

# Análisis físico-químico de materiales artísticos de la pintura “Colonización de México”, Francisco Sans y Cabot, 1863

Ariadna Mendoza Cuevas

Liliet Nodarse Martín

Manuel Calas

Hugo Alonso

## RESUMEN

El Laboratorio de Arqueometría, de la Oficina del Historiador de la Ciudad de La Habana, Cuba (OHCH), ha realizado un estudio de los materiales utilizados en la pintura de caballete: “Colonización de México”, Francisco Sans y Cabot (1828-1881) expuesta en el Museo de la Ciudad, con un enfoque no destructivo. La investigación incluye la identificación de los pigmentos, la técnica artística, la capa de protección y el lienzo. Se emplearon los métodos analíticos: Fluorescencia de Rayos X Portátil, Microscopía Óptica y Espectroscopia Infrarroja. Los pigmentos identificados fueron: pigmentos tierras rojas, ocre amarillos y verde, bermellón, azul de cobalto, blanco de cinc y negro orgánico. El análisis estratigráfico y morfológico combinado reveló tres estratos: preparación en blanco de plomo, imprimación coloreada a base de blanco de cinc y estrato pictórico protegido con una resina tipo Laca, sobre un lienzo identificado como lino con una trama 13 x 10/ cm<sup>2</sup>.

**Palabras clave:** análisis no destructivo, fluorescencia de rayos X, microscopía óptica, espectroscopia infrarroja, pinturas, obras de arte.

## ABSTRACT

The Archaeometry Laboratory of the Historian’s Office of Havana City has studied the materials used in the easel painting “The Colonization of Mexico” by Francisco Sans y Cabot (1828-1881), exhibited in the City Museum, with a nondestructive approach. The investigation includes the identification of pigments, artistic technique, protective layer and canvas. The following analytical methods were used: Portable Fluorescent X-rays, Optical Microscopy and Infrared Spectroscopy. The pigments were identified as follows: yellow, green, ochre and red earth pigments, vermilion, Cobalt blue, white zinc and organic black. The combined stratigraphic and morphologic analysis revealed three stratum: preparation in white lead, colored primer based on white zinc and pictorial stratum protected with a varnish-type resin on a canvas identified as linen with a 13 x 10/ cm<sup>2</sup> weave.

**Key words:** nondestructive approach, fluorescent x-rays, optical microscopy, infrared spectroscopy, paintings, work of art.

**Ariadna Mendoza Cuevas**, Licenciada y Máster en Física Nuclear, Jefa del Laboratorio de Arqueometría, Gabinete de Restauración y Conservación, Oficina del Historiador de la Ciudad de La Habana.

**Liliet Nodarse Martín**, Licenciada en Bioquímica, Laboratorio de Arqueometría, Gabinete de Restauración y Conservación, Oficina del Historiador de la Ciudad de La Habana.

**Manuel Calas**, Licenciado en Química, Laboratorio de Arqueometría, Gabinete de Restauración y Conservación, Oficina del Historiador de la Ciudad de La Habana.

**Hugo Alonso**, Licenciado en Química, Laboratorio Central de Criminalística de Ciudad de La Habana.

## INTRODUCCIÓN

Como es conocido, en el ámbito de la restauración y la conservación la determinación de los materiales originales y de restauraciones anteriores en una obra permite una restauración científicamente argumentada, así, al ser intervenida, se pueden emplear materiales compatibles químicamente. Además se puede conocer el estado de conservación de pigmentos y materiales y la degradación que ha sufrido la obra a nivel microscópico. La caracterización más completa que se pueda obtener de la investigación de los materiales y de la técnica artística de una pintura revelará la historia material de la misma, lo cual contribuirá también a ulteriores estudios de atribución de piezas del mismo autor, período o escuela.

En el campo del examen científico de bienes culturales existe una especial preocupación por el uso de técnicas no destructivas. El concepto de no destructivo se toma más literal que en el campo analítico; más que no consumir muestra, es tomado en muchas ocasiones como que no se requiera muestra en absoluto. Se valora más si la información esperada justifica el daño infligido por el muestreo a la obra de arte por ser la integridad física del objeto una prioridad del museo. Los análisis no destructivos a través de los espectrómetros portátiles que iniciaron su desarrollo a finales de la última década del Siglo XX<sup>1,2,3</sup>, han dado un extraordinario impulso al campo, ya que permiten el análisis in situ y punto a punto del bien cultural, colectando así una mayor información. La Fluorescencia de Rayos X (FRX) es un método ya establecido en el estudio de bienes culturales<sup>4</sup>. En pintura, la FRX ha sido usada sin preparación de la muestra para identificar los pigmentos de la paleta del pintor, usualmente por las mayores concentraciones de uno a cinco elementos de una lista<sup>5</sup> de algunos cientos de pigmentos inorgánicos descubiertos en los pasados 500 años, para proveer datos de relevancia para la historia del arte acerca del uso de pigmentos en un período o escuela en pinturas de incuestionable atribución y en algunos casos indirectamente fechar o fechar por interferencia previendo los términos *post quem* y *ante quem*, respectivamente. La presencia de pigmentos en pinturas de una sola capa y en manuscritos<sup>6</sup> puede ser identificada por análisis de FRX no destructivos. Sin embargo, cuando existen varios estratos de pintura, una correcta interpretación de los espectros requiere de experiencia y conocimiento de las técnicas pictóricas<sup>7</sup>. La fluorescencia de rayos X portátil es ideal para el examen de pinturas en los museos ya que permite identificar los elementos característicos de la mayoría de los pigmentos<sup>1,7</sup>.

Por otra parte, el afán de identificar también de modo no destructivo los compuestos orgánicos en materiales artísticos ha motivado en el Siglo XXI, algunos proyectos en curso para desarrollar equipos móviles de espectrometría ultravioleta-visible y de espectroscopia infrarroja<sup>8</sup>, para los cuales se analizan sus potencialidades y limitaciones. Entre los materiales artísticos orgánicos se encuentran los aglutinantes

---

1 Cesareo et al., 1996: p. 440.

2 Longoni et al., 1998: p. 407.

3 H. Bronk et al., 2001: p. 371.

4 Lindgren (Ed.), 2000: p. 1.

5 Feller (Ed. 1986: p.1.

6 Klockenkamper et al., 2000: p.119.

7 Neelmeijer et al., 2000: p. 101.

8 Brunetti et al., 2005: p.12.

y barnices empleados como capas protectoras. En general, la naturaleza (proteica o aceitosa) de los aglutinantes tradicionalmente se ha identificado por métodos de tinción selectivos usados en histoquímica, sobre una diminuta muestra de la sección transversal. La caracterización de aglutinantes naturales en capas de pinturas a pesar de la cantidad de métodos existentes, aún es extremadamente difícil, fundamentalmente debido a los procesos de degradación inducidos por el envejecimiento natural y la contaminación, así como interferencias entre otros componentes presentes como los pigmentos <sup>9</sup>. La identificación precisa de los aglutinantes mediante métodos de microanálisis por cromatografía y espectroscopías o sistemas híbridos con espectrómetros de masa acoplados es un tema actual de investigación que ha suscitado talleres y eventos de interesantes debates, debido a que los métodos usados son sustancialmente diferentes en varios laboratorios, por lo que es necesario investigar las metodologías y estrategias (incluyendo muestreo, análisis instrumental, tratamiento de datos e interpretación)<sup>10</sup>.

En el Museo de la Ciudad de La Habana, cito en el Centro Histórico, se encuentran diferentes obras del pintor español Francisco Sans y Cabot (1828-1881)<sup>11,12</sup>. La pintura “Colonización de México” realizada en el año 1863, pertenece actualmente a la colección de pintura colonial de este museo y estaba expuesta en la Antesala del salón del Cabildo Habanero en 1880. Esta obra se enmarca en la etapa del Realismo, donde tuvieron especial atención las pinturas de asunto histórico, caracterizadas por una correcta ambientación del escenario, de manera especial, en la minuciosidad con que se presentaban las vestimentas y las armas y en la misma línea, donde también los caballos fueron objeto de un detenido estudio anatómico. Esta pintura de gran formato (432 x 300 cm) fue restaurada por el Taller de Pintura de Caballete de la Oficina del Historiador de la Ciudad de La Habana (OHCH) y previamente a su restauración fue solicitada la presente investigación, que debía realizar los análisis teniendo en cuenta el buen estado de conservación de esta obra. Este trabajo representa un ejemplo del enfoque de análisis no destructivo: sin extracción de muestras o de microanálisis en el estudio de pinturas de caballete que se realiza en el Laboratorio de Arqueometría de la Oficina del Historiador de la Ciudad de La Habana.

La investigación de esta obra fue realizada mediante el uso de diferentes técnicas analíticas permitiendo la identificación de los materiales que determinan los pigmentos, la técnica artística, la capa protectora y el lienzo, y el análisis estratigráfico. La fluorescencia de rayos X en versión portátil permitió realizar un análisis no destructivo e *in situ*, lo cual fue necesario debido a las grandes dimensiones de esta pintura, permitiendo así el análisis de numerosos puntos sobre la superficie de esta obra artística y obteniendo una información más global de la composición multielemental de los pigmentos. Solo tres diminutas muestras fueron extraídas: una de la sección transversal de la pintura para el análisis estratigráfico por microscopía óptica, una en polvo para una prueba microquímica complementaria

---

9 Zadrozna et al., 2003: p. 996.

10 LabS TECH European Infrastructure Cooperation Network, 2003, p. 4.

11 Portela, 1997: p. 121.

12 Portela, 2000: p. 1.

para la identificación de un pigmento y una mediante el pasado con hisopo sobre la superficie, para la identificación de la sustancia empleada como capa protectora por espectroscopia infrarroja.

## MÉTODOS DE ANÁLISIS

### Análisis no destructivo por fluorescencia de rayos X portátil (FRXP)

La fluorescencia de rayos X es un fenómeno físico que ocurre a nivel atómico al irradiarse una muestra con un haz de rayos X. Cada fotón de rayos X puede interactuar con los electrones más internos del átomo con mayor probabilidad, produciendo su extracción (dejando una vacante) y quedando el átomo en estado excitado. Los electrones de capas superiores ocupan las vacantes sucesivamente y en cada salto se emiten fotones de rayos X, energía característica para cada transición, para alcanzar el equilibrio energético. Las energías de los fotones X emitidos son características para átomo o elemento químico, lo que permite su identificación en los sistemas de FRX, donde estos fotones son colectados por un detector de rayos X sensible a energía.

Pueden identificarse por este método, cuando se mide en atmósfera ambiental (no vacío), como es el caso del sistema portátil que se utiliza en este trabajo; los elementos químicos a partir del silicio (Si), lo que permite identificar la mayor parte de los pigmentos inorgánicos.

Se empleó el espectrómetro portátil de FRX, desarrollado por A. Mendoza (autora)<sup>13, 14</sup> (ver figura 1) del Laboratorio de Archeometría, el cual denominamos como *Art-FRX*. Este instrumento está basado en una fuente de excitación con un tubo de rayos X (ánodo de Pd, máxima corriente y voltaje: 1 mA y 50 kV) y un detector miniaturizado de tipo Si-PIN. El sistema de colimación permite analizar áreas de diámetros de 0.5 mm a 1 cm. La elección del punto de medición se realiza mediante el asesamiento con dos láseres de posición que se interceptan en un punto, lo cual permite seleccionar el punto de medición e indica el límite de aproximación del espectrómetro a la obra de arte durante el análisis, garantizando condiciones geométricas adecuadas y reproducibles que hacen posible la comparación de datos. El sistema posee una electrónica asociada al detector, una tarjeta multicanal que permite el acople a una computadora portátil (laptop). Los parámetros del tubo de rayos X son situados por el analista a través del panel de alimentación del tubo de rayos X, según la aplicación. Para el análisis de estas pinturas se utilizó una corriente de 0.05 mA y un voltaje de 40 kV. La cabeza de medición (tubo de rayos

---

13 XRF Newsletter, 2001: p. 1.

14 Mendoza Cuevas, 2008: pp.1-18.



**Foto 1.** Espectrómetro portátil de Fluorescencia de rayos X: Art-FRX durante las mediciones de la pintura de caballete “Colonización de México”, Francisco Sans y Cabot (1828-1881)

X y detector de rayos X) está situada sobre una mesa coordinada que permite la aproximación precisa a la obra y esta a su vez se sostiene por un soporte mecánico sobre ruedas que se fija al piso con ventosas por razones de seguridad. El sistema cumple las regulaciones de la práctica con radiaciones ionizantes que establece el Centro Nacional de Seguridad Nuclear (CNSN).

Los espectros de FRX son colectados y procesados a través de la computadora. Los análisis se realizaron *in situ* en el Taller de Pintura de Caballete de la OHC. Se analizó la composición multielemental de colores representativos de la pintura investigada. En el caso en que fue requerido un análisis complementario ulterior, la extracción de muestra se minimizó ya que se extrajo de un punto seleccionado por una máxima intensidad de la línea de rayos X del elemento químico identificador del color, a través del monitoreo de la intensidad de este elemento en los espectros FRX obtenidos para el mismo color.

## Análisis estratigráfico y morfológico al microscopio óptico

Para el análisis estratigráfico, que es la determinación del número y disposición de estratos constitutivos de la obra pictórica; una muestra representativa de la sección transversal de la pintura fue incluida en una mezcla de resina epóxica y su catalizador para lograr la cristalización de un pequeño bloque. Luego de una hora su superficie fue cuidadosamente pulida mediante el uso de lijas de diferentes puntos de grano (100, 500, 1200, 4000) hasta que la resina no afectaba la visibilidad de las capas de la obra. En el procedimiento se emplea un microscopio óptico con luz reflejada obtenida mediante dos fibras ópticas acopladas en los diferentes aumentos para poder distinguir las características morfológicas de la muestra. Utilizando la luz transmitida

del microscopio óptico se observó la morfología de las partículas de los pigmentos analizados embebidos en aceite de inmersión sobre los portaobjetos.

## Análisis microquímico

Los ensayos microquímicos se basan en reacciones de alta sensibilidad lo que permite llevarlos a cabo cuando la cantidad del analito es muy baja: inferior a 1 mg de una muestra en polvo o en muestras de secciones transversales o finas en zonas representativas de obras pictóricas. Ello hace conveniente el uso del microscopio óptico para una observación más precisa de la reacción química que tiene lugar.

En particular para este estudio, luego del análisis de FRX fue necesaria la identificación de Aluminio (Al) en un pigmento azul. La prueba se realizó con el reactivo de Morina (pentahidroxiflavona,  $C_{15}H_{22}O_7$ ). La Morina reacciona con el catión  $Al^{3+}$  para originar una sal de aluminio que presenta una intensa fluorescencia azul-verdosa a la luz ultravioleta<sup>15</sup>. La muestra (partículas extraídas de azul intenso) se disolvió en HCl 2N y a 2 gotas de dicha solución se le añadió una gota del reactivo identificador: una solución saturada de Morina en alcohol metílico al 1% y se examinó a la luz ultravioleta.

## Análisis por espectroscopia infrarroja (FTIR) de capas protectoras

La espectroscopia de infrarrojo se basa en la correlación entre el espectro determinado de la absorción selectiva de la radiación infrarroja, por parte de los electrones de enlace de una sustancia y la identidad química de la sustancia. Estos electrones poseen energía cuantizada no sólo en relación a su posición respecto a los núcleos (E potencial) sino también en relación a los movimientos de vibraciones y rotaciones de los enlaces y átomos. El salto cuántico de este tipo de energía (vibracional y rotacional) puede ser fácilmente provocado excitando los electrones con radiaciones en la zona infrarroja (3–25  $\mu m$  (espectros vibracionales) y 25–200  $\mu m$  (espectros rotacionales). En la región de  $\lambda$  cortas en el espectro IR se determinan los grupos funcionales OH, NH y C=O y la intermedia es la región de "huella dactilar" de moléculas. En bienes culturales la espectroscopia IR permite el análisis cualitativo y semicuantitativo de casi todas las sustancias en todos los estados de agregación ej: barnices, adhesivos, aglutinantes, pigmentos y otros materiales de restauración.

En este trabajo, una muestra de barniz fue seleccionada para el análisis por espectroscopia FTIR, auxiliándose de la fluorescencia que producen las capas protectoras envejecidas mediante el empleo de la lámpara ultravioleta y fue extraída por absorción con un hisopo. La muestra se extrajo del hisopo con acetato de etilo, se evaporó y luego se aglutinó con KBr para formar una pastilla, la cual se analizó con un equipo de FTIR en el rango de frecuencia de 4000 a 500  $cm^{-1}$ .

---

15 Burriel, 1990: 603 p.

## Análisis estratigráfico y morfológico

La muestra fue incluida en una resina epóxica con catalizador para su cristalización y luego de una hora su superficie fue cuidadosamente pulida mediante el uso de lijas de diferentes puntos de grano (100, 500, 1200, 4000) hasta que la resina no afectaba la visibilidad de las capas de la obra. En el procedimiento se emplea el microscopio óptico en los diferentes aumentos para poder distinguir las características morfológicas de la muestra.

La microscopia óptica también se utilizó para observar la morfología de las partículas de los pigmentos por identificar, utilizando aceite de inmersión, al prepararlos en los portaobjetos.

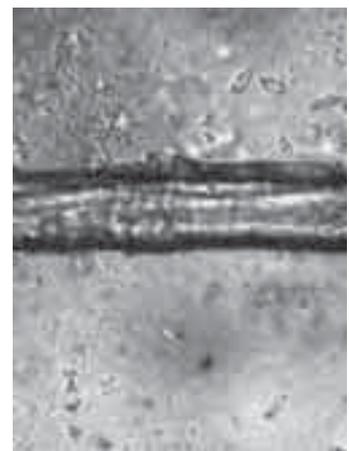
## Pruebas de tinción del aglutinante

El principio del método es una reacción química, con la formación de un complejo coloreado. Las pruebas de tinción de aglutinantes tienen como finalidad la identificación de sustancias proteicas y sus derivados a través de las especies reactivas presentes en su composición química. En la mayoría de los casos se trata de especies ácidas ó básicas. Para la realización de estos ensayos se seleccionan colorantes específicos que tiñen proteínas. Este análisis consiste en la fijación irreversible (resistente a baños de lavados) de colorantes específicos para materiales proteicos o aceitosos. Permite realizar análisis colorimétrico y la localización de aglutinantes (adhesivos, barnices, etc.) pictóricos en la sección transversal. Estos análisis pueden distinguir entre aglutinantes pictóricos de naturaleza proteica (huevo, cola animal, caseína, etc.) de aquellos de naturaleza aceitosa (aceite de linaza, nuez, amapola, etc.). La sensibilidad de este método no es en todos los casos elevada y es escasamente selectivo en función del envejecimiento.

Se realizó la tinción en una muestra representativa de la sección transversal de la obra, con el reactivo de Fuschina ácida, el cual se preparó al 1% en agua destilada. La muestra se sumergió durante 5 minutos y se lavó abundantemente con agua destilada para eliminar el exceso del reactivo, antes de analizar la coloración al microscopio óptico.

## Análisis morfológico del lienzo

Para el análisis de lienzo empleado como soporte de esta obra pictórica, se realizó la limpieza del fragmento textil hirviéndolo en agua con una solución de carbonato de sodio durante una hora. La trama se determinó por observación al microscopio óptico y se contaron las fibras dispuestas en sentido horizontal y luego las hiladas verticalmente en un área de un 1 cm<sup>2</sup>. La sección longitudinal se pudo



*Foto 6. Microfotografía de sección longitudinal del lienzo, identificado como lino.*

apreciar luego de separar las fibras con pinzas y bisturí, hasta dispersarlas en aceite de inmersión sobre una lámina portaobjetos. Las características estructurales de la fibra se distinguieron por observación al microscopio óptico con luz transmitida. La muestra preparada y fibras previamente identificadas usadas como patrones, fueron observadas para la identificación de la muestra de fibra textil del lienzo. Adicionalmente se realizaron pruebas de tinción con reactivos específicos para la identificación de fibras celulósicas mediante el reactivo de cloro-yoduro de cinc.

## RESULTADOS

### Análisis por FRXP

La pintura “Colonización de México” presenta una gran variedad de colores distribuidos en su extenso formato (ver foto 2), los cuales fueron analizados en este estudio de modo no destructivo con el espectrómetro portátil Art-FRX, lo que permitió obtener una información generalizada de la paleta de colores minimizando el muestreo. La portabilidad de este equipo fue un requerimiento esencial en este trabajo debido a las dimensiones de la obra, por lo que pudo transportarse al taller de restauración de pintura de caballete para evitar el deterioro en la manipulación y traslado de la obra. La tabla 1 muestra el análisis multielemental cualitativo de los pigmentos utilizados por el autor en la obra y las conclusiones que obtuvimos derivadas de la interpretación de los espectros de FRX y el conocimiento de la composición química de los pigmentos empleados en la historia del arte. En la foto 3 aparecen espectros FRX representativos. Los elementos químicos identificadores del color fueron determinados por las líneas K o L según fueron excitados dados

**Foto 2.** Mapa de puntos analizados (análisis no destructivo por FRXP, o análisis estratigráfico). Descripción foto de la pintura “Colonización de México”, con puntos adicionales que indican los puntos de medición por FRXP, 2003.

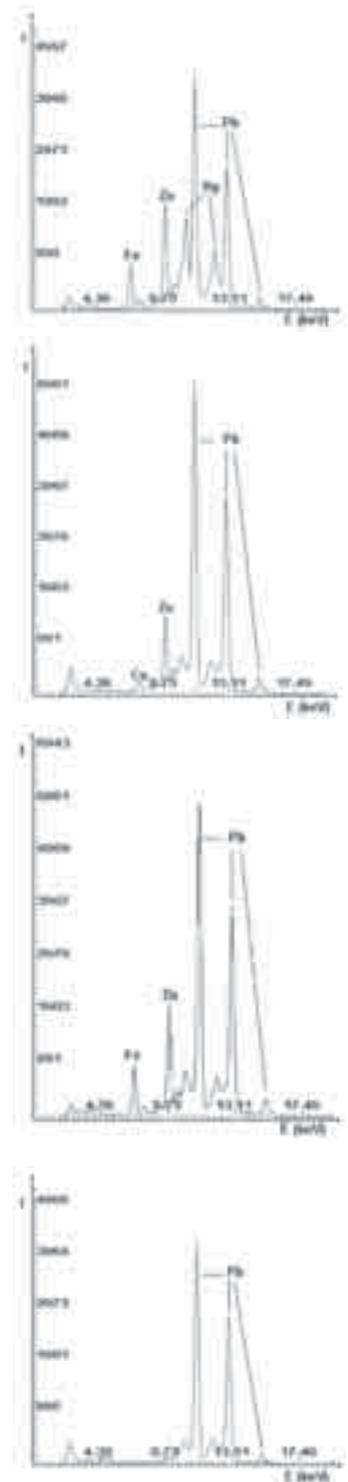


**Tabla 1**  
**Análisis por FRXP de pigmentos, material de la preparación e imprimación**

Color - Punto	Análisis cualitativo	Conclusiones.
Rojo - 1	Ca, Fe*, Zn, Pb, Hg*	Tierra roja y bermellón.
Carnación - 2	Ca, Fe*, Zn*, Pb, Hg*	Blanco de cinc coloreado con bermellón y pigmento(s) tierra.
Azul cielo- 3, 9, 10, 19, 22, 23, 24	Ca, Fe, Co*, Zn*, Pb	Azul cobalto y blanco de cinc para el aclarado.
Blanco- 4, 6, 11	Ca, Fe, Zn*, Pb*	Color de fondo.
Negro-5, 12	Ca, Fe, Zn, Pb	Negro orgánico.
Amarillo claro-7	Ca, Fe*, Zn*, Pb	Ocre amarillo más blanco de cinc para el aclarado.
Amarillo oscuro-8	Ca, Fe*, Zn, Pb	Ocre amarillo.
Rojo-13	Ca, Fe*, Zn, Pb, Hg*	Bermellón y tierra roja.
Siena -14	Ca, Fe*, Zn, Pb	Tierra.
Verde claro-15	Ca, Ba, Fe*, Zn*, Pb	Tierra verde mezclado con blanco de bario y blanco de cinc para el aclarado.
Verde azul - 16	Ca, Co*, Fe*, Zn, Pb	Azul cobalto mezclado con tierra verde.
Negro - 17, 18, 21	Ca, Fe, Zn, Pb	Negro orgánico.
Imprimación (bajo el marco) -20	Ca, Ba, Pb*	Blanco de plomo con presencia minoritaria de blanco de bario.
Rosado- 25, 26, 27	Ca, Fe, Zn*, Hg*, Pb	Blanco de cinc coloreado con bermellón y pigmento(s) tierra.

\* Elemento identificador de color

el rango energético del haz de rayos X empleado. Los pigmentos tierras (óxidos de hierro): rojos, ocre amarillo, y tierra verde fueron identificados por la presencia simultánea de las líneas  $\alpha$  y  $\beta$  del hierro (Fe). El cinabrio (sulfuro de mercurio (HgS)) fue identificado por la detección de las líneas  $L\alpha$ ,  $L\beta$  y  $L\gamma$  del mercurio (Hg) y el incremento de la línea k del azufre (S), que tiene interferencia con la línea M del Plomo (Pb), que se encontró siempre presente en todos los espectros medidos debido a una imprimación en blanco de Pb ( $2PbCO_3$   $Pb(OH)_2$ ). Igualmente se detectó en todos los espectros la presencia de las líneas  $\alpha$  y  $\beta$  del cinc (Zn), lo que permitió predecir la existencia de un estrato subyacente a base de blanco de cinc, lo cual fue posteriormente confirmado al medir el espectro FRX en un punto bajo el marco de la pintura, donde se encontraba solo la imprimación observándose únicamente la presencia de las líneas L intensas del Pb y una presencia minoritaria



**Figura 3.** Espectros FRX representativos de colores rojo, azul, amarillo y de imprimación. Observe la presencia constante de las líneas L del Pb y las líneas K del Zn, que identifican la imprimación en blanco de plomo y el estrato de color de fondo a base de blanco de cinc.

de blanco de bario o blanco permanente, identificado por las líneas L del Ba con una baja intensidad. El blanco de bario ha sido usado en la historia para aumentar los volúmenes de pigmento debido a su transparencia al secar en la pintura al óleo, esto puede explicar su presencia en el color verde analizado. Sin embargo, las líneas L del Ba no aparecen en todos los espectros a pesar de que este elemento está presente en la imprimación del lienzo, ya que estas bajas energías son absorbidas por las capas superpuestas, lo que no ocurre con las energías más altas como las líneas del Pb de la imprimación ni con las líneas del Zn correspondientes al color de fondo. Se identificó el blanco de cinc para el aclarado de los colores y el empleo de negro orgánico por la no detección de elementos identificadores de color en el espectro de FRX. Como negro orgánico se incluyen los negros a base de carbón (negro humo, negro de vid, negro de carbón, grafito,...), negro de marfil y negro de hueso, que son transparentes a los análisis de FRX y se excluyen los restantes. El color de la carnación se logra con blanco de cinc y cantidades minoritarias de bermellón y tierra roja. El análisis de FRX identificó la presencia de un pigmento azul a base de cobalto en la región del azul pálido del cielo. La identificación precisa del pigmento requirió de un análisis microquímico complementario ulterior. La muestra para este último análisis se tomó teniendo en cuenta el punto de mayor intensidad en los espectros FRX medidos del azul del cielo.

Debido a la existencia de varios pigmentos azules a base de cobalto: azul de cobalto ( $\text{CoAl}_2\text{O}_4$ ), azul cerúleo ( $\text{CoO SnO}_2$ ) y azul de esmalte (vidrio ( $\text{SiO}_2, \text{K}_2\text{O}$ ), contiene Co), se realizó una búsqueda de la utilización de estos pigmentos en los diferentes periodos. El empleo del azul de esmalte generalmente es reportado hasta mediados del XVII (1625) y la época de introducción del azul cerúleo es bastante discutida: Augusti afirma que entró en uso en 1804, Wanscher que se preparó por primera vez en 1859, mientras que Gettens y Stout afirman que se conoce desde el inicio del siglo XIX pero que no fue introducido hasta el año 1860 con el nombre de coeruleum por G. Rowney y colaboradores, quienes sugirieron su uso en la pintura a la acuarela y al óleo. Estas afirmaciones apuntan al azul de cobalto como el único pigmento con contenido de cobalto, que puede haber sido empleado en esta obra de 1863. La no existencia de las líneas L del estaño (Sn) en el espectro FRX de un color azul a base de cobalto, pudiera excluir el azul cerúleo, sin embargo, el Sn se excita débilmente según el rango energético empleado para una cantidad minoritaria en la muestra como es el caso del pigmento azul mezclado con blanco de cinc para lograr el azul pálido del cielo, a su vez la débil intensidad medida del Co en el azul pálido no podría distinguirse de la existencia minoritaria de cobalto en el azul de esmalte.

## Análisis morfológico y microquímico

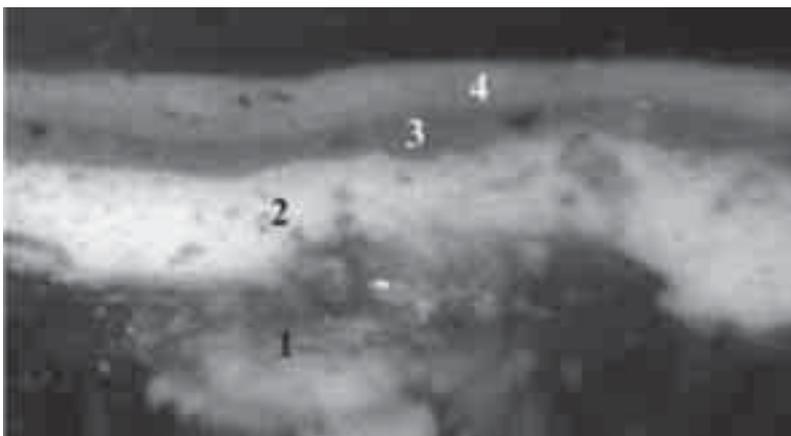
Para verificar la hipótesis anterior (la basada en los datos de época de uso de los pigmentos azules con presencia de cobalto en la historia de la pintura)

se realizó el análisis morfológico y microquímico de la muestra de azul del cielo seleccionada por FRX. La observación de sus partículas bajo el microscopio óptico mostró una morfología similar al azul de cobalto y el azul cerúleo, y bien diferente al azul de esmalte según las características descritas<sup>16</sup>. La identificación del azul de cobalto se basó en la determinación de aluminio, elemento también constitutivo de este pigmento, mediante el reactivo de la Morina. La fluorescencia bajo la luz ultravioleta demostró la presencia de aluminio y por lo tanto identificó el empleo de azul de cobalto en esta pintura.

## Análisis estratigráfico y tinción con reactivo de Fushina ácida

La toma de una sección transversal representativa, en un punto donde pudo extraerse sin comprometer además el mensaje de la obra, hizo posible el análisis estratigráfico. El análisis del número y disposición de capas (ver foto 4) se realizó a través de una muestra de color carnación, que contenía todos los estratos constitutivos de la obra, mostrándose la supuesta capa subyacente a la capa pictórica (predicha del análisis no destructivo por FRX precedente), como un estrato coloreado a base de blanco de cinc y pigmentos tierras sobre la imprimación de blanco de plomo del lienzo, lo que sugiere su empleo como color de fondo en la técnica artística.

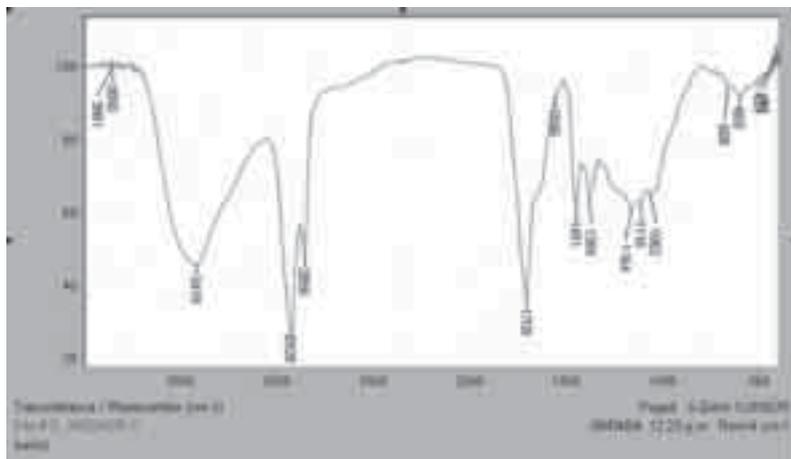
La presencia de material proteico definida a partir de la obtención de un resultado positivo ante el reactivo de Fushina ácida en la capa de preparación y negativo en los siguientes estratos, probablemente identifica el empleo tradicional de cola animal en la preparación del soporte y el empleo de aceite en los próximos estratos.



**Foto 4.** Microfotografía de sección transversal de una muestra de carnación con la siguiente estratigrafía: Capa 1: lienzo soporte, Capa 2: imprimación de albayalde, Capa 3: capa subyacente (color de fondo para la capa pictórica) de blanco de cinc pigmentada con tierras, Capa 4: capa pictórica de carnación a base de blanco de cinc con inclusiones de bermellón o cinabrio y tierra roja. Descripción microfotografía de sección transversal de la pintura: "Colonización de México", 2002.

16 Rinaldi et al., 1986: p. 427.

Foto 5. Espectro  $F_{TIR}$  del barniz de la capa de protección



## Análisis por espectroscopia infrarroja

La muestra extraída del hisopo con material de la capa protectora de la pintura fue identificada por  $F_{TIR}$ . En el espectro IR (ver foto 5), las bandas ubicadas en los 2928 y 2856  $cm^{-1}$  atribuidas a las vibraciones de enlace hidrógeno-carbono y la banda en 1709  $cm^{-1}$  atribuida a la vibración de doble enlace carbono-oxígeno, corresponden a los grupos C-H y C=O de una resina. Por las posiciones de dichas bandas y las ubicadas entre los 1451  $cm^{-1}$  y 605  $cm^{-1}$ , se determinó que el barniz estaba constituido por una resina de tipo laca al comparar también con espectros IR medidos de la colección de aglutinantes reportados por los laboratorios del The Getty Conservation Institute<sup>17</sup>.

## CONCLUSIONES

La pintura “Desembarco en México por Hernán Cortés” presenta una gran variedad de colores, los cuales fueron estudiados mediante un análisis no destructivo e *in situ* que permitió identificar los pigmentos que integraron la paleta de colores utilizados por el autor con un muestreo mínimo (una muestra), como: pigmentos tierras (óxidos de hierro) rojos y ocre amarillos, tierra verde, el cinabrio o bermellón (HgS), el azul de cobalto y el blanco de cinc para el aclarado de los colores y negro orgánico. El color de la carnación se logra con blanco de cinc y cantidades minoritarias de bermellón y tierra roja.

El análisis estratigráfico de una muestra reveló la existencia de tres capas dispuestas sobre el lienzo empleado como soporte, las cuales se identificaron como: capa de imprimación a base de blanco de plomo, capa de color de fondo a base de blanco de cinc pigmentada con tierras y capa pictórica.

<sup>17</sup> Derrick et al., 1999: 152 p.

La utilización de material proteico fue identificada en la preparación, así como el empleo de una resina tipo laca como capa protectora de la obra. El soporte original de la obra fue realizado con una trama 13 x 10/ cm<sup>2</sup> empleando como fibra textil el lino.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda una identificación precisa del tipo de aceite empleado como aglutinante mediante las técnicas analíticas como cromatografía gaseosa o líquida de alta resolución. El Laboratorio de Arqueometría de la OHCH actualmente labora en la implementación de la identificación de aglutinantes por estos dos métodos, atendiendo a la mínima cantidad de muestra.

## BIBLIOGRAFÍA

- BRONK, H. ET AL. ArtTAX - a new mobile spectrometer for energy - dispersive micro x-ray fluorescence spectrometry on art and archeological objects. *Fresenius Journal of Analytical Chemistry*. n. 371, 2001. pp. 307-316.
- BRUNETTI B. G. ET AL. Molab: a trasnational access service for *in-situ* non-invasive studies of the European cultural heritage. In: *Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Conference on Non-destructive Testing and Microanalysis for the Diagnostics and Conservation of the Cultural and Environmental Heritage*. Lecce, Italia, 2005 (doc. no publicado)
- BURRIEL, F. *Química Analítica Cualitativa*. Ciudad de La Habana, La Habana, Cuba: Edición Revolucionaria, 1990. 603 p.
- CESAREO, R. ET AL. Applications of non-cryogenic portable edxrf systems in archaeometry, *Nuclear Instrument & Methods*. A 380, 1996. pp. 440-445.
- DERRICK, M.R. ET AL.. *Métodos de examen científico de obras de arte: microespectroscopía infrarroja*. Los Angeles, U.S.A.: The Getty Conservation Institute. 1999. 152 p. (doc. no publicado).
- Development of portable XRF spectrometer for in-situ study of works of arts, *XRF Newsletter*, IAEA's laboratory, Seibersdorf, Austria, Issue n. 2, 2001. p. 1.
- FELLER, R.L. (ED.). *Artist's Pigments: A Handbook of their history and characteristics*. Washington, DC: Cambridge University Press, 1986.
- KLOCKENKAMPER, R. ET AL. Analysis of Pigments and Inks in Oil Painting and Historical manuscripts using Total Reflection X-ray Fluorescence Spectrometry. *X-ray Spectrometry*, v. 29, n. 1, 2000. pp. 119-129.
- LINDGREN, ES. (GUEST ED). Special Millennium Issue on Cultural Heritage. *x-ray Spectrometry*, v. 29, n. 1. 2000.

LONGONI, A.; FIORINI, C. A portable XRF spectrometer for non destructive analysis in archaeometry. *Nuclear Instrument & Methods*. A.409, 1998. pp. 407-409.

MENDOZA, A. *Analytical Performance of laboratory developed Portable X-Ray fluorescence System and Examples of Archaeometric research on Art Objects in Havana*. 2008. pp. 1-18. (doc. no publicado).

NEELMEIJER, C. ET AL. Painting – a challenge for XRF and PIXE analysis. *X-ray spectrometry*, v. 29, n.1, 2000. p.101.

PORTELA SANDOVAL, F.J. *El caballo en el arte*. 2000. pp. 1-8. < <http://www.racve.es/actividades/historia-veterinaria/2000-01-26FranciscoPortelaSandoval.htm>>. [Consulta: 28 agosto 2008].

\_\_\_\_\_. La Escultura y la Pintura en el Museo del Ejército. *Militaria: revista de cultura militar*. 1997. pp.121-138

RINALDI, S. ET AL. *La Fabbrica dei Colori, pigmenti e coloranti nella pittura e nella tintoria*. Roma, Italia: Ed. Il Bagatto, 1986. 427 p.

*Workshop on binding media identification in art objects*: Information booklet and book of abstracts. Amsterdam, Países Bajos: European Commission Community Research LabS TECH European Infrastructure Cooperation Network, 2003. 42p.

ZADROZNA, I. ET AL. Old master paintings – A fruitful field of activity for analyst: Targets, method, outlook. *Journal of Separation science*. v. 26, 2003. pp. 996-1004.