170	17	65
K2	349	58	7	9	91	33

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

Tabla 64: Matiz de intervalo y contraste del grupo 1.

Grupo 1	Matiz de Intervalo		Contraste		
	Visible	Falso Color	Matiz	Saturación	Brillo
A1	Azul	Rojo	120	26	17
B1	Rosa	Amarillo-Verde	98	0	0
C1	Rosa-Rojo	Naranja	41	1	23
D1	Rosa	Naranja-Amarillo	83	5	4
E1	Rosa-Rojo	Rojo-Naranja	23	20	33
F1	Rosa	Naranja-Amarillo	79	3	3
G1	Rosa-Rojo	Naranja	42	0	25
H1	Rosa-Rojo	Verde	122	0	0
I1	Rosa-Rojo	Naranja	42	0	24
J1	Magenta-Rosa	Naranja-Amarillo	84	7	5
K1	Rosa-Rojo	Rojo-Naranja	26	33	26
A2	Rosa	Rojo-Naranja	40	23	12
B2	Rojo	Cian-Verde	164	21	0
C2	Rosa-Rojo	Naranja	45	1	21
D2	Rosa-Rojo	Amarillo-Verde	83	0	0
E2	Rosa-Rojo	Rojo-Naranja	22	16	29
F2	Rojo	Verde-Cian	152	7	0
G2	Rosa-Rojo	Naranja	41	2	24
H2	Rojo-Naranja	Cian-Verde	162	17	0
I2	Rosa-Rojo	Naranja	40	1	25
J2	Rojo	Cian-Verde	170	14	0
K2	Rosa-Rojo	Rojo-Naranja	20	33	26

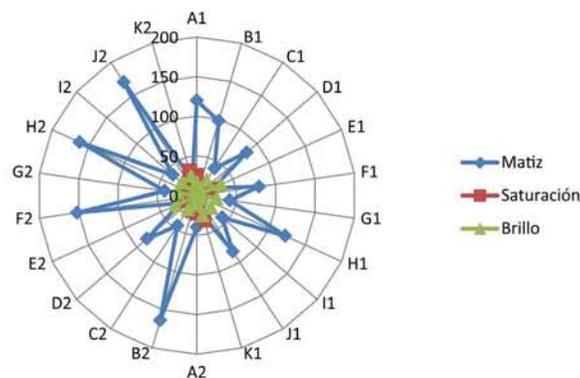
El matiz de intervalo (Gráfica 109 y tabla 64) para la barra 1, fue azul, y del magenta-rosa al rojo-naranja en el visible, en el falso color es del rojo al naranja-amarillo, amarillo-verde, verde y cian-verde. Las muestras C1, G1, I1, C2, G2 e I2; las muestras E1, K1, E2 y K2; las muestras D1 y F1; así como las muestras B2 y J2, presentan matices de intervalo idénticos en el visible y el falso color.



Gráfica 109: Matices de intervalo del grupo 1.

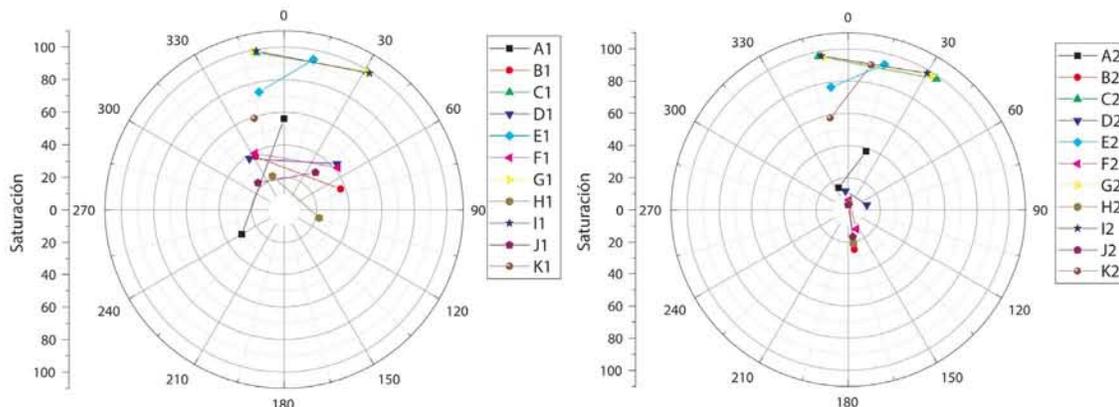
METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

El contraste de matiz (Gráfica 110 y tabla 64) presentó valores similares en las muestras A1 y H1 con valores de 120 y 122 unidades; las muestras V2, J2, A2 y F2 presentaron valores entre 152 y 170 unidades; las muestras D1, D2 y J1 tienen valores entre 83 y 84 unidades; las muestras C1, G1, C2, G2 e I2 presentaron valores entre 41 y 45 unidades; y las muestras E1, K1, E2 y K2 presentaron valores entre 20 y 26 unidades.



Gráfica 110: Contraste del grupo 1.

El contraste de matiz-saturación (Gráfica 111) muestra que las muestras C1, E1, G1, I1, C2, E2, G2 e I2 presentan valores casi idénticos además de no presentar diferencias significativas entre las muestras que están envejecidas de las que no lo están. Las muestras D1 y F1 presentan valores casi idénticos, pero sus contrapartes envejecidas (D2 y E2) presentan valores diferentes y modificados por la degradación del colorante. Las muestras envejecidas F2, J2, H2 y B2 presentan valores similares entre sí, las muestras A1, B1, J1, K1 y H1, presentan valores diferentes entre sí y el resto de las muestras.



Gráfica 111: Contraste de matiz-saturación del grupo 1.

Para las muestras del grupo 1 se propone que:

- Las fibras teñidas con cochinilla en lana, Cochinilla postmordentada con $\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ (Sulfato de hierro) en lana, Cochinilla posmordentada con ácido oxálico y Cochinilla postmordentada con $\text{Mg}(\text{SO}_4)_2$ (Sulfato de magnesio) en lana; fueron identificadas como un mismo material, no fue posible diferenciar o detectar la presencia del mordiente. Además sus cualidades cromáticas casi no fueron afectadas por el proceso de envejecimiento.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

- Las fibras teñidas con Cochinilla postmordentada con $\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ (Sulfato de hierro) en algodón y Cochinilla postmordentada con ácido oxálico en algodón, sus versiones sin envejecer no pudieron diferenciar entre mordentes; sus versiones envejecidas presentaron modificaciones en sus cualidades cromáticas, por lo que también mostraron diferencias en el contraste de matiz-saturación.
- La fibra teñida con Cochinilla e Índigo en lana, presento modificaciones en sus cualidades cromáticas en su versión envejecida, y sus dos versiones son perfectamente identificables entre si y el resto de las muestras.
- La fibra teñida con Cochinilla postmordentada con $\text{Cu}(\text{SO}_4)_2$ (Sulfato de cobre) en lana, presento modificaciones en sus cualidades cromáticas en su versión envejecida, y sus dos versiones son perfectamente identificables entre si y el resto de las muestras.
- Las fibras teñidas con cochinilla en algodón, Cochinilla postmordentada con $\text{Cu}(\text{SO}_4)_2$ (Sulfato de cobre) en algodón y Cochinilla postmordentada con $\text{Mg}(\text{SO}_4)_2$ (Sulfato de Magnesio) en algodón, sus versiones sin envejecer fueron diferenciables entre si y el resto de las muestras, pero sus versiones envejecidas presentaron modificaciones en sus cualidades cromáticas por lo que resultaron muy similares, además presentaron una similitud también con la versión envejecida de la fibra teñida con Cochinilla postmordentada con $\text{Cu}(\text{SO}_4)_2$ (Sulfato de Cobre) en lana.

Grupo 2:

- L Palo de Brasil en lana.
- M Palo de Brasil en algodón.
- N Palo de Brasil + $\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ en lana.
- O Palo de Brasil + $\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ en algodón.
- P Palo de Brasil + $\text{Mg}(\text{SO}_4)_2$ en lana.
- Q Palo de Brasil + Cempaxúchitl en Lana.
- R Cempaxúchitl en lana.
- S Cempaxúchitl en algodón.
- T Cempaxúchitl $\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ en lana.
- U Cempaxúchitl $\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ en algodón.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

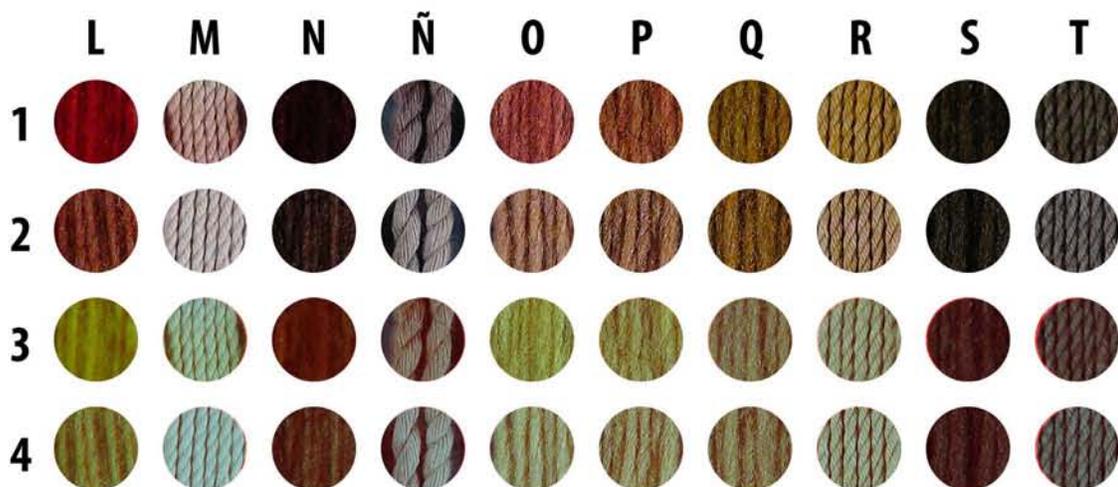


Imagen 157: Detalle de las fibras del grupo 2. 1/Visible normal, 2/ Visible envejecido, 3/Falso color normal y 4/Falso color envejecido.

Tabla 65: Datos colorimétricos del grupo 2.

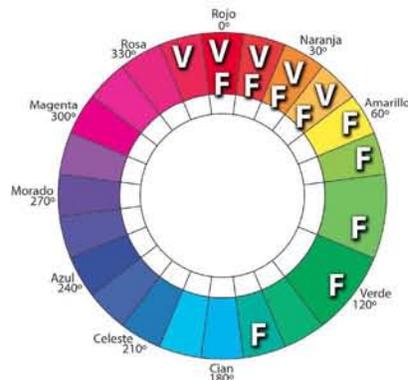
Grupo 2 Muestra	HSB Visible			HSB Falso Color 760nm		
	H	S	B	H	S	B
L1	356	95	46	59	95	47
M1	14	24	66	120	18	66
N1	356	64	9	10	90	34
Ñ1	349	17	40	26	31	49
O1	5	59	56	67	54	56
P1	19	72	51	56	50	53
Q1	38	91	44	44	40	49
R1	40	69	56	69	23	56
S1	40	50	12	7	64	27
T1	34	31	26	21	31	33
L2	12	73	47	63	58	47
M2	6	6	70	168	22	70
N2	12	52	20	21	67	35
Ñ2	7	7	53	113	6	53
O2	23	41	61	81	26	61
P2	23	50	54	59	31	55
Q2	35	81	45	47	39	50
R2	32	41	60	87	19	60
S2	37	37	14	7	59	29
T2	18	11	36	69	8	36

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

Tabla 66: Matiz de intervalo y contraste del grupo 2.

Grupo 2	Matiz de Intervalo		Contraste		
	Visible	Falso Color	Matiz	Saturación	Brillo
L1	Rojo	Amarillo	63	0	1
M1	Rojo-Naranja	Verde	106	6	0
N1	Rojo	Rojo-Naranja	14	26	25
Ñ1	Rosa-Rojo	Naranja	37	14	9
O1	Rojo	Amarillo	62	5	0
P1	Rojo-Naranja	Amarillo	37	22	2
Q1	Naranja-Amarillo	Naranja-Amarillo	6	51	5
R1	Naranja-Amarillo	Amarillo-Verde	29	46	0
S1	Naranja-Amarillo	Rojo	33	14	15
T1	Naranja	Rojo-Naranja	13	0	7
L2	Rojo-Naranja	Amarillo	51	15	0
M2	Rojo	Cian-Verde	162	16	0
N2	Rojo-Naranja	Rojo-Naranja	9	15	15
Ñ2	Rojo	Verde	106	1	0
O2	Naranja	Amarillo-Verde	58	15	0
P2	Naranja	Amarillo	36	19	1
Q2	Naranja	Naranja-Amarillo	12	42	5
R2	Naranja	Verde-Amarillo	55	22	0
S2	Naranja	Rojo	30	22	15
T2	Rojo-Naranja	Amarillo-Verde	51	3	0

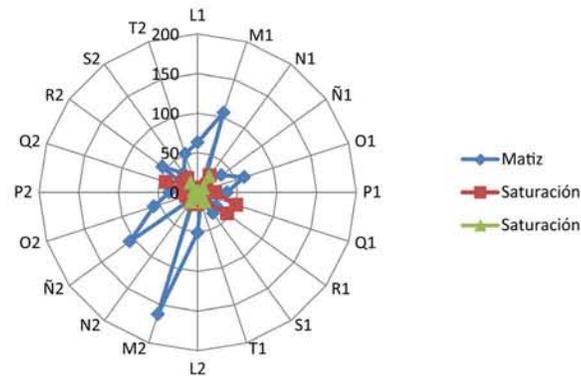
El matiz de intervalo (Gráfica 112 y tabla 66) para las muestras de la barra 2, va del rosa-rojo al naranja-amarillo en el visible, y en el falso color del rojo al verde y el verde-cian. Las muestras L1 y O1 presentan los mismos matices de intervalo en el visible y el falso color.



Gráfica 112: Matices de intervalo del grupo 2.

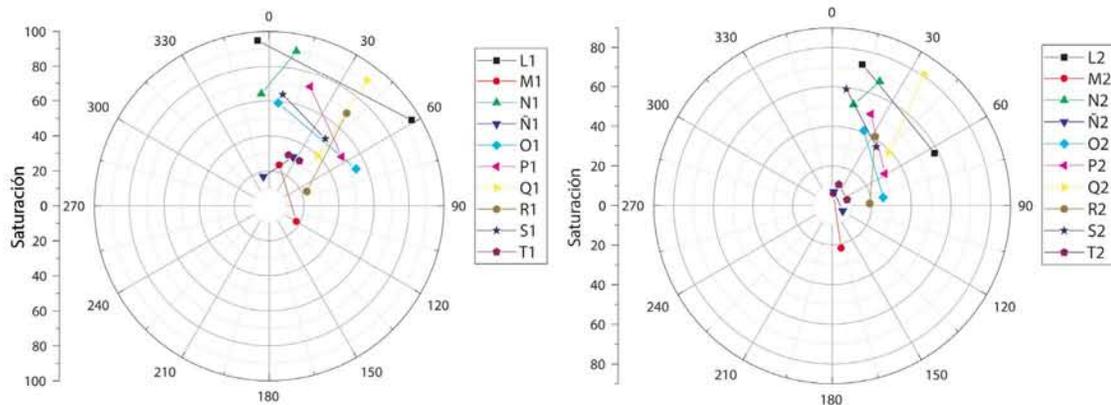
METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

Las muestras M1 y N2 presentan un contraste de matiz (Gráfica 113 y tabla 66) de 106 unidades, las muestra M2 presenta un valor de 162 unidades, las muestras L1, O1, L2, O2, R2 y T2, presentan valores de 50 a 63 unidades; Las muestras N1, P1, S1, P2, S2, y R1 presentan valore entre 29 y 37 unidades; y las muestras N1, Q1, T1, N2 y Q2 tienen valores entre 6 y 14 unidades.



Gráfica 113: Contraste del grupo 2.

El contraste de matiz-saturación (Gráfica 114) presentó valores diferentes en todas las muestras de este grupo, además todas las muestras presentan cambios en sus valores en sus versiones envejecidas.



Gráfica 114: Contraste de matiz-saturación del grupo 2.

Para las muestras del grupo 2 se propone que:

- La fibra teñida con Palo de Brasil en lana es diferenciable del resto de las muestras y su versión envejecida presenta modificaciones en sus propiedades cromáticas, pero también es diferenciable del resto de las muestras.
- La fibra teñida con Palo de Brasil en algodón es diferenciable del resto de las muestras y su versión envejecida presenta modificaciones en sus propiedades cromáticas, pero también es diferenciable del resto de las muestras.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

- La fibra teñida con Palo de Brasil postmordentada con $\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ (Sulfato de Hierro) en lana es diferenciable del resto de las muestras y su versión envejecida presenta modificaciones en sus propiedades cromáticas, pero también es diferenciable del resto de las muestras.
- La fibra teñida con Palo de Brasil postmordentada con $\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ (Sulfato de Hierro) en algodón es diferenciable del resto de las muestras y su versión envejecida presenta modificaciones en sus propiedades cromáticas, pero también es diferenciable del resto de las muestras.
- La fibra teñida con Palo de Brasil postmordentada con $\text{Mg}(\text{SO}_4)_2$ (Sulfato de Magnesio) en lana es diferenciable del resto de las muestras y su versión envejecida presenta modificaciones en sus propiedades cromáticas, pero también es diferenciable del resto de las muestras.
- La fibra teñida con Palo de Brasil y Cempaxúchitl en lana es diferenciable del resto de las muestras y su versión envejecida presenta modificaciones en sus propiedades cromáticas, pero también es diferenciable del resto de las muestras.
- La fibra teñida con Cempaxúchitl en lana es diferenciable del resto de las muestras y su versión envejecida presenta modificaciones en sus propiedades cromáticas, pero también es diferenciable del resto de las muestras.
- La fibra teñida con Cempaxúchitl en algodón es diferenciable del resto de las muestras y su versión envejecida presenta modificaciones en sus propiedades cromáticas, pero también es diferenciable del resto de las muestras.
- La fibra teñida con Cempaxúchitl postmordentado con $\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ (Sulfato de Hierro) en lana es diferenciable del resto de las muestras y su versión envejecida presenta modificaciones en sus propiedades cromáticas, pero también es diferenciable del resto de las muestras.
- La fibra teñida con Cempaxúchitl postmordentado con $\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ (Sulfato de Hierro) en algodón es diferenciable del resto de las muestras y su versión envejecida presenta modificaciones en sus propiedades cromáticas, pero también es diferenciable del resto de las muestras.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

Grupo 3:

V. Muñile en lana.

W. Muñile en algodón.

X. Índigo (1 baño) en lana.

Y. Índigo (1 baño) en algodón.

Z. Índigo (6 baños) en lana.

AA. Índigo (6 baños) en algodón.

AB. Índigo + Cempaxúchitl en lana.

AC. Índigo + Cempaxúchitl en algodón.

AD. Cochinilla + Ni(SO₄)₂ en lana.

AE. Cochinilla + Ni(SO₄)₂ en algodón.



Imagen 158: Detalle de las fibras del grupo 3. 1/Visible normal, 2/ Visible envejecido, 3/Falso color normal y 4/Falso color envejecido.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

Tabla 67: Datos colorimétricos del grupo 3.

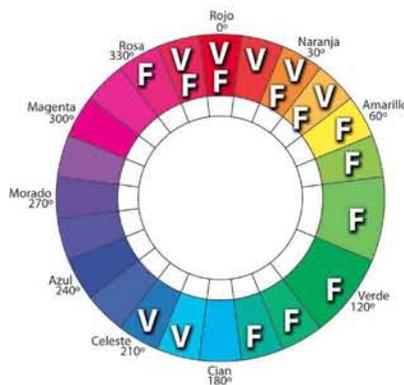
Grupo 3	HSB Visible			HSB Falso Color 760nm		
Muestra	H	S	B	H	S	B
V1	13	61	24	25	70	41
W1	15	35	67	111	26	67
X1	202	63	20	348	85	49
Y1	197	18	53	329	23	57
Z1	210	47	7	358	92	46
AA1	207	67	16	352	90	52
AB1	42	74	40	32	35	48
AC1	42	27	50	46	10	51
AD1	354	100	41	53	99	47
AE1	349	54	70	93	54	70
V2	32	58	45	77	27	45
W2	30	24	70	154	28	70
X2	196	56	23	346	79	49
Y2	197	17	56	314	17	56
Z2	210	70	9	356	94	48
AA2	206	73	25	346	88	54
AB2	45	50	44	29	23	50
AC2	36	16	70	161	19	70
AD2	352	98	38	47	98	49
AE2	14	18	78	157	36	78

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

Tabla 68: Matiz de intervalo y contraste del grupo 3.

Grupo 3	Matiz de Intervalo		Contraste		
	Visible	Falso Color	Matiz	Saturación	Brillo
V1	Rojo-Naranja	Naranja	12	9	17
W1	Rojo-Naranja	Verde	96	9	0
X1	Celeste-Cian	Rosa-Rojo	146	22	29
Y1	Celeste-Cian	Rosa	132	5	4
Z1	Celeste	Rojo	148	45	39
AA1	Celeste	Rosa-Rojo	145	23	36
AB1	Naranja-Amarillo	Naranja	10	39	8
AC1	Naranja-Amarillo	Naranja-Amarillo	4	17	1
AD1	Rojo	Amarillo	59	1	6
AE1	Rosa-Rojo	Verde-Amarillo	104	0	0
V2	Naranja	Amarillo-Verde	45	31	0
W2	Naranja	Verde-Cian	124	4	0
X2	Celeste-Cian	Rosa-Rojo	150	23	26
Y2	Celeste-Cian	Magenta-Rosa	117	0	0
Z2	Celeste	Rojo	146	24	39
AA2	Celeste	Rosa-Rojo	140	15	29
AB2	Naranja-Amarillo	Naranja	16	27	6
AC2	Naranja	Cian-Verde	125	3	0
AD2	Rosa-Rojo	Naranja-Amarillo	55	0	11
AE2	Rojo-Naranja	Verde-Cian	143	18	0

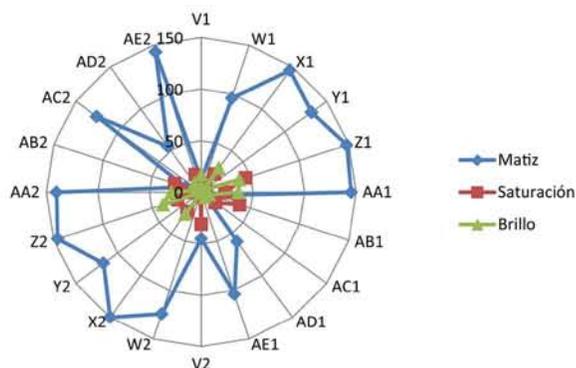
Al matiz de intervalo (Gráfica 115 y tabla 68) para la barra 3 va del rosa-rojo al naranja-amarillo, cian y celeste-cian en el visible, y del rosa al rojo, naranja al cian-verde en el falso color. Las muestras Z1 y Z2, AA1 y AA2, así como AB1 y AB2; presentan los mismos matices de intervalo.



Gráfica 115: Matices de intervalo del grupo 3.

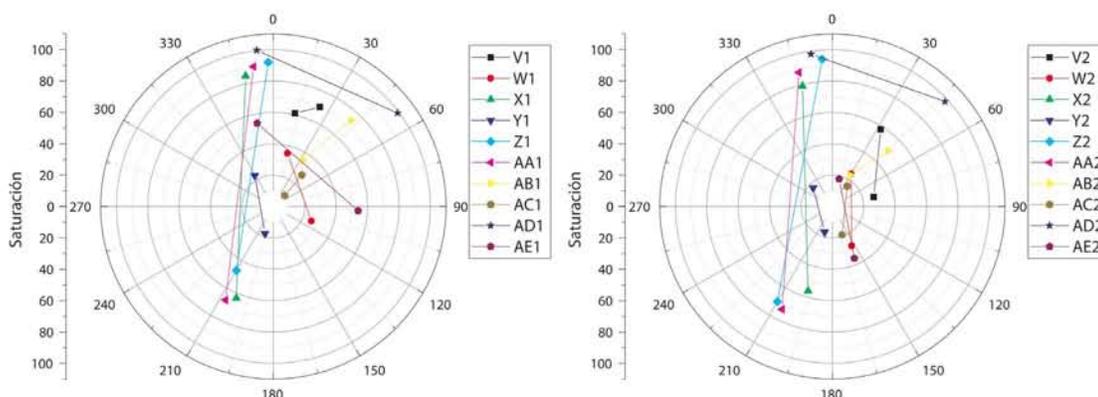
METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

El contraste de matiz (Gráfica 116 y tabla 68) presentó valores similares entre las muestras X2, Z1, Y1, AA1, Z2, y AE2 con valores entre 150 y 143 unidades; las muestras Y1, W2, Z2 y AC2 presentan valores entre 132 y 117 unidades; las muestras W1 y AE1 tienen valores de 96 y 104 unidades; las muestras AD1, V2 y AD2 poseen valores entre 45 y 55 unidades; y las muestras V1, AB1, AC1 y AB2 tienen valores entre 4 y 16 unidades.



Gráfica 116: Contraste del grupo 3.

El contraste de matiz-saturación (Gráfica 117), en las muestra X1, Z1, AA1, X2, Z2 y AA2 presentan similitudes entre sí tanto en sus versiones normales como en las envejecidas, en sus versiones envejecidas presentan cambios ligeros en sus valores; las muestras AD1, V1, AB1, Y1, AD2, V2, AB2 y Y2, presentan valores diferentes entre sí y el resto de las muestras, sus versiones envejecidas presentan cambios en sus valores pero siguen siendo diferenciales; y las muestras AC1, W1, AE1, AC2, W2 y AE2 presentan valores diferentes en sus versiones normales, pero en sus versiones envejecidas resultan similares.



Gráfica 117: Contraste de matiz-saturación del grupo 3.

Para las muestras del grupo 3 se propone que:

- Las fibras teñidas con Índigo (1 Baño) en lana, Índigo (6 Baños) en lana e Índigo (6 Baños) en algodón, no fueron diferenciables entre sí y presentaron modificaciones en sus cualidades cromáticas en sus versiones envejecidas, pero aún de este modo no fueron diferenciables entre sí.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

- Las fibras teñidas con Cochinilla postmordentada con $\text{Ni}(\text{SO}_4)_2$ (Sulfato de Níquel) en lana, Muitle en lana, Índigo con Cempaxúchitl en lana e Índigo (1 Baño) en algodón, fueron diferenciables entre sí, sus versiones envejecidas presentaron modificaciones en sus cualidades cromáticas pero aun así siguieron siendo diferenciables.
- Las fibras teñidas con Índigo y Cempaxúchitl en algodón, Muitle en algodón y Cochinilla postmordentada con $\text{Ni}(\text{SO}_4)_2$ (Sulfato de Níquel) en algodón; sus versiones sin envejecer fueron diferenciables entre sí, pero sus versiones envejecidas no.

Grupo 4:

- AF Zacatlaxcalli en lana.
AG Zacatlaxcalli en algodón.
AH Zacatlaxcalli + Índigo en lana.
AI Zacatlaxcalli + Índigo en algodón.

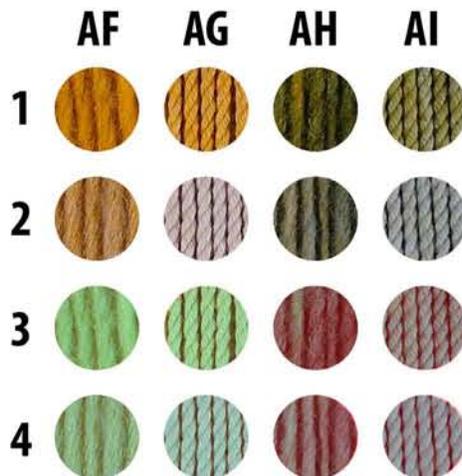


Imagen 159: Detalle de las fibras del grupo 4. 1/Visible normal, 2/ Visible envejecido, 3/Falso color normal y 4/Falso color envejecido.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

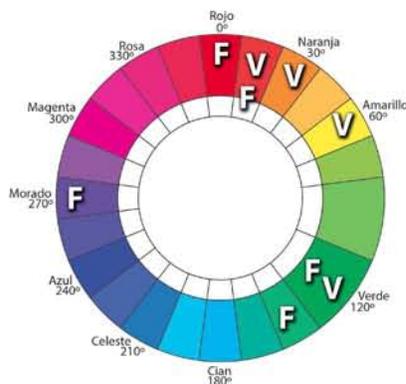
Tabla 69: Datos colorimétricos del grupo 4.

Grupo 4	HSB Visible			HSB Falso Color 760nm		
	H	S	B	H	S	B
AF1	37	99	75	106	38	75
AG1	37	78	80	109	30	80
AH1	54	79	33	7	44	55
AI1	55	47	50	14	15	57
AF2	33	61	68	105	28	68
AG2	13	10	75	156	19	75
AH2	54	27	43	5	27	57
AI2	135	3	57	270	3	57

Tabla 70: Matiz de intervalo y contraste del grupo 4.

Grupo 4	Matiz de Intervalo		Contraste		
	Visible	Falso Color	Matiz	Saturación	Brillo
AF1	Naranja	Verde	69	61	0
AG1	Naranja	Verde	72	48	0
AH1	Amarillo	Rojo	47	35	22
AI1	Amarillo	Rojo-Naranja	41	32	7
AF2	Naranja	Verde	72	33	0
AG2	Rojo-Naranja	Verde-Cian	143	9	0
AH2	Amarillo	Rojo	49	0	14
AI2	Verde	Morado	135	0	0

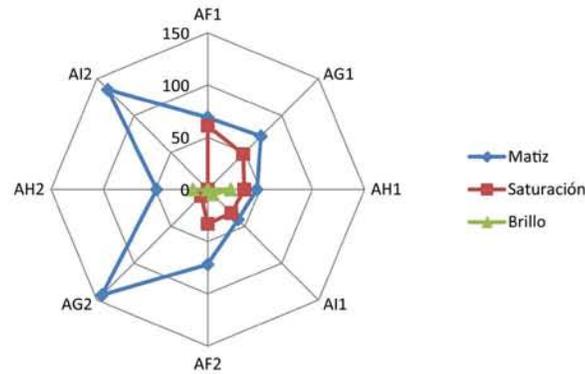
El matiz de intervalo (Gráfica 118 y tabla 70) en las muestras de la barra 4 fue Naranja, Amarillo y verde en el Visible; y en el falso color Morado, rojo, rojo-naranja, verde y verde-cian. Las muestras AF1 y AG1, así como las AH1 y AH2, presentaron los mismos matices de intervalo en el visible y el falso color.



Gráfica 118: Matices de intervalo del grupo 4.

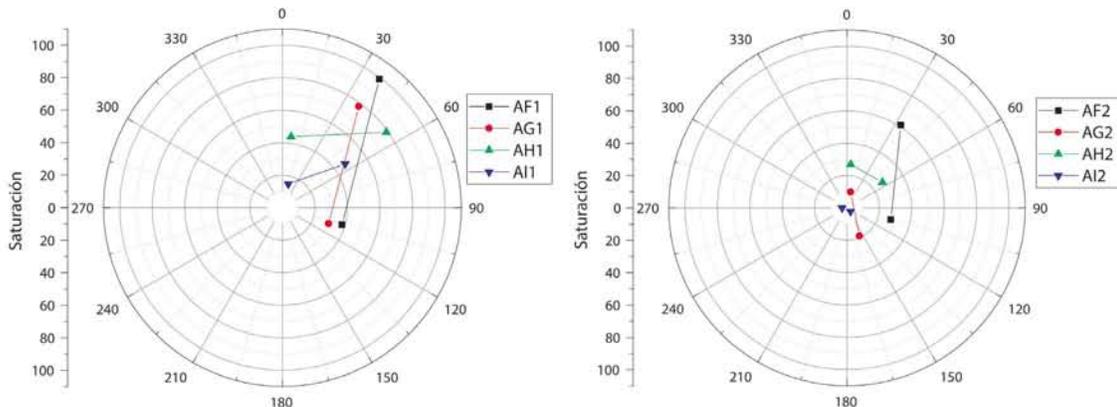
METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

Al contraste de matiz (Gráfica 119 y tabla 71) presento valores similares entre las muestras AH1, AI1 y AH2 con valores entre 41 y 49 unidades, las muestras AF1, AG1 y AF2 presentaron valores similares entre 69 y 72 unidades; y la muestras AI2 y AG2 presentaron los valores más altos con 135 y 143 unidades.



Gráfica 119: Contraste del grupo 4.

El contraste de matiz-saturación (Gráfica 120) de las muestras AF1, AG1, AF2 y AG2, presentaron valores similares y sus valores se modificaron en sus versiones envejecidas, lo que posibilitó su diferenciación. Las muestras AH1, AI1, AH2 y AI2, presentaron valores de matiz similares, y sus valores se modificaron en sus versiones envejecidas.



Gráfica 120: Contraste de matiz-saturación de la barra 4.

Para las muestras de la barra 4 se propone que:

- Las fibras teñidas con Zacatlaxcalli en lana y Zacatlaxcalli en algodón, no fueron diferenciables en sus versiones normales, presentaron modificaciones en sus cualidades cromáticas en sus versiones envejecidas, lo que posibilitó diferenciarlas entre sí.
- Las fibras teñidas con Zacatlaxcalli e Índigo en lana y Zacatlaxcalli e Índigo en algodón, aunque presentaron valores de matiz similares en sus versiones normales, sus valores de saturación fueron diferentes por lo que es posible diferenciarlas entre sí; sus cualidades cromáticas se vieron modificadas en sus versiones envejecidas y también fue posible diferenciarlas entre sí.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

Morral Otomí

A continuación se presenta el análisis de un Morral, de la cultura Otomí, procedente de la región de Ixmiquilpan en el estado de Hidalgo, México.



Imagen 160: Morral Otomí de Ixmiquilpan, Hidalgo (Visible, izquierda; falso color, derecha)

Tabla 71: Datos colorimétricos del Morral Otomí.

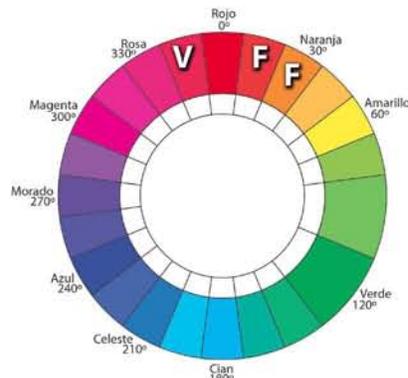
Morral	HSB Visible			HSB Falso Color 760nm			
	Muestra	H	S	B	H	S	B
1a		347	68	24	24	84	49
2a		350	75	19	19	90	49
3a		348	73	24	23	87	52
4a		351	75	20	19	90	53

Tabla 72: Matiz de intervalo y contraste del Morral Otomí.

Morral	Matiz de Intervalo		Contraste			
	Muestra	Visible	Falso Color	Matiz	Saturación	Brillo
1a		Rosa-Rojo	Naranja	37	16	25
2a		Rosa-Rojo	Rojo-Naranja	29	15	30
3a		Rosa-Rojo	Naranja	35	14	28
4a		Rosa-Rojo	Rojo-Naranja	28	15	33

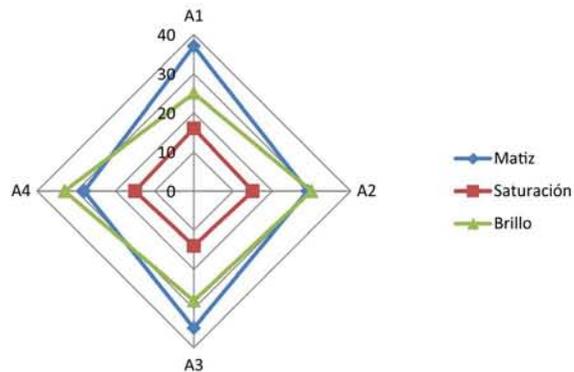
METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

El matiz de intervalo (Gráfica 121 y tabla 72) es rosa-rojo para el visible y rojo-naranja y naranja en el falso color. Las muestras 1a y 3a, así como las muestras 2a y 4a, presentan los mismos matices de intervalo en el visible y el falso color.



Gráfica 121: Matices de intervalo en las muestras del Morral Otomí.

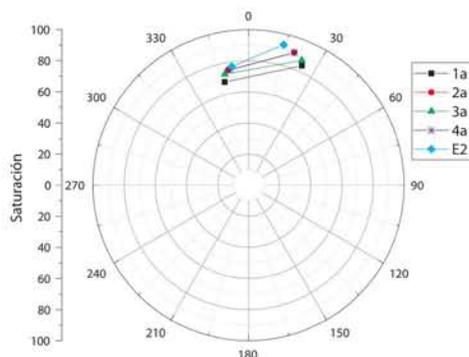
El contraste de matiz (Gráfica 122 y tabla 72), presento valores similares entre las muestras 1a y 3ª con valores de 37 y 35 unidades, las muestras 2a y 4a también presentaron valores similares de 29 y 28 unidades.



Gráfica 122: Contraste de las muestras del Morral Otomí.

METODOLOGÍA DE IMAGEN INFRARROJA DE FALSO COLOR

El contraste de matiz-saturación (Gráfica 123), presento valores casi idénticos entre las muestras 2a y 4a, y en general valores similares entre todas las muestras. Adicionalmente se le agrego a esta gráfica la referencia envejecida de Cochinilla posmordentada con $\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ (Sulfato de Hierro) en lana (E2), y también presento valores similares.



Gráfica 123: Contraste de matiz-saturación en las muestras del Morral Otomí.

Para el morral se propone que:

El análisis de las cuatro muestras apunta a que se trata de un mismo colorante en estas fibras, además presento una similitud de composición material con la referencia envejecida de Cochinilla posmordentada con $\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ (Sulfato de Hierro) en lana (E2).

Etapa 6

Presentación de resultados

Para la presentación de resultados se procederá a redactar un documento que delimite el objeto de estudio, y que presente un análisis empleando la siguiente información:

1. Confrontación de imagen visible (Colores verdaderos) v.s. imagen infrarroja de falso color.
2. Tabla de datos colorimétricos.
3. Tabla de matices de intervalo y contrastes.
4. Gráfica de matices de intervalo.
5. Gráfica de contrastes.
6. Gráfica de contraste de matiz-saturación.
7. Confrontación con bases de datos (De contar con dichas bases de datos).
8. Confrontación con análisis espectroscópicos (De contar con estos análisis).

CAPITULO 4

CONCLUSIONES

Este trabajo de investigación permitió definir que es la imagen infrarroja de falso color y los tipos de técnicas de imagen multiespectral realizables con equipos fotográficos adaptados a estos fines. Asimismo se describieron las aplicaciones y los alcances que poseen los distintos tipos de imágenes multiespectrales, acorde a la región del espectro electromagnético que registran.

También se describieron algunas técnicas de imagen aplicadas al estudio de obras de arte y patrimonio cultural, mismas que sirven para registrar y/o describir detalladamente la morfología y cualidades físicas de los objetos de estudio.

Fueron explicadas detalladamente las características del instrumental y su funcionamiento, así como un listado de técnicas multiespectrales con equipos desarrollados específicamente para este propósito.

Debido a que el matiz es la cualidad del color que depende directamente de la longitud de onda de la luz, guarda una mayor relación con la composición material. Lo anterior nos permitió proponer que el contraste de matiz está asociado a la composición de los materiales.

La organización del matiz por intervalos en el círculo cromático, permitió denominar sistemáticamente esta cualidad del color. En general la metodología propuesta para el análisis cromático logró sistematizar la cuantificación y descripción del color.

Fue posible plasmar detalladamente, por medio de una metodología de trabajo, los diferentes tópicos a considerar en la implementación de la técnica de Imagen Infrarroja de Falso Color aplicada al estudio de pigmentos y colorantes en Obras de Arte y Patrimonio Cultural.

Durante el desarrollo de esta investigación se observó que a pesar de que las imágenes de infrarrojo de falso color pueden dar lugar a diferencias de color falso, la medición del cambio en el matiz tal y como se propone en este trabajo permite en buena medida normalizar la medición, de forma que el resultado es prácticamente independiente del equipo utilizado para adquirir la imagen, generando una información más objetiva.

Se logró analizar una importante Obra de Arte de Jacopo Carucci da Pontormo, así como valiosas piezas y un inmueble de Patrimonio Cultural en diversos acervos.

Tanto la investigación, como la parte experimental de esta técnica, permitieron conocer los siguientes alcances y limitaciones:

Alcances:

- Es una técnica de análisis material portátil y no invasiva.
- La cámara de video es un instrumento fácil de manejar, lo que posibilita su uso con una capacitación sencilla, por lo que no requiere un operador altamente especializado. Lo anterior hace accesible su implementación a usuarios con conocimientos básicos de fotografía.
- La instrumentación resulta accesible en costos, en comparación a equipos de imagen multi-espectral e hiperespectral, que presentan precios más elevados.
- Demostró ser una técnica exploratoria versátil, que en poco tiempo puede arrojar información sobre las similitudes y diferencias presentes en la composición material de los objetos de estudio, sin necesidad de una base de datos previa.
- Es aplicable a materiales de origen orgánico como colorantes, de origen mineral como pigmentos y materiales híbridos como las lacas.
- Puede cubrir grandes zonas de análisis y también áreas pequeñas, de hasta tres milímetros aproximadamente.
- Puede emplear iluminación natural y artificial.
- Esta técnica de imagen ayuda a seleccionar las zonas de análisis en las técnicas espectroscópicas puntuales, así como a hacer extensivos estos a otras zonas del objeto de estudio.
- Demostró ser una técnica versátil aplicable a una amplia gama de materiales y a diversas técnicas de manufactura (Temples, textiles, vidrios, corladuras, etc.).
- La metodología posibilitó una cuantificación del color, así como de sus contrastes; sistematizando los análisis cuantitativos y comparativos en las imágenes.
- Esta metodología permite crear bases de datos desarrolladas con probetas o réplicas preparadas con recetas de época, y es complementaria a la caracterización de materiales mediante técnicas espectroscópicas.

Limitaciones:

- No es capaz de diferenciar claramente la composición material de objetos con matices amarillos, ni oscuros o negros.

- Los análisis se vuelven poco fiables en colores que presentan saturaciones por debajo del 10%.
- Resulta en extremo difícil, y en ocasiones no es posible, caracterizar mezclas de ciertos pigmentos. En algunos casos se observa el predominio de alguno de los componentes en las propiedades ópticas observadas.

La implementación de ésta técnica arrojó los siguientes resultados en los distintos objetos de análisis:

- En el caso de las probetas de temple amarillas, fue posible observar cómo el aglutinante modifica las cualidades cromáticas de los pigmentos y lacas.
- En las muestras históricas de vidrios de la Ex hacienda de San Pedro Cholul, fue posible establecer 10 grupos, que a su vez presentaron subgrupos al interior de éstos; lo que ayudó a planificar análisis espectroscópicos posteriores.
- En el análisis de corladuras verdes de las figuras de arte novohispano, se logró determinar que éstas presentaban una composición material similar entre las dos esculturas; y además se logró proponer que posiblemente estén fabricadas con tierras verdes.
- En los azules de la pintura “Virgen de la leche”, la imagen de falso color permitió hacer visibles las restauraciones, así como ubicar el pigmento azul Lapis-lázuli en algunas zonas de la obra.
- En el caso del color rojo de un fragmento del techo policromado de la misión de “Santa María de Cuevas”, se consiguieron establecer dos composiciones materiales diferentes. Con la caracterización por FORS, se logró determinar la presencia de Cochinilla y Óxidos de Hierro y posteriormente ubicar espacialmente estos dos materiales con la imagen de falso color.
- También en techo policromado de la misión de “Santa María de Cuevas”, fue posible asociar composiciones materiales en común entre zonas con distintos grados de preservación del color.
- En el caso de las fibras teñidas y envejecidas, se pudo observar las similitudes y diferencias cromáticas entre las fibras animales y vegetales, así como entre los colorantes, mordientes y los procesos de postmordentado. También se logró observar los cambios en las cualidades cromáticas de las fibras teñidas, debido a los procesos de envejecimiento.

Por otra parte, se lograron obtener los siguientes tipos de resultados:

- Obtención de datos colorimétricos en materiales de referencia.
- Asociación de composición material en común entre dos o más muestras sin caracterización del material.
- Determinación de tendencias materiales compositivas por confrontación de información, empleando datos obtenidos de materiales de referencia indirectamente comparables.

- Caracterización de materiales por confrontación de información, empleando datos obtenidos de materiales de referencia directamente comparables.
- Caracterización de materiales por confrontación de información, empleando datos obtenidos de materiales caracterizados por técnicas espectroscópicas.
- Asociación de composición de composición material en común entre dos o más muestras con distintos grados de preservación de color.

La importancia de que este trabajo sea desarrollado por un diseñador y comunicador visual, en este caso uno orientado al diseño editorial, radica en que:

- El diseñador es un profesional en la adquisición, visualización, procesamiento y reproducción del color; estos conocimientos hicieron posible que este desarrollo considerara estos tópicos como parte del método.
- El diseñador editorial es un profesionalista que reúne el trabajo de distintas áreas, tales como la fotografía, la ilustración, la palabra escrita, la simbología, entre otras; para elaborar una publicación. En este caso el realizar una investigación que permitió conjugar la información cromática con imágenes que retratan distintos aspectos de un objeto, dotar a esa información de una interpretación y esquematizar un proceso de análisis, es algo que resulta similar a un proceso editorial en el que se tiene que conjugar la palabra escrita con productos plásticos, para dar estructura y narrativa de una forma gráfica.
- Uno de los principales aportes desde el diseño, es que se logró expresar de una forma gráfica el contraste cromático desde sus cualidades; lo que facilitó la interpretación y el análisis del color.
- Desde el área de la comunicación, uno de los principales logros de esta metodología, es la implementación de un lenguaje que permite describir cualitativamente al color, implementando parámetros que permiten estandarizar la forma en que se conceptualiza la experiencia cromática.

Este trabajo abre las siguientes perspectivas y trabajo futuro:

- Continuar el desarrollo de la metodología propuesta y extrapolarlo a otro tipo de imágenes como la fluorescencia con luz infrarroja, visible y ultravioleta y la reflectancia bajo iluminación ultravioleta.
- Generar más bases de datos de materiales de referencia de distinta naturaleza.
- Desarrollar instrumentación especializada (modificación en cámaras, fuentes de iluminación específicas, referencias de calibración de imagen y color) para este tipo de aplicaciones.
- Incrementar la participación de estudiantes y profesionales de diseño y otras áreas afines para el desarrollo de este tipo de investigación interdisciplinaria.

Bibliografía y fuentes digitales de consulta

- 1 Objetivos y líneas de investigación, recuperado de: <http://www.fisica.unam.mx/externos/RedCAICPC/laboratorio-nacional-de-ciencias-para-la-investigacion-y-la-conservacion-del-patrimonio-cultural-lancic-if-laboratorio-de-analisis-no-destructivo-para-el-estudio-in-situ-del-arte-la-arqueologia-y-l/>
- 2 Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE). Clark H. Radewan, Digital Image Processing With Pseudo-Color [Tratamiento de Imágenes Digitales con Pseudocolor], Proc. SPIE 0048, Acquisition and Analysis of Pictorial Data [Adquisición y Análisis de Datos Pictóricos], (1 March 1975); doi: 10.1117/12.954071; <https://doi.org/10.1117/12.954071>
- 3 Turning Wavelength Data Into an Image [Convirtiendo datos de longitud de onda en una imagen], recuperado de: <https://earthobservatory.nasa.gov/Features/FalseColor/page1.php>
- 4 Turning Wavelength Data Into an Image [Convirtiendo datos de longitud de onda en una imagen], recuperado de: <https://earthobservatory.nasa.gov/Features/FalseColor/page1.php>
- 5 Erik Reinhard, Erum Arif Khan, Ahmet Oğuz Akyüz and Garret Johnson, 2008, Color Imaging Fundamentals and Applications [Conceptos básicos y aplicaciones de imágenes en color], p.567
- 6 Kurt Nassau, 1998, Color for Science, Art and Technology [Color para la Ciencia, el Arte y la Tecnología], Volumen 1, p. 3
- 7 Erik Reinhard, Erum Arif Khan, Ahmet Oğuz Akyüz and Garret Johnson, 2008, Color Imaging Fundamentals and Applications [Conceptos básicos y aplicaciones de imágenes en color], p.252
- 8 Seeing the Light [Viendo la luz], recuperado de: <https://earthobservatory.nasa.gov/Features/FalseColor/page1.php>
- 9 Young, Hugh D. y Roger A. Freedman, 2009, Física universitaria con física moderna volumen 2, p. 1103) (Seeing the Light [Viendo la luz], recuperado de: <https://earthobservatory.nasa.gov/Features/FalseColor/page1.php>
- 10 Young, Hugh D. y Roger A. Freedman, 2009, Física universitaria con física moderna volumen 2, p. 1095
- 11 CIE. "Light as a True Visual Quantity: Principles of Measurement." [Luz como una verdadera cantidad visual: Principios de medición] Technical Report Publ. No. 41 (TC-1.4), Commission Internationale De L'Eclairage, Vienna, 1978.
- 12 Figura basada en la figura 2.2 "Componentes del ojo" de: Colour Chemistry, R. M. Christie, 2001, P. 16. También basada en la figura 4.13 "Conectividad de células neurales en la retina" de: Colour imaging fundamentals and applications, Erik Reinhard *et al.*, 2008, P. 213.
- 13 Erik Reinhard, Erum Arif Khan, Ahmet Oğuz Akyüz and Garret Johnson, 2008, Color Imaging Fundamentals and Applications [Conceptos básicos y aplicaciones de imágenes en color], p.321

Bibliografía y fuentes digitales de consulta

- 14 Robert M. Christie, 2001, La Química del color, p. 16
- 15 Young, Hugh D. y Roger A. Freedman, 2009, Física universitaria con física moderna volumen 2, p. 1095
- 16 Noboru Otha & Alan R. Robertson, 2005, Colorimetry Fundamentals and Applications [Colorimetría Fundamentos y Aplicaciones], p. 26-30
- 17 Observing in Visible Light [Observando en luz visible], recuperado de: <https://earthobservatory.nasa.gov/Features/FalseColor/page1.php> (Joanne Dyer, Giovanni Verri, John Cupitt, 2013, Multispectral Imaging in Reflectance and Photo-induced Luminescence modes: A User Manual [Imágenes multiespectrales en modos de reflexión y luminiscencia foto inducida: Manual de usuario], p.4
- 18 Alex Montwill & Ann Breslin, 2008, Let there be light [Que haya luz], p. 26-30
- 19 Erik Reinhard, Erum Arif Khan, Ahmet Oğuz Akyüz and Garret Johnson, 2008, Color Imaging Fundamentals and Applications [Conceptos básicos y aplicaciones de imágenes en color], p.634, Figura 12.1
- 20 Recuperado de: <https://www.xatakafoto.com/guias/el-filtro-de-paso-bajo-que-es-y-por-que-cada-vez-mas-camaras-prescinden-de-el>
- 21 Raíz etimológica de la palabra arte, recuperado de: <http://plasticas.dgenp.unam.mx/inicio/introduccion/concepto-de-arte>
- 22 Escobar Rodríguez, Irma Leticia, 2009, Conocimientos fundamentales para la formación artística
- 23 UNESCO, Manual Metodológico, p. 133, Recuperado de: <https://es.unesco.org/creativity/sites/creativity/files/digital-library/cdis/Patrimonio.pdf>
- 24 R. M. Christie, Colour Chemistry RSC Paperbacks [Química del color], P.23, 25 y 148
- 25 Joanne Dyer, Giovanni Verri, John Cupitt, 2013, Multispectral Imaging in Reflectance and Photo-induced Luminescence modes: A User Manual [Imágenes multiespectrales en modos de reflexión y luminiscencia foto inducida: Manual de usuario], p. 2 y 3
- 26 Ana Laura Camacho Puebla, Francisco José Jorge Mederos Henry, 2011, Alcances de la técnica de Fluorescencia de Rayos X (FRX) aplicada al estudio de la distribución estratigráfica de pigmentos en la pintura de caballete novohispana [Tesis], p.20
- 27 Deborah Sandidge, 2009, Digital Infrared Photography [Fotografía Infrarroja Digital], p. 7
- 28 Enciclopedia de la visión, Cámaras infrarrojas / térmicas, recuperado de: <http://www.infaimon.com/es/camaras-infrarrojas-termicas-4>
- 29 Joanne Dyer, Giovanni Verri, John Cupitt, 2013, Multispectral Imaging in Reflectance and Photo-induced Luminescence modes: A User Manual [Imágenes multiespectrales en modos de reflexión y luminiscencia foto inducida: Manual de usuario], p. 3, 4 y 5.
- 30 Samanta Pérez Arévalo, Registro en video del crecimiento de cristales de alumbre de cromo con el tiempo y el proceso de deshidratación con la temperatura, Póster científico presentado en el VIII Congreso Nacional de Cristalografía, México, 2016.

Bibliografía y fuentes digitales de consulta

- 31 Introduction [Introducción] Retomado de: <http://www.dstretch.com/AlgorithmDescription.html>
- 32 Recuperado de: <http://culturalheritageimaging.org/Technologies/RTI/>
- 33 Recuperado de <https://3dscanexpert.com/agisoft-photoscan-photogrammetry-3d-scanning-review/>
- 34 Recuperado de: <http://www.expertreviews.co.uk/dji/dji-phantom-4> [Derecha] y <https://www.questuav.com/services/questuav-external-services/image-processing-services/agisoft-photoscan/> [Izquierda].
- 35 Recuperado de: <http://www.sony-asia.com/local/product/hdr-pj760ve#cmossensor>
- 36 Recuperado de: <http://xritephoto.com/colorchecker-classic>
- 37 Robert C. West, La comunidad Minera en el Norte de la Nueva España: El Distrito Minero de Parral, 2002, P. 11
- 38 Zacarías Márquez, Misiones de Chihuahua Siglos XVII y XVIII, 2004, P.4-5
- 39 M. A. Maynez-Rojas, et al, Identification of natural red and purple dyes on textiles by Fiber-optics Reflectance Spectroscopy, Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomecular Spectroscopy, México, 2017