



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA

**ESTUDIO ESPECTROSCÓPICO AL INFRARROJO DE
PIGMENTOS, LACAS Y AGLUTINANTES UTILIZADOS EN LA
PINTURA NOVOHISPANA DEL SIGLO XVI**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

QUÍMICA Y QUÍMICO

PRESENTAN

THALÍA ITZEL FERRERA VELÁZQUEZ
OSCAR JAVIER VERGARA GUTIÉRREZ



MÉXICO, D.F.

2012

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: Ernestina Cervera Flores

VOCAL: Silvia de Jesús Mendoza Arellano

SECRETARIO: Francisco Rojo Callejas

1er. SUPLENTE: Araceli Patricia Peña Álvarez

2° SUPLENTE: Emely Baché Ortega

SITIOS DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

Laboratorio de Diagnóstico de Obras de Arte.
Instituto de Investigaciones Estéticas

Grupo de Materiales y Nanotecnología.
Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico

Departamento de Química Analítica.
Facultad de Química

ASESOR DEL TEMA:

Ernestina Cervera Flores

SUPERVISOR TÉCNICO:

Elsa Minerva Arroyo Lemus

SUSTENTANTES:

Thalía Itzel Ferrera Velázquez

Oscar Javier Vergara Gutiérrez

Agradecimientos

Queremos agradecer a la Q. Ernestina Cervera Flores por su gran apoyo, como maestra, asesora y especialmente como mentora. Le agradecemos mucho su comprensión y atención al aceptarnos bajo su guía; su fe y esperanza en el desarrollo del proyecto y su dedicación y empeño en la culminación de esta tesis.

Agradecemos a la Mtra. Elsa M. Arroyo Lemus su apoyo e iniciación en un área tan inexplorada por nosotros, su generosidad al compartir sus conocimientos y por dejarnos participar en la labor tan importante que encabeza. Le agradecemos particularmente su disposición y entusiasmo que siempre tuvo hacia nosotros.

Queremos agradecer al Dr. José Ocotlán Flores Flores la enseñanza que nos impartió de manera desinteresada y con toda su disposición que fue más allá de equipos y técnicas. Le agradecemos en especial su paciencia y voluntad que nos mostró siempre.

Agradecemos a la Q. Marisela P. Gutiérrez Franco su apoyo, paciencia y disposición para ayudarnos en las dificultades que este proyecto presentó.

Queremos agradecer a Raymundo Marcial Hernández su amistad incondicional que se vio reflejada en el apoyo constante y enseñanzas que aportó a la realización de esta tesis. Le agradecemos su cariño y comprensión que nos dio en todo momento.

Agradecemos a todos los miembros del Laboratorio de Diagnóstico de Obras de Arte del Instituto de Investigaciones Estéticas por su apoyo. En particular agradecemos a Tatiana Falcón, Eumelia Hernández, Sandra Zetina y Heidi Sulzer por el acogimiento recibido.

Queremos agradecer a todos los miembros del Grupo de Materiales y Nanotecnología del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico por las facilidades otorgadas para el desarrollo experimental del proyecto. En particular a la Dra. América Vázquez y al Dr. Roberto Sato.

Agradecemos al Departamento de Química Analítica de la Facultad de Química por las facilidades otorgadas para el desarrollo de la tesis. En especial agradecemos a la Q.F.B. Silvia Mendoza.

Agradecimientos de Thalía

A Dios por permitirme culminar mis estudios profesionales y por proveerme de todo lo necesario para llegar al final de la meta.

A mis padres por todo el amor, comprensión, paciencia, confianza y apoyo que siempre me han brindado. Fundamentalmente, por enseñarme a ser perseverante y no dejarme vencer ante la adversidad; asimismo les agradezco por la excelente formación que me han dado y por su empeño y dedicación por hacer de mí una persona de provecho. Gracias a ustedes he llegado a realizar una de mis grandes metas, que es terminar mis estudios profesionales.

A mi familia por el amor, apoyo, paciencia y comprensión que siempre me han dado. Les agradezco también que estuvieran de una u otra manera pendientes de este proceso tan importante para mí.

A mis amigos (as) por su cariño, apoyo y confianza y por estar conmigo en los buenos y malos momentos. Particularmente, les agradezco a mis amigos (as) de la Facultad de Química por las vivencias, inclusive los desvelos, trabajos y exámenes, que hicieron más agradable mi estancia en la universidad.

A mis profesores (as) por sus enseñanzas a lo largo de mi trayectoria escolar, así como por haber contribuido a mi formación no solamente académica, sino como persona.

Al personal del Laboratorio 301 de Bioquímica Clínica por el cariño, apoyo y palabras de aliento que me dieron durante mi carrera.

A la Facultad de Química y a la Universidad Nacional Autónoma de México por darme la oportunidad de vivir esta maravillosa vida universitaria, principalmente, les agradezco mi formación integral.

A Oscar Javier Vergara Gutiérrez por su amistad, apoyo, paciencia, comprensión y por el tiempo compartido a lo largo de la carrera, especialmente, durante el servicio social. Además, le agradezco el haber compartido conmigo esta gran experiencia que implicó la realización de la tesis, y que a pesar de los momentos difíciles siempre salimos adelante.

Finalmente agradezco a todas aquellas personas que, directa o indirectamente, contribuyeron de diversas maneras a mi formación profesional y al buen término de esta tesis.

"Es bello lo que procede de una necesidad interna del alma"
-Wassily Kandinsky

"El misterio es la cosa más bonita que podemos experimentar. Es la fuente de toda arte y ciencia verdaderos"
-Albert Einstein

Agradecimientos de Oscar

Gracias Dios mío Santo. Gracias por tu omnipotente amor; que reflejado en tus desafiantes pruebas de Padre, en la reconfortante escucha de Tu Hijo y en la iluminada sabiduría de Tu Espíritu, inmerecidamente me diste, me das y, confío, me darás siempre.

Gracias Virgen de Guadalupe. Amorosa madre que por tu divina intercesión ante tu Hijo forzaste los milagros que tanto necesité.

Gracias mamá, porque tu amor, paciencia y entrega incondicionales han formado mi ser.

Gracias papá, pues tu disciplina, perseverancia y carácter han forjado mi persona.

Gracias hermano, porque tu amor, voluntad, valentía, sarcasmo e ironía han alimentado mi alma.

Gracias Edgar, pues tu cariño, apoyo y hospitalidad tan particularmente peculiares, hicieron mi vida más llevadera.

Gracias especiales, Thalía. Gracias por aterrizar mis ideas y sincronizar nuestros procesos mentales. Tu amistad, paciencia, constancia y obsesiones apoyaron inmensurablemente la materialización de esta tesis; pero más importante apoyaron mi crecimiento como persona.

Gracias Martha y Martín; gracias Nancy, Karen y Alba. Su amistad y cariño me permitieron vivir la facultad y no solo sobrevivir a ella.

Gracias UNAM, gracias Facultad de Química y en particular gracias profesores. Gracias por su formación y conocimientos que me impartieron desinteresadamente.

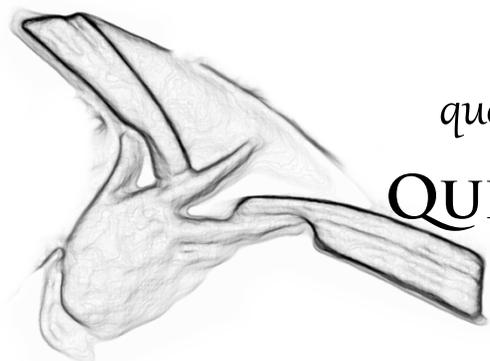
Gracias Coco, por tu felina forma de facilitar mi fuga de la formalidad de la facultad.

...y a todos quienes propiciaron mi llegada aquí sólo les puedo agradecer con esta tesis.

GRACIAS

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA

ESTUDIO ESPECTROSCÓPICO
AL INFRARROJO
DE PIGMENTOS, LACAS Y
AGLUTINANTES UTILIZADOS
EN LA PINTURA NOVOHISPANA
DEL SIGLO XVI



Tesis
que para obtener el título de
QUÍMICA Y QUÍMICO

Presentan

THALÍA ITZEL FERRERA
VELÁZQUEZ

OSCAR JAVIER VERGARA
GUTIÉRREZ



La primera parte de este trabajo se realizó en el Laboratorio de Diagnóstico de Obras de Arte del Instituto de Investigaciones Estéticas (LDOA-IIE) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) dentro del proyecto titulado “Estudio interdisciplinario de materiales de pintura del siglo XVI en la Nueva España” inscrito al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) con la clave PAPIIT IN402007. Uno de los objetivos de este proyecto fue el desarrollo de metodologías interdisciplinarias para la caracterización de materiales constitutivos del arte novohispano a fin de integrar los resultados en una base de datos. Igualmente, permitió la formación de recursos humanos en las áreas científica y humanística, así como la realización del servicio social de los autores de esta tesis.

Cabe mencionar que las muestras analizadas fueron proporcionadas por el mismo laboratorio y que el aprovechar la información recabada durante el servicio social para la realización de esta tesis contó con la autorización de los responsables del proyecto, Dr. José Luis Ruvalcaba Sil y Mtra. Elsa M. Arroyo Lemus.

Índice

Presentación	I
Índice	II
1 Introducción	1
1.1 Contexto histórico	3
1.1.1 Pintores representativos	4
1.1.1.1 Andrés de Concha	4
1.1.1.2 Simón Pereyng	5
1.1.2 Elaboración de pinturas sobre tabla	6
1.2 Monografía básica de materiales pictóricos	7
1.2.1 Pigmentos	7
1.2.1.1 Pigmentos amarillos	8
1.2.1.1.1 Amarillo de plomo-estaño tipo II	8
1.2.1.1.2 Ocre	9
1.2.1.1.3 Oropimente	10
1.2.1.2 Pigmentos azules	11
1.2.1.2.1 Acetato de cobre	11
1.2.1.2.2 Azul añil índigo	12
1.2.1.2.3 Azurita oscura	14
1.2.1.2.4 Esmalte	15
1.2.1.2.5 Lapislázuli	16

1.2.1.3 Pigmentos blancos	17
1.2.1.3.1 Carbonato de calcio	17
1.2.1.3.2 Yeso	18
1.2.1.3.3 Yeso dihidratado	19
1.2.1.4 Pigmento naranja	19
1.2.1.4.1 Rejalgar	19
1.2.1.5 Pigmentos negros	20
1.2.1.5.1 Carbón molido	20
1.2.1.5.2 Negro de humo	21
1.2.1.5.3 Negro marfil de huesos	21
1.2.1.6 Pigmentos pardos	22
1.2.1.6.1 Betún de Judea	22
1.2.1.6.2 Ocre alemán oscuro	23
1.2.1.6.3 Ocre oscuro	24
1.2.1.6.4 Sombra tostada de Chipre	24
1.2.1.6.5 Tierra de siena tostada oscura	25
1.2.1.7 Pigmentos rojos	26
1.2.1.7.1 Almagre	26
1.2.1.7.2 Azarcón	26
1.2.1.7.3 Cinabrio	27
	28

1.2.1.8 Pigmentos verdes	
1.2.1.8.1 Malaquita	28
1.2.1.8.2 Resinato de cobre	29
1.2.1.8.3 Tierra verde de Bohemia	30
1.2.2 Lacas	30
1.2.2.1 Lacas amarillas	31
1.2.2.1.1 Gualda (Ancorca)	31
1.2.2.1.2 Gualda (Arzica)	32
1.2.2.2 Lacas rojas	32
1.2.2.2.1 Carmín de alizarina	32
1.2.2.2.2 Laca carmín	33
1.2.2.2.3 Laca de Rubia	34
1.2.3 Aglutinantes	35
1.2.3.1 Aceites	36
1.2.3.2 Aglutinantes de origen animal	38
1.2.3.2.1 Cola de conejo	38
1.2.3.2.2 Yema de huevo	39
1.2.3.3 Resinas	40

2 Marco teórico	42
2.1 Fundamentos	43
2.2 Tipos de vibraciones moleculares	43
2.3 Tratamiento clásico de la vibración de una molécula diatómica	44
2.4 Tratamiento cuántico de las vibraciones	45
2.5 Técnicas y equipos	46
2.6 Teoría del espectro de infrarrojo	49
3 Objetivo	50
4 Metodología	50
4.1 Equipo	50
4.2 Preparación de muestras	50
4.3 Obtención de espectros	51
4.4 Análisis	52
4.5 Pruebas de solubilidad	53
5 Resultados	53
5.1 Espectroscopía	53
5.1.1 Sin respuesta espectroscópica	54
5.1.2 Espectroscópicamente activos	55
5.1.2.1 Sulfatos	55
5.1.2.2 Carbonato	57

5.1.2.3 Silicatos	58
5.1.2.4 Óxido de estaño	60
5.1.2.5 Óxido de plomo	61
5.1.2.6 Carboxilato	62
5.1.2.7 Hidrocarburos con enlaces sencillos	63
5.1.2.8 Óxidos de hierro con silicatos	64
5.1.2.9 Óxidos de hierro con óxidos de manganeso	66
5.1.2.10 Carbonatos con óxidos de cobre	67
5.1.2.11 Carbonatos con fosfatos	69
5.1.2.12 Silicatos con aluminosilicatos	71
5.1.2.13 Hidrocarburos con enlaces sencillos y grupo carbonilo	73
5.1.2.14 Hidrocarburos con enlaces dobles aromáticos y grupo carbonilo	75
5.1.2.15 Silicatos con óxidos de hierro y óxidos de manganeso	77
5.1.2.16 Carbonatos con silicatos y óxidos de hierro	79
5.1.2.17 Hidrocarburos con enlaces sencillos, grupo carbonilo y carboxilato	81
5.1.2.18 Hidrocarburos con enlaces sencillos, enlaces dobles y grupo carbonilo	83
5.1.2.19 Hidrocarburos con enlaces dobles aromáticos, grupo carbonilo y aminas	85

5.1.2.20 Hidrocarburos con enlaces sencillos, grupo carbonilo, éter y sulfatos	87
5.1.2.21 Hidrocarburos con enlaces sencillos, enlaces dobles aromáticos, grupo carbonilo y sulfatos	89
5.1.2.22 Hidrocarburos con enlaces sencillos, enlaces dobles, grupo carbonilo y aminas	91
5.2 Pruebas de solubilidad	93
6 Análisis de resultados	94
7 Conclusiones	104
8 Bibliografía	107

1 Introducción^{20, 21, 46}

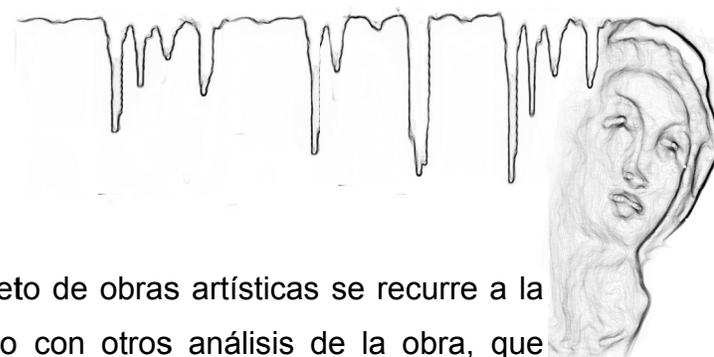
Actualmente, cuando se realiza el estudio completo de obras artísticas se recurre a la recopilación de información histórica en conjunto con otros análisis de la obra, que incluyen exámenes científicos para la caracterización material, así como el registro de técnica de manufactura y observaciones generales.

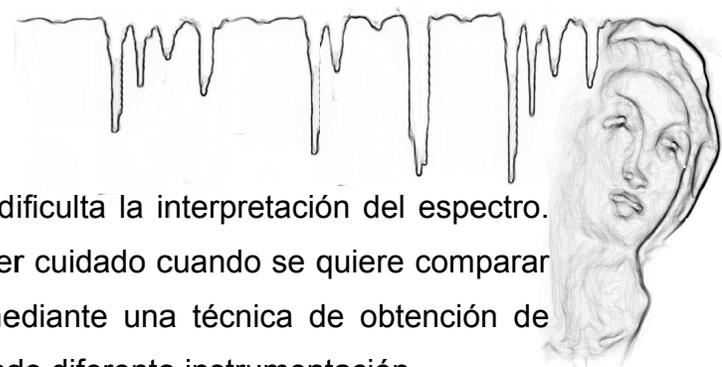
Existen diversas técnicas analíticas para realizar una evaluación global, cada una tiene sus propias ventajas y cuando son usadas en conjunto pueden proporcionar información complementaria sobre una muestra. Las técnicas pueden clasificarse en destructivas y no destructivas. Las tendencias actuales del estudio técnico de obras artísticas imponen comenzar con metodologías no destructivas para posteriormente aplicar sólo aquellas metodologías destructivas que sean indispensables para conocer la estratigrafía y la naturaleza de los materiales constitutivos de una obra artística.

La espectroscopía infrarroja es uno de los métodos usados en el diagnóstico de obras de arte, ya que ha contribuido a incrementar el interés en los materiales orgánicos en arqueología y el arte. Particularmente, una variación muy útil es la microscopía infrarroja utilizando diferentes técnicas de obtención.

En general, la gran mayoría de los materiales utilizados en el arte se trata de mezclas de componentes que tienen diferentes propiedades, por esto la literatura sugiere métodos de separación previos a su análisis si es que no se cuenta con la instrumentación ni la muestra adecuadas. Las extracciones con solventes es uno de los métodos sugeridos para identificar componentes individuales de una muestra; para este procedimiento se requiere el uso de una secuencia de solventes para remover uno a uno dichos componentes. Después de cada proceso de extracción se deben obtener los espectros de infrarrojo de las partes solubles e insolubles. Este procedimiento de extracciones sucesivas ayuda a la identificación de los componentes.

Teóricamente un material debería dar un único espectro de infrarrojo que lo relacione con su composición química. Pero el estado físico de la muestra, su preparación y el método de análisis suelen tener un efecto en el espectro que puede cambiar las posiciones de las bandas, así como sus formas y sus intensidades relativas. También la



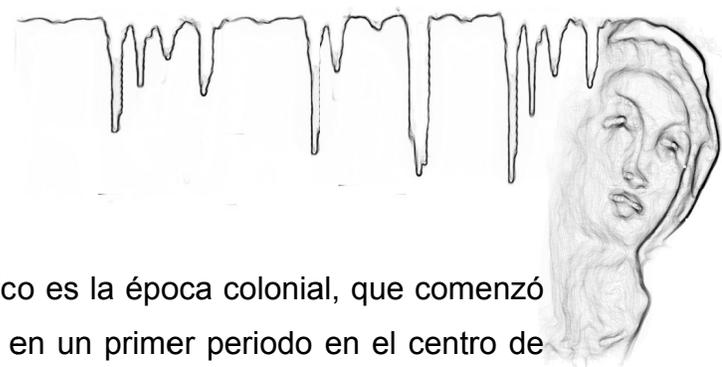


presencia de varios compuestos en un material dificulta la interpretación del espectro. Por las razones antes mencionadas, se debe tener cuidado cuando se quiere comparar un espectro con uno de referencia generado mediante una técnica de obtención de espectros diferente o con la misma técnica utilizando diferente instrumentación.

El gran interés que se le ha prestado a la espectroscopía infrarroja ha generado la necesidad de desarrollar herramientas que faciliten el análisis de los complejos materiales empleados en obras de arte como pigmentos, colorantes, lacas, aglutinantes, barnices, entre otros. Entre estas herramientas destacan las bases de datos de espectros de referencia como la colección de espectros de infrarrojo del Centro Strauss de Conservación de la Universidad de Harvard, la base de datos RRUFFTM del Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Arizona, entre otras. Sin embargo, muchas de estas bases de datos no cuentan con suficiente información, es decir, no todas tienen interpretación de espectros de infrarrojo y/o empleo en materiales de arte. Esto limita su utilidad provocando su uso inadecuado entre conservadores, científicos y profesionistas dedicados a la conservación del patrimonio cultural.

En esta tesis se estudia la respuesta espectroscópica al infrarrojo de 26 pigmentos, 5 lacas y 8 aglutinantes utilizados en la pintura novohispana del último tercio del siglo XVI. Se presenta la monografía de estos materiales junto con el contexto histórico con el propósito de ubicar a los lectores en el tema para que logren entender desde todas las perspectivas este estudio, que aunque sea espectroscópico requiere de toda esta información ya que en muy pocas ocasiones la literatura ofrece datos referentes a materiales como los estudiados. Cabe agregar que la caracterización completa de los materiales de arte que aquí se analizan requiere de manera indispensable llevar a cabo otras técnicas de análisis complementarias.





1.1 Contexto histórico

Una de las grandes etapas de la historia de México es la época colonial, que comenzó con el periodo de la conquista en 1521, ocurrida en un primer periodo en el centro de México. Es importante aclarar que el término conquista se refiere a un proceso complejo de enfrentamientos y reestructuraciones políticas y sociales, proceso que se prolongó hasta alrededor de 1560. La conquista abarcó aproximadamente cuarenta años, periodo dividido en una fase inicial y otra de consolidación, tras el cual la Nueva España entró en una etapa de madurez.¹

Alrededor de 1570 ocurrieron en la Nueva España una serie de cambios sociales, económicos, políticos y culturales. Hubo una disminución poblacional debido a diversas enfermedades, así como depresiones económicas y conflicto de autoridades civiles y religiosas. Era necesario evangelizar; y la justificación moral para ello era “salvar las almas de los indios que habían vivido privados de la verdad cristiana”.³

La Iglesia se convirtió en la representante más eficaz para que la Corona pudiera gobernar en América; era la encargada de imponer valores y vigilar su cumplimiento tratando de ajustarse a las disposiciones emitidas desde la Corte Española. Los poderes locales estaban formados por dos grandes grupos. El primer grupo estaba formado por caciques y cabildos indígenas, mientras que el segundo estaba formado por las encomiendas de españoles, más tarde los repartimientos, y las órdenes mendicantes. Las relaciones entre ellos tuvieron como resultado el establecimiento de los conjuntos conventuales, que se convirtieron en grandes motores de las empresas artísticas durante el primer siglo del virreinato.

Con el dominio de la Iglesia llegaron las formas de representación de Cristo, la Virgen, los santos y las historias sagradas. Para el último tercio del siglo XVI, siendo los principales clientes la Iglesia, el gobierno virreinal español y los cabildos indígenas, los artistas tuvieron que ocuparse principalmente de la decoración de templos y de la hechura de retablos. Los retablos fueron en un principio parte fundamental de la conversión y de la ideología, así como un elemento importante en el culto católico. Los



retablos se convirtieron en el instrumento más importante para mostrar la religión a través del arte volviéndose así un elemento esencial de la devoción.³

La realización de retablos requería de la participación de diversos artistas como los diseñadores o tracistas que los ideaban; los ensambladores que los armaban; los entalladores que eran los encargados de la ornamentación del mueble; los escultores que hacían figuras y los pintores que reproducían escenas destinadas a contar la vida de Cristo, de la Virgen o de los santos que eran objeto de la devoción del cliente.³ Siguiendo la tradición española los artistas y artesanos de un mismo oficio se agruparon en gremios. Estas organizaciones tuvieron como objetivo regular la vida artística de la Nueva España.² Para el último tercio del siglo XVI existían sociedades de artistas dedicados a hacer retablos, como es el caso de Simón Pereyng y Andrés de Concha quienes realizaron obras entre 1578 y 1585. A partir de estos pintores, se inició un proyecto de pintura que se extendió por diversos territorios que incluyeron las ciudades de México, Puebla, Oaxaca y la Mixteca Alta. Esta sociedad trabajó para el clero regular de las tres órdenes religiosas de la Nueva España (franciscanos, dominicos y agustinos). Pereyng y Concha trabajaron juntos e hicieron retablos en la mixteca oaxaqueña en Teposcolula en 1580, el retablo mayor de la vieja catedral de México entre 1584 y 1585. También hicieron el retablo de Huejotzingo. Esta escuela siguió manteniendo características propias sin perder la influencia europea; esto determinó en gran parte el gusto de los compradores, tanto eclesiásticos como civiles.³

1.1.1 Pintores representativos

1.1.1.1 Andrés de Concha³

Andrés de Concha nació en Sevilla entre 1554 y 1556 aproximadamente, tuvo su formación artística en los talleres sevillanos. Se sabe que en su ciudad natal hizo un contrato con el encomendero Gonzalo de las Casas para realizar un retablo en una iglesia dominica en la Ciudad de Oaxaca, el cual fue concluido en 1575.





Atribuida a Andrés de Concha, *La Sagrada Familia con San Juan niño*, 132 x 118 cm, Siglo XVI, óleo sobre tabla, México. Colección privada. Fotografía: Eumelia Hernández, 2007. LDOA-IE

Andrés de Concha trabajó principalmente para los dominicos y los agustinos. También realizó trabajos para las ciudades de Oaxaca y México. Entre 1576 y 1587 realizó los retablos de Coixtlahuaca, Yanhuitlán, Tamazulapan y Achiutla en la mixteca oaxaqueña. En 1601 fue nombrado maestro mayor de la catedral de México y murió en 1612.

Algunas de sus obras más representativas son “La Sagrada Familia con San Juan” y el “Martirio de San Lorenzo”, de colección particular, perteneciente al acervo del Museo Nacional de Arte (MUNAL); la tabla de los “Cinco Señores” de la Catedral de México y la “Virgen del Rosario” del exconvento dominico de Tláhuac.

También destacan la “Anunciación” en el retablo mayor de Coixtlahuaca, la “Virgen del Rosario”, la “Adoración de los Reyes”, la “Adoración de los pastores” y “El juicio final”. Así como otras siete tablas de gran formato emplazadas actualmente en el retablo mayor del templo de Santo Domingo Yanhuitlán en Oaxaca.

1.1.1.2 Simón Pereyns³

Nació en Amberes alrededor de 1535. Llegó a la Nueva España en 1566 como pintor del séquito del virrey Gastón de Peralta y se asoció con el pintor Francisco de Morales, quien después lo denunció ante la Inquisición de México y fue sometido a un proceso inquisitorio que terminó obligándolo a pintar el retablo de “Nuestra Señora de la Merced” para la catedral vieja de México, dada su calidad y prestigio como pintor de imágenes.



Participó en la elaboración de los retablos de la iglesia de San Agustín entre 1569 y 1570, donde hizo el retablo mayor. En 1574 realizó con Luis de Arciniega el retablo mayor de la iglesia de Tula y en 1578 realizaron un sagrario para la iglesia del monasterio franciscano en Tlaxcala. En 1569 se casó con Francisca de Medina; prima de María San Martín, quien a su vez fue esposa de Andrés de Concha.

Por otra parte realizó el retablo mayor de la iglesia franciscana de Cuernavaca y muere en 1589 sin concluir el retablo mayor de la catedral de Puebla.



Simón Pereyñs, *La Virgen del Perdón*, 260 x 218 cm, 1568, óleo sobre tabla, México. Catedral de México. Fotografía: Félix Leonelli, ca. 1965. Archivo fotográfico Manuel Toussaint, IIE-UNAM.

1.1.2 Elaboración de pinturas sobre tabla

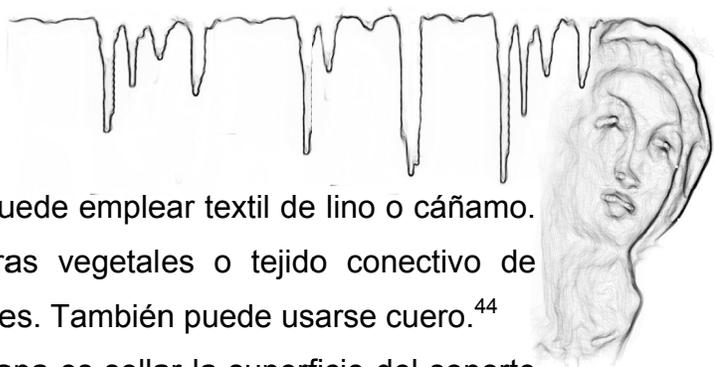


Proceso de reproducción experimental llevado a cabo en el LDOA-IIE con artistas y alumnos de la ENAP. Fotografías por Eumelia Hernández, 2008. LDOA-IIE

La pintura sobre tabla se refiere a la obra artística cuyo soporte es madera cortada en tablones, independientemente de la técnica empleada en la capa pictórica. El soporte se refiere al tipo de madera utilizado y puede estar formado por una o varias tablas unidas mediante diferentes sistemas de unión. La estructura que tiene una pintura sobre tabla es la siguiente:

1. Panel de madera. Todavía no se han realizado suficientes análisis para caracterizar las especies de madera utilizadas en la pintura sobre tabla del siglo XVI. Los resultados de las obras estudiadas en el LDOA-IIE, han determinado que se usaba pino para los tablones y para los travesaños pino y cedro, en algunos casos.⁴³
2. Enlienzado o enfibrado. La función del enlienzado es reforzar la estructura del panel y asegurar que las tablas mantengan un nivel homogéneo para recibir los





estratos pictóricos. Para el enlizado se puede emplear textil de lino o cáñamo. Para el enlizado se puede emplear fibras vegetales o tejido conectivo de animales, principalmente el tendón de Aquiles. También puede usarse cuero.⁴⁴

3. Base de preparación. La función de esta capa es sellar la superficie del soporte para que no absorba el aglutinante de la capa pictórica y al mismo tiempo crear un estrato liso que no confiera texturas a la imagen. Se compone de una carga inorgánica, como yeso o carbonato de calcio, y del aglutinante, regularmente se trata de una cola animal.⁴⁵
4. Imprimatura. La función de esta capa es conferir un fondo de color a partir del cual el artista comienza el trabajo de diseño y colorido de su obra. Se compone de pigmentos y aglutinante, se usaba regularmente aceite.⁴⁵
5. Capa pictórica. Es el estrato que contiene los materiales del color de una obra artística. Se compone de cargas, pigmentos o lacas y aglutinante.
6. Barniz. La función de esta capa es conferir un brillo homogéneo a las zonas de colores aplicados por el artista. También sirve para proteger la superficie de la obra frente a las condiciones del medio ambiente.

1.2 Monografía básica de materiales pictóricos

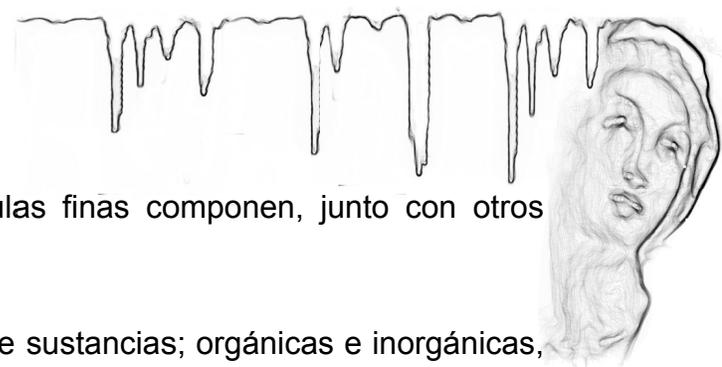
La mayoría de los materiales del siglo XVI, salvo contadas excepciones, eran ya conocidos por las antiguas civilizaciones orientales y mediterráneas. Se conocían los de origen mineral, vegetal y animal. Asimismo, se fabricaban muchos pigmentos artificiales, como litargirio, bermellón y verdigris.

Los establecimientos que surtían de materiales pictóricos a los pintores durante el siglo XVI eran fundamentalmente las tiendas de especiería y droguería. Algunos más específicos como los lienzos y la madera tenían que ser adquiridos en los lenceros, tiendas de telas o con los tratantes de madera respectivamente.⁴

1.2.1 Pigmentos

Los pigmentos, en general, son sustancias reducidas a polvos que poseen color o, en su defecto, pueden ser blancos o negros. Los pigmentos mezclados con aglutinantes





crean pastas que aplicadas en forma de películas finas componen, junto con otros elementos, la capa pictórica de una pintura.

Generalmente se derivan de una gran variedad de sustancias; orgánicas e inorgánicas, naturales y artificiales. Su clasificación es igual de diversa, sin embargo cumplen regularmente con las siguientes características:

1. Ser insolubles en el aglutinante y en el vehículo con el que se va a pintar. Aunque este requisito no siempre se satisface.
2. No debe reaccionar con el aglutinante ni con los demás pigmentos u otros agentes atmosféricos o debe tener una cinética de reacción muy lenta. Hay algunos pigmentos que no cumplen esta condición pero son insustituibles según el procedimiento pictórico que se use.
3. Poseer un buen poder cubriente y colorante. El tamaño de partícula del pigmento determina el poder cubriente y colorante del mismo.⁵

Para esta tesis la clasificación inicial de los pigmentos se basa en su apariencia física, específicamente, en su color, que son: amarillo, azul, blanco, naranja, negro, pardo, rojo y verde.

1.2.1.1 Pigmentos amarillos

1.2.1.1.1 Amarillo de plomo-estaño tipo II¹⁰



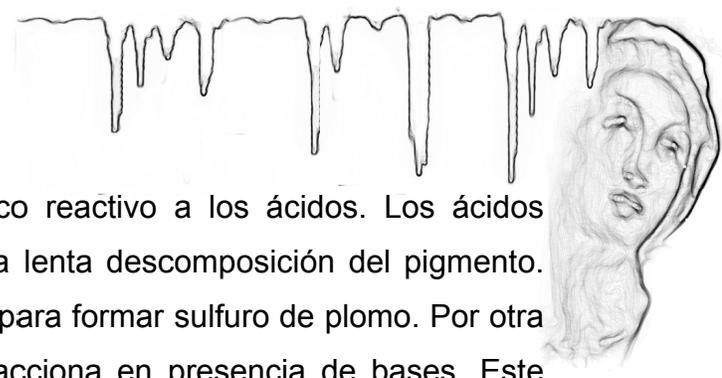
Fotografía de Kremer Pigmente GmbH & Co. KG
10120 Lead Tin Yellow II

Descargada de:
<http://www.kremerpigments.com/shopus/PublishedFiles/10120bleizinnigelb-b.jpg>

Existen dos tipos de amarillo de plomo-estaño: tipo I y tipo II, sólo el tipo II está considerado en este estudio.

El amarillo de plomo-estaño tipo II está formado por óxidos de silicio, plomo y estaño. Aún no se conoce su composición exacta; sin embargo, se piensa que su fórmula molecular aproximada es $PbSnO_3$ o $Pb(Sn,Si)O_3$. Esta última en caso de que en su síntesis se haya incorporado silicio a su estructura.





El amarillo de plomo-estaño tipo II es muy poco reactivo a los ácidos. Los ácidos concentrados y bajo calentamiento provocan una lenta descomposición del pigmento. Sin embargo, reacciona con H_2S u otros sulfuros para formar sulfuro de plomo. Por otra parte, el amarillo de plomo-estaño tipo II no reacciona en presencia de bases. Este pigmento puede descomponerse si es calentado por un tiempo prolongado a $900\text{ }^\circ\text{C}$.

Este pigmento se sintetiza mediante una reacción en estado sólido entre el silicio y el amarillo de plomo-estaño tipo I, cuya fórmula molecular es $PbSnO_4$. Se debe calentar la mezcla a una temperatura entre $800\text{ }^\circ\text{C}$ y $950\text{ }^\circ\text{C}$. Este método de preparación se basa en la receta 273 del manuscrito Boloñés.¹⁰

La muestra de este pigmento fue proporcionada por el LDOA-IIE y se adquirió en la casa comercial Kremer Pigmente GmbH & Co. KG (No. 10120).

1.2.1.1.2 Ocre^{7, 8, 12}



Ocre
Fotografía por Elsa Arroyo. LDOA-IIE

El ocre está compuesto principalmente por goethita. La goethita ($\alpha\text{-FeO(OH)}$) es un mineral del sistema cristalino ortorrómbico y tiene dos polimorfos: lepidocrocita ($\gamma\text{-FeO(OH)}$) y akaganeita ($\beta\text{-FeO(OH)}$). Puede contener algunas impurezas como carbonatos, sulfatos y silicatos.

El ocre no reacciona con bases ni ácidos diluidos, sin embargo se disuelve con ácidos concentrados. Es insoluble en disolventes orgánicos, agua y bases. Si se somete a calentamiento cambia a color rojo (ocre rojo). Esto se debe a una reacción de deshidratación.

Para su preparación como pigmento se recolecta la tierra natural, se muele, lava y tamiza para remover impurezas. Sin embargo, se puede sintetizar a partir del sulfato de hierro.

La muestra de este pigmento fue proporcionada por el LDOA-IIE y se adquirió en la casa comercial Kremer Pigmente GmbH & Co. KG (No. 40191).



1.2.1.1.3 Oropimente^{7, 8, 11}



Oropimente
Fotografía por Elsa Arroyo. LDOA-IIIE

El oropimente es la versión amarilla de los sulfuros de arsénico, cuya fórmula química es As_2S_3 y se encuentra estructurado en un sistema cristalino monoclinico. Se extrae de forma natural de depósitos minerales. Se localiza comúnmente asociado con el rejalgar (AsS o As_4S_4) y con otros minerales como la duranusita (As_4S), la alacranita ($\alpha-AsS$), la dimorfita (As_4S_3) y la uzonita (As_4S_5).

El oropimente no reacciona ni se disuelve en ácidos o bases diluidos. Sin embargo, se disuelve en ácidos concentrados, en bases muy concentradas y se descompone lentamente en agua. Al calentarse en presencia de oxígeno reacciona para formar As_2O_3 y SO_2 . Su punto de fusión es de 300 °C.

La preparación del oropimente consiste únicamente en la recolección, lavado y tamizado del mineral natural. Puede ser sintetizado por reacción del As_2O_3 o As con S bajo calentamiento o mediante la sublimación de la mezcla de pirita (FeS_2) con arsenopirita ($FeAsS$), con esta última reacción se obtiene una mezcla de rejalgar y oropimente. También puede obtenerse cuando se burbujea H_2S a una disolución concentrada de HCl y As_2O_3 , pero el producto resulta muy tóxico debido al As_2O_3 que queda sin reaccionar.

La muestra de este pigmento fue preparada y proporcionada por el LDOA-IIIE. Se preparó a partir de una piedra comprada en una casa de materiales en Holanda.



1.2.1.2 Pigmentos azules

1.2.1.2.1 Acetato de cobre^{8, 10}



Acetato de cobre
Fotografía por Elsa Arroyo. LDOA-IIE

El acetato de cobre, también conocido como verdigris, es un nombre genérico que se le da a la mezcla de los posibles acetatos que puede formar el cobre de acuerdo a su estado de oxidación, Cu (I) o Cu (II). Los acetatos de cobre pueden estar en forma básica o neutra. Los acetatos básicos se presentan en la Tabla 1, mientras que los acetatos neutros se presentan en la Tabla 2.

No.	Fórmula química
1	$[\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2]_2 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
2	$\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
3	$\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot [\text{Cu}(\text{OH})_2]_2$
4	$\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot [\text{Cu}(\text{OH})_2]_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
5	$\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot [\text{Cu}(\text{OH})_2]_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

Tabla 1. Acetatos de cobre básicos

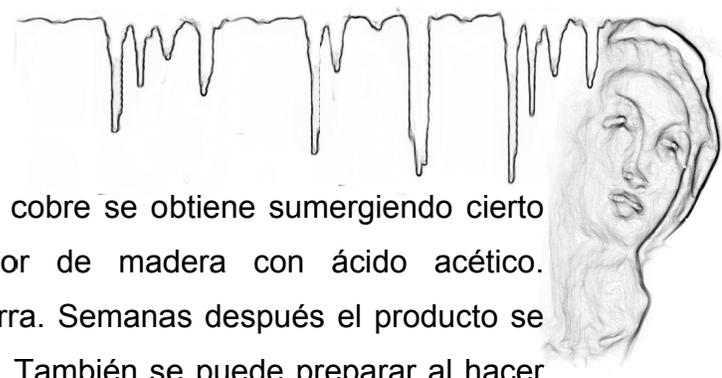
No.	Fórmula química
6	$\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$
7	$\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})$
8	$\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Tabla 2. Acetatos de cobre neutros

En general, en el pigmento pueden estar presentes todos o algunos de estos compuestos.

El acetato de cobre se descompone bajo calentamiento en CuO , H_2O y CH_3COOH . Se disuelve en ácidos inorgánicos diluidos y en agua. Las bases reaccionan con los acetatos para formar hidróxidos de cobre.





De acuerdo a recetas medievales, el acetato de cobre se obtiene sumergiendo cierto número de tiras de cobre en un contenedor de madera con ácido acético. Posteriormente se sella el contenedor y se entierra. Semanas después el producto se raspa de la tiras de cobre y el proceso se repite. También se puede preparar al hacer reaccionar una disolución de CuSO_2 con disoluciones de acetato de plomo, bario o calcio. De esta forma se forma el precipitado del sulfato de plomo, bario o calcio, según sea el caso; mientras que el acetato de cobre queda disuelto. De manera general se puede preparar cuando el aire y los vapores de agua y ácido acético entran en contacto con cobre.

La muestra de este pigmento fue preparada y proporcionada por el LDOA-IIE.

1.2.1.2.2 Azul añil índigo^{7, 8, 11, 13}



Azul añil índigo
Fotografía por Elsa Arroyo. LDOA-IIE

Tomando como base la insolubilidad de este colorante, el azul añil índigo es utilizado como pigmento, por lo que para fines de este trabajo así será tratado. Los colorantes relacionados con el azul añil índigo se extraen de plantas como la *Isatis tinctoria L.* y la *Polygonum tinctorium L.* En particular el azul añil índigo se extrae de la *Indigofera tinctoria L.* Los principales compuestos extraídos como glucósidos de esta planta son:

isatina, índigo, indirubina, indicano, indoxilo, leucoíndigo, fenilglicina, kaempferol (Ver Figura 1). El compuesto responsable del color es el índigo.



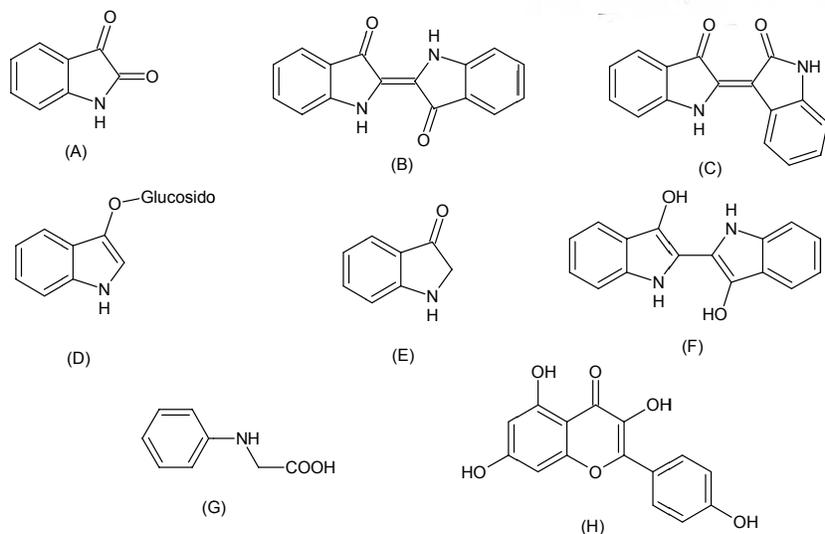


Figura 1. Estructuras de (A) isatina, (B) índigo, (C) indirubina, (D) indicano, (E) indoxilo, (F)leucoíndigo, (G) fenilglicina, (H) kaempferol

El azul añil índigo es insoluble en agua, bases y ácidos. El ácido nítrico descompone al índigo (B) en isatina (A) y en presencia de agentes reductores, el índigo (B) se reduce a leucoíndigo (F). Es poco soluble en etanol, alcohol amílico, acetona y acetato de etilo. Es más soluble en anilina, naftaleno, nitrobenzeno, fenol y anhídrido ftálico.

Para prepararlo se fermentan las hojas de las plantas maceradas en grandes barriles con agua a pH básico. Este pH se obtiene de la adición de orina. En algunos casos, en vez del proceso de maceración, se puede hervir el agua para acelerar el proceso de extracción; sin embargo se tiene que remover el producto color rojo que se forma. Al final de este proceso se obtiene un concentrado lechoso de color blanco. La fermentación rompe los enlaces glucosídicos del indicano por hidrólisis enzimática formando un indoxilo y glucosa. El indoxilo reacciona con el oxígeno del aire y ocurre una dimerización que forma el leucoíndigo. Este compuesto propicia el aspecto lechoso de la mezcla. Finalmente el leucoíndigo se oxida para formar al índigo, que es insoluble en agua. Dado que el producto final es insoluble no requiere ser precipitado por un sustrato, únicamente se muele para ser utilizado como pigmento. Es importante mencionar que puede ser sintetizado.

La muestra de este pigmento fue proporcionada por el LDOA-IIE y se adquirió en la casa comercial Kremer Pigmente GmbH & Co. KG (No. 36000).

1.2.1.2.3 Azurita oscura^{7, 8, 10}



Azurita oscura
Fotografía por Elsa Arroyo. LDOA-IIE

La azurita oscura es un pigmento hecho a partir del mineral azurita. Este mineral tiene como fórmula molecular $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$. Se encuentra estructurado en un sistema cristalino monoclinico. Se encuentra de forma natural en depósitos minerales comúnmente asociado con minerales como malaquita ($\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$), cuprita (Cu_2O) y tenorita (CuO).

A temperaturas mayores a 300 °C se descompone en CuO , H_2O y CO_2 . Únicamente reacciona con bases bajo calentamiento. Es soluble en ácidos débiles, pero desprende CO_2 al entrar en contacto con ácidos fuertes.

La preparación de la azurita consiste en la recolección, lavado y tamizado del mineral natural. La preparación puede tener variaciones como el lavado con vinagre o una mezcla de agua, miel y cola de pescado para quitar más eficientemente la cuprita (Cu_2O). Es importante mencionar que puede ser sintetizado de diferentes maneras, pero la azurita artificial es llamada Verditer azul y tiene diferente morfología.

La muestra de este pigmento fue proporcionada por el LDOA-IIE y se adquirió en la casa comercial Zecchi colori e belle arti (Nombre comercial: Azzurite Scura).



1.2.1.2.4 Esmalte^{7, 8, 10, 47}



Esmalte
Fotografía por Elsa Arroyo. LDOA-IIE

El esmalte es un silicato de potasio en forma de vidrio de color azul, cuya coloración característica se debe a la adición de óxido de cobalto durante su proceso de preparación. En este trabajo se considera con el nombre de esmalte, sólo el que proporciona color azul, aunque pueden producirse vidrios coloreados de distintos matices de azul. Existen diversos tipos de esmalte de color azul que varían dependiendo del contenido de cobalto y del tamaño del grano. Cabe mencionar que no tiene una

composición definida, sin embargo, puede contener los compuestos mencionados en la Tabla 3.

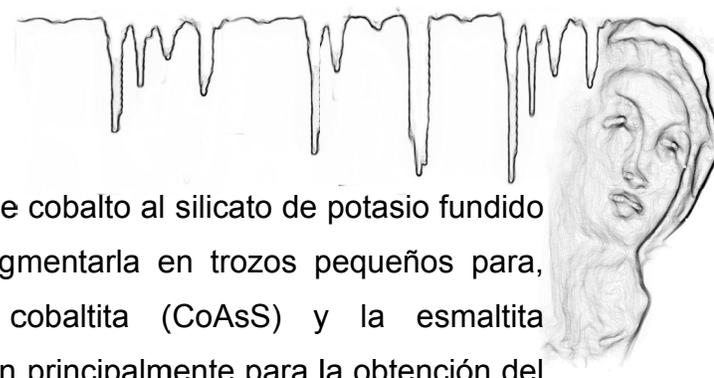
Compuesto	Intervalo de proporción (%)
SiO ₂	65-72
K ₂ O	16-21
As ₂ O ₃	0-8
CoO	2-18

Tabla 3. Composición aproximada del esmalte

Asimismo, puede tener diversas impurezas como óxidos de bario, calcio, sodio, magnesio, níquel, hierro, cobre, manganeso y/o aluminio. Igualmente, dependiendo de la región de manufactura el esmalte puede variar en su composición. Se ha demostrado que existe una variedad de vidrios que contienen carbonato de sodio y cal.

El esmalte es insoluble en ácidos concentrados. Sin embargo se ha reportado su descomposición en HCl diluido. Funde a altas temperaturas, lo cual permite distinguirlo del azul cobalto (CoAl₂O₄) ya que éste último no funde.





Para la preparación del esmalte se añade óxido de cobalto al silicato de potasio fundido y se vierte agua fría sobre la mezcla para fragmentarla en trozos pequeños para, posteriormente, ser finamente molidos. La cobaltita (CoAsS) y la esmaltita $(\text{Co,Fe,Ni})\text{As}_2$ son los minerales que se emplearon principalmente para la obtención del óxido de cobalto.

La muestra fue proporcionada por el LDOA-IIE y se adquirió en la casa comercial Kremer Pigmente GmbH & Co. KG (No. 10010).

1.2.1.2.5 Lapislázuli^{7, 8, 10, 14}



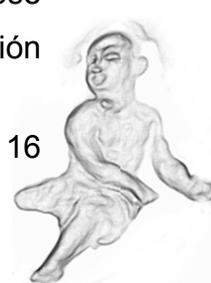
Lapislázulli
Fotografía por Elsa Arroyo. LDOA-IIE

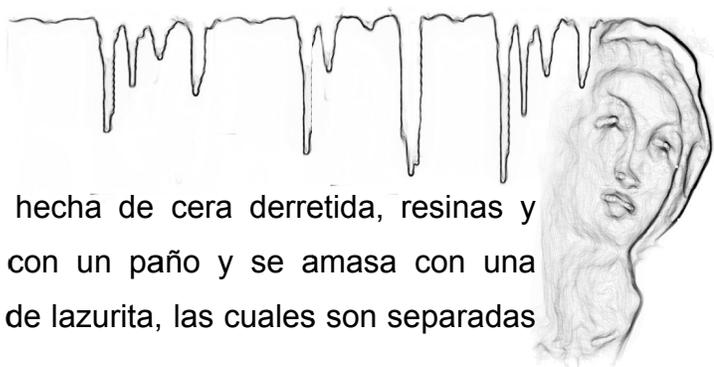
Es una piedra semipreciosa cuyo componente principal es el mineral lazurita $[(\text{Na,Ca})_8(\text{AlSiO}_4)_6(\text{SO}_4,\text{S,Cl})_2]$, el cual le proporciona el color azul característico. Dado que el lapislázuli es una piedra, es decir, una mezcla de minerales; no puede hablarse de una composición química específica.

Por otra parte, el lapislázuli puede contener minerales del grupo de los silicatos como la sodalita $(\text{Na}_8(\text{AlSiO}_4)_6\text{Cl}_2)$, diópsido $(\text{CaMgSi}_2\text{O}_6)$, forsterita $(\text{Mg}_2\text{SiO}_4)$ y wollastonita (CaSiO_3) ; además de calcita (CaCO_3) y piritita (FeS_2) .

El lapislázuli no reacciona con bases, a menos que su exposición sea por un tiempo prolongado. Mientras que en presencia de ácidos fuertes se descompone rápidamente (ocurre la pérdida del color azul), y en caso de que se trate de H_2SO_4 hay desprendimiento de H_2S . Sin embargo, con ácidos débiles como el ácido acético la descomposición ocurre lentamente.

Para su preparación como pigmento, debe ser molido y lavado; obteniéndose tonalidades que van del color azul grisáceo a azul intenso. Otro método de preparación





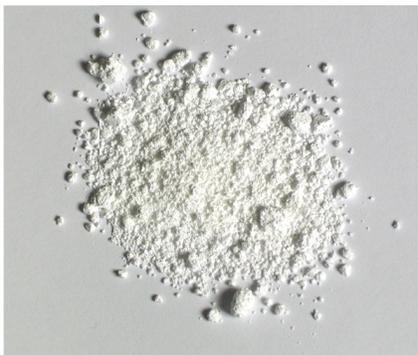
consiste en incorporar el mineral a una mezcla hecha de cera derretida, resinas y aceites, posteriormente, se envuelve la mezcla con un paño y se amasa con una disolución diluida de lejía para lavar las partículas de lazurita, las cuales son separadas del resto de los minerales e impurezas.

La muestra de este pigmento fue preparada siguiendo el tratado de Cennino Cennini y proporcionada por el LDOA-IIE.

1.2.1.3 Pigmentos blancos

Cabe aclarar que los pigmentos blancos que se describen a continuación también se usaron como cargas en la pintura novohispana del siglo XVI. Sin embargo, las cargas no son incluidas como objeto de estudio en esta tesis.

1.2.1.3.1 Carbonato de calcio^{7, 8, 10}



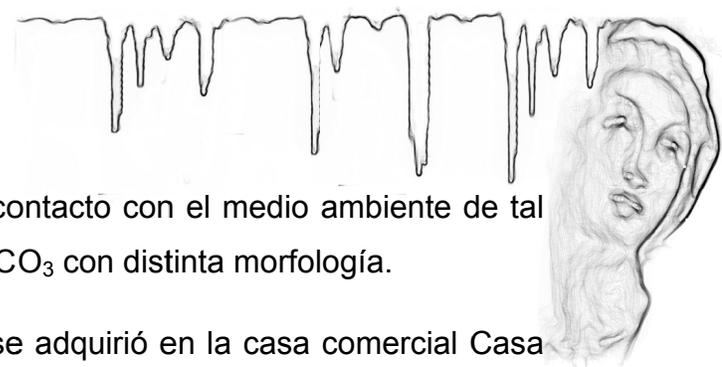
Carbonato de calcio
Fotografía por Elsa Arroyo. LDOA-IIE

El carbonato de calcio comúnmente se obtiene del mineral calcita (CaCO_3). Existen otras formas polimórficas, la aragonita y la valerita.

El carbonato de calcio se descompone bajo calentamiento en CaO y CO_2 . Se descompone de la misma manera en presencia de ácidos. Es prácticamente insoluble en agua.

Para su preparación como carga únicamente se recolecta, lava y tamiza el mineral natural, que normalmente procede de la piedra caliza. Existen otras fuentes de carbonato de calcio, entre las que destacan las biológicas y otras minerales. En las fuentes biológicas como las conchas y el coral, se encuentra el carbonato de calcio en forma de aragonita. Dentro de las otras fuentes minerales se encuentra el mármol que es la forma compacta de la piedra caliza. Para su preparación como pigmento se calienta entre $800\text{ }^\circ\text{C}$ y $900\text{ }^\circ\text{C}$ para formar CaO como antes se menciona, después se

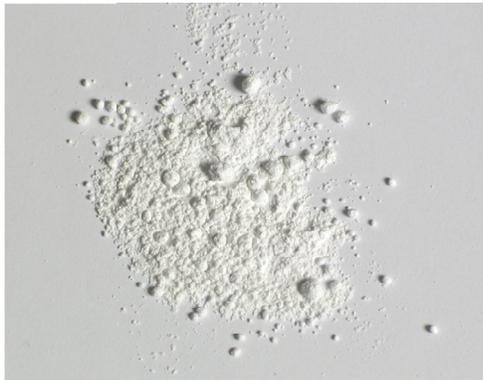




agrega agua para formar Ca(OH)_2 y se deja en contacto con el medio ambiente de tal manera que reacciona con el CO_2 para formar CaCO_3 con distinta morfología.

La muestra fue proporcionada por el LDOA-IIE, se adquirió en la casa comercial Casa Serra® (Nombre comercial: carbonato de calcio) y es de origen mineral.

1.2.1.3.2 Yeso^{7,8}



Yeso
Fotografía por Elsa Arroyo. LDOA-IIE

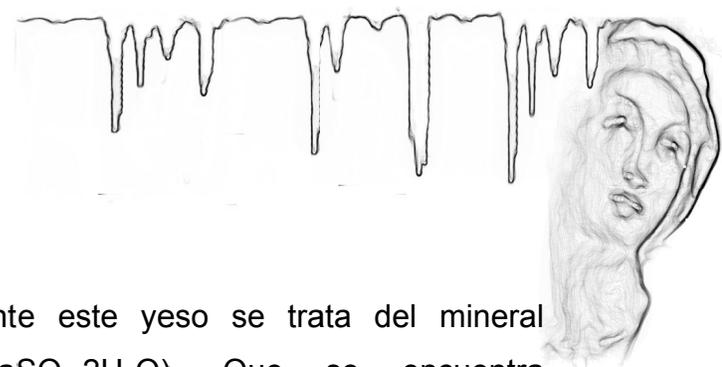
El yeso es el más común de los sulfatos encontrados en minerales naturales. Su composición básica es CaSO_4 y normalmente se encuentra dihidratado. Los depósitos de yeso se encuentran comúnmente asociados a yacimientos de evaporitas, como la halita (NaCl). Normalmente se encuentra estructurado en un sistema cristalino monoclinico.

El único efecto del calor sobre el yeso es la evaporación de agua de hidratación. Es poco soluble en agua, pero se solubiliza en la presencia de ácidos diluidos.

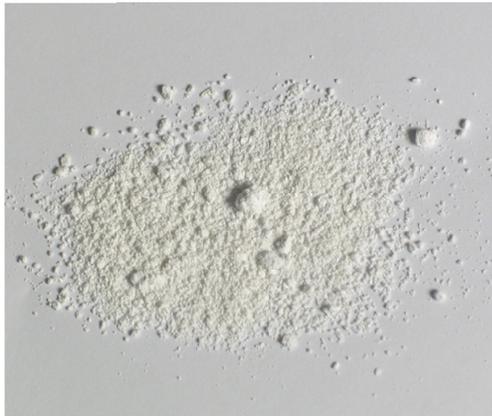
Su preparación como carga consiste en la recolección, lavado y tamizado del mineral natural procedente de los yacimientos antes mencionados. Para su preparación como pigmento se calienta a deshidratación y posteriormente el CaSO_4 anhidro, producto del procedimiento anterior, se recristaliza en agua para así moler el producto obtenido, el cual se rehidrata dejándolo en agua durante un tiempo prolongado.

La muestra fue proporcionada por el LDOA-IIE y se adquirió en la casa comercial Droguería Cosmopolita S.A. de C.V. (Nombre comercial: yeso de dentista).





1.2.1.3.3 Yeso dihidratado^{7, 8}



Yeso dihidratado
Fotografía por Elsa Arroyo. LDOA-IIE

Particularmente este yeso se trata del mineral selenita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Que se encuentra comúnmente asociado a yacimientos de evaporitas. Está estructurado en un sistema cristalino monoclinico.

El único efecto del calor sobre el yeso es la evaporación de agua de hidratación. Es poco soluble en agua, pero se solubiliza en la presencia de ácidos diluidos.

Su preparación como carga consiste en la recolección, lavado y tamizado de la selenita. Su preparación como pigmento es igual que la del yeso (ver 1.2.1.3.2 Yeso).

La muestra fue proporcionada por el LDOA-IIE y se adquirió en la casa comercial Droguería Cosmopolita S.A. de C.V. (Nombre comercial: yeso dihidratado).

1.2.1.4 Pigmento naranja

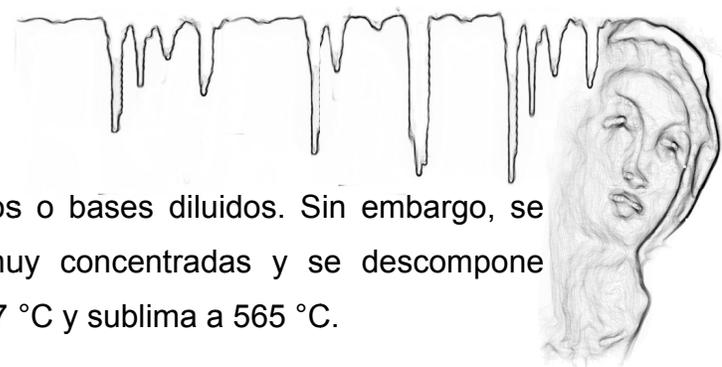
1.2.1.4.1 Rejalgar^{7, 8, 11}



Rejalgar
Fotografía por Elsa Arroyo. LDOA-IIE

El rejalgar es un sulfuro de arsénico de color naranja, cuya fórmula química es AsS , As_4S_4 o As_2S_2 y se encuentra estructurado en un sistema cristalino monoclinico. Se encuentra de forma natural en depósitos minerales. Se encuentra comúnmente asociado con el oropimente (As_2S_3) y con otros minerales como la duranusita (As_4S), la alacranita ($\alpha\text{-AsS}$), la dimorfita (As_4S_3) y la uzonita (As_4S_5).





El rejalgar no reacciona ni se disuelve en ácidos o bases diluidos. Sin embargo, se disuelve en ácidos concentrados, en bases muy concentradas y se descompone lentamente en agua. Su punto de fusión es de 307 °C y sublima a 565 °C.

La preparación del rejalgar consiste en la recolección, lavado y tamizado del mineral natural. Se sintetiza por reacción del As_2O_3 o As con S bajo calentamiento o mediante la sublimación de la mezcla de pirita (FeS_2) con arsenopirita (FeAsS), obteniendo con esta última reacción una mezcla de rejalgar y oropimente. También puede obtenerse fundiendo S y As en presencia de carbono. También se puede sintetizar calentando oropimente con arsénico.

La muestra de este pigmento fue preparada y proporcionada por el LDOA-IIE.

1.2.1.5 Pigmentos negros

1.2.1.5.1 Carbón molido^{7, 8, 12}



Carbón molido
Fotografía por Elsa Arroyo. LDOA-IIE

El carbón molido consiste en cualquier forma natural de carbono elemental (con excepción del diamante) o una mezcla de estos.

El carbono es prácticamente inerte a ácidos y bases. Reacciona a alta temperatura con el oxígeno para formar CO_2 por combustión completa y CO por combustión incompleta.

Como pigmento se prepara mediante la carbonización de aceites, madera y otros materiales orgánicos. Los productos de esta reacción no son enteramente carbono elemental, pueden contener impurezas minerales y orgánicas.

La muestra de este pigmento fue preparada y proporcionada por el LDOA-IIE.



1.2.1.5.2 Negro de humo^{7, 8, 12}



Negro de humo
Fotografía por Elsa Arroyo. LDOA-IIE

El negro de humo consiste en mayor proporción de carbono elemental; sin embargo, contiene impurezas orgánicas que aparecen por su preparación. Estas impurezas cambian mucho de acuerdo a la preparación del pigmento, pueden ser sales inorgánicas, compuestos aromáticos policíclicos, entre otros.

El negro de humo es prácticamente insoluble en disolventes orgánicos y en agua. Es estable al calor, pero a muy alta temperatura reacciona con el oxígeno para formar CO_2 por combustión completa y CO por combustión incompleta.

Se prepara normalmente mediante la captura de las partículas suspendidas del humo de la mala combustión de hojas, semillas o ramas secas de viñas.

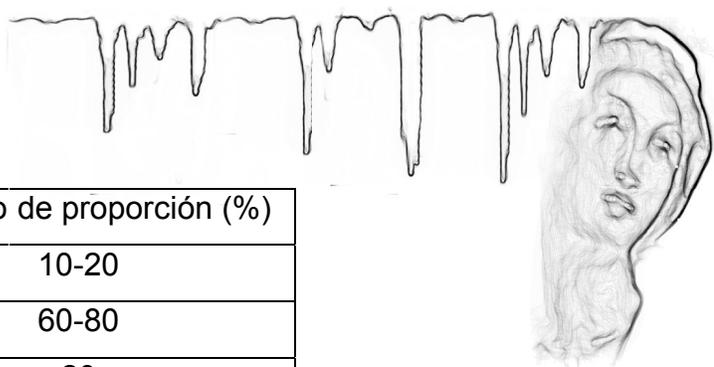
La muestra de este pigmento fue proporcionada por el LDOA-IIE y se adquirió en la casa comercial Kremer Pigmente GmbH & Co. KG (No. 47010).

1.2.1.5.3 Negro marfil de huesos^{7, 8, 12}



Negro marfil de huesos
Fotografía por Elsa Arroyo. LDOA-IIE

El negro marfil de huesos pertenece a los pigmentos de origen animal. El carbono que contiene el pigmento proviene principalmente de proteínas, algunas grasas y otros compuestos orgánicos. Debido a su procedencia contiene hidroxihapatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) y otros compuestos de calcio. La composición aproximada de este pigmento se establece en la Tabla 4.



Compuesto/Elemento	Intervalo de proporción (%)
C	10-20
Ca ₃ (PO ₄) ₂	60-80
CaSO ₄	20
CaCO ₃	6

Tabla 4. Composición aproximada del negro marfil de huesos

Este pigmento es prácticamente inerte a bases, con ácidos sólo reacciona la hidroxihapatita. El negro marfil de huesos reacciona a alta temperatura con el oxígeno para formar CO₂ mediante una combustión completa. En caso de que se trate de una combustión incompleta se forma CO.

El negro marfil de huesos se prepara haciendo cola (ver 1.2.3.2.1 Cola de conejo) con huesos de animales. Posteriormente se carboniza la cola para obtener el pigmento de las cenizas.

La muestra de este pigmento fue proporcionada por el LDOA-IIE y se adquirió en la casa comercial Kremer Pigmente GmbH & Co. KG (No. 47150).

1.2.1.6 Pigmentos pardos

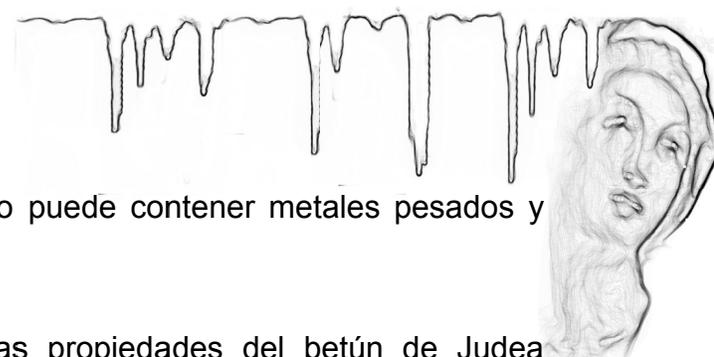
1.2.1.6.1 Betún de Judea^{7, 8, 12}



Betún de Judea
Fotografía por Elsa Arroyo. LDOA-IIE

El betún en general se trata de un conjunto de mezclas complejas y emulsiones de hidrocarburos. El nombre de betún es un término general que se ha utilizado históricamente de manera inespecífica, ya que también es conocido como asfalto. Puede encontrarse como un líquido semisólido o como sólido en depósitos de petróleo. Dado que se trata de una mezcla que proviene del petróleo, el betún puede contener compuestos orgánicos que varían





mucho en sus propiedades y estructuras; incluso puede contener metales pesados y compuestos heterocíclicos.

Por su naturaleza extremadamente compleja las propiedades del betún de Judea pueden cambiar dependiendo de la procedencia. A pesar de esto se sabe que, al ser compuestos orgánicos, se disuelven parcialmente en disolventes orgánicos, no se disuelven en disolventes polares y no reaccionan con ácidos ni con bases.

El betún de Judea se prepara como pigmento cuando al sólido recolectado se le somete a altas temperaturas para eliminar la humedad y los compuestos volátiles, para posteriormente ser molido.

La muestra fue proporcionada por el LDOA-IIE. Es marca Sennelier (Clave: N133554).

1.2.1.6.2 Ocre alemán oscuro^{7, 8, 12}



Ocre alemán oscuro
Fotografía por Elsa Arroyo. LDOA-IIE

Está compuesto principalmente por limonita. La limonita es una mezcla de minerales con la siguiente fórmula general: $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$; contiene mayoritariamente goethita y proporciones variables de otros minerales como la lepidocrocita ($\gamma\text{-FeO}(\text{OH})$), jarosita ($\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$), magnetita (Fe_3O_4) y hematita ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$). Puede contener impurezas como silicatos y arcillas.

El ocre alemán oscuro no reacciona ni se disuelve en ácidos ni en bases diluidos. No se reportan más propiedades.

Para su preparación como pigmento se debe recolectar la tierra natural, moler, lavar y tamizar.

La muestra de este pigmento fue proporcionada por el LDOA-IIE y se adquirió en la casa comercial Kremer Pigmente GmbH & Co. KG (No. 40310).



1.2.1.6.3 Ocre oscuro^{7, 8, 12}



Ocre oscuro
Fotografía por Elsa Arroyo. LDOA-IIE

El ocre oscuro no difiere en composición con el ocre alemán oscuro por lo que también está compuesto por limonita. Como ya se mencionó la limonita es una mezcla de minerales de hierro. Igualmente puede contener impurezas como silicatos y arcillas.

El ocre oscuro no reacciona ni se disuelve en ácidos ni en bases diluidos. No se reportan más propiedades.

Para su preparación como pigmento se debe de recolectar la tierra natural, moler, lavar y tamizar.

La muestra de este pigmento fue proporcionada por el LDOA-IIE y se adquirió en la casa comercial Kremer Pigmente GmbH & Co. KG (No. 40241).

1.2.1.6.4 Sombra tostada de Chipre^{7, 8, 12}

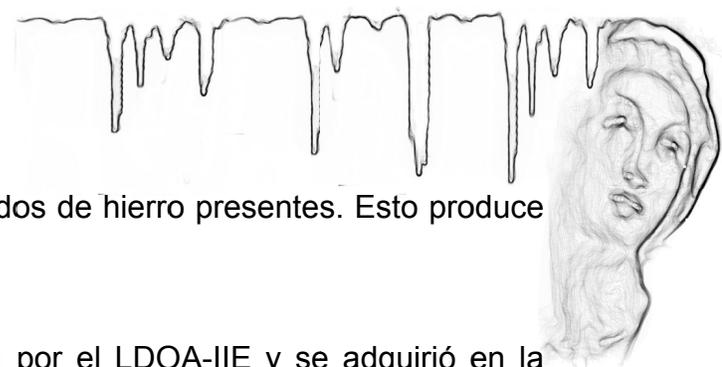


Sombra tostada de Chipre
Fotografía por Elsa Arroyo. LDOA-IIE

Las sombras en general están compuestas por óxidos de manganeso (5-20%), óxidos de hierro predominando la goethita (45-70%) y otros minerales como silicatos, dolomita y calcita que son considerados impurezas. Se utilizan como secativos de barnices.

La sombra tostada de Chipre no reacciona con bases ni con ácidos. Es insoluble en disolventes orgánicos, agua y bases.

Para su preparación como pigmento únicamente se debe de recolectar la tierra natural, moler, lavar y tamizar, para posteriormente ser sometida a un tratamiento térmico que



promueve una modificación estructural en los óxidos de hierro presentes. Esto produce una ligera variación de su color.

La muestra de este pigmento fue proporcionada por el LDOA-IIIE y se adquirió en la casa comercial Kremer Pigmente GmbH & Co. KG (No. 40720).

1.2.1.6.5 Tierra de siena tostada oscura^{7, 8, 12}



Tierra de siena tostada oscura
Fotografía por Elsa Arroyo. LDOA-IIIE

La tierra de siena tostada oscura es considerada por los artistas como un pigmento intermedio entre las sombras y los ocreos amarillos. Contiene goethita ($\alpha\text{-FeO(OH)}$), óxido de manganeso y materia orgánica, a la cual le es atribuida su tonalidad. Además, puede contener algunas impurezas como silicatos y aluminatos. La composición aproximada de este pigmento se establece en la Tabla 5.

Compuesto/Elemento	Intervalo de proporción (%)
Goethita ($\alpha\text{-FeO(OH)}$)	46-60 (70)
MnO_2	0.6-1.5

Tabla 5. Composición aproximada de algunos componentes de la tierra de siena tostada oscura

La tierra de siena tostada oscura no reacciona con bases ni ácidos diluidos, sin embargo se disuelve con ácidos concentrados. Es insoluble en disolventes orgánicos, agua y bases.

Para su preparación como pigmento se debe de recolectar, lavar y tamizar la tierra natural. Posteriormente se calcina para producir una reacción de deshidratación y obtener el color rojizo oscuro deseado.

La muestra de este pigmento fue proporcionada por el LDOA-IIIE y se adquirió en la casa comercial Kremer Pigmente GmbH & Co. KG (No. 40430).



1.2.1.7 Pigmentos rojos

1.2.1.7.1 Almagre^{7, 8, 12}



Almagre

Fotografía por Elsa Arroyo. LDOA-IIE

Está compuesto principalmente por hematita (α - Fe_2O_3), el cual es un mineral que se encuentra estructurado en un sistema cristalino hexagonal. También puede contener diversas impurezas como silicatos y arcillas.

El almagre no reacciona ni se disuelve en ácidos o bases diluidos. Sin embargo, se disuelve bajo calentamiento en ácidos concentrados.

Para su preparación como pigmento se debe de recolectar la piedra, moler, lavar y tamizar. También se obtiene a partir del calentamiento de los ocre amarillos aproximadamente a $300\text{ }^\circ\text{C}$. La reacción química que ocurre es la transformación en la estructura química de la goethita, adoptando una estructura tipo hematita debido a la deshidratación.

La muestra de este pigmento fue preparada y proporcionada por el LDOA-IIE.

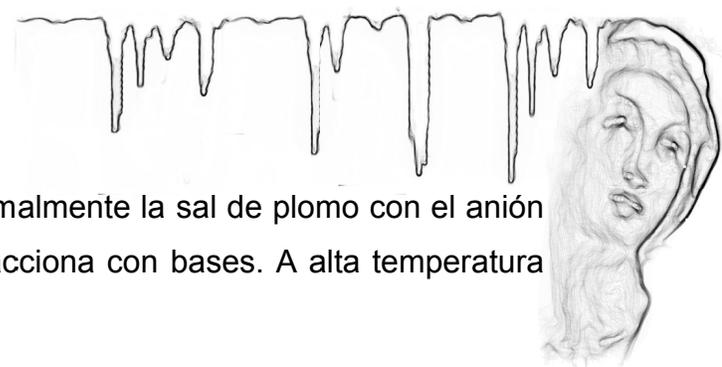
1.2.1.7.2 Azarcón^{7, 8, 9}



Azarcón

Fotografía por Elsa Arroyo. LDOA-IIE

El azarcón también es conocido como rojo minio y su composición principal es el mineral minio (Pb_3O_4 o $2\text{PbO}\cdot\text{PbO}_2$). Se representa de dos maneras debido a que el plomo presenta los estados de oxidación II y IV. Se encuentra naturalmente en depósitos de plomo, comúnmente asociado a galena (PbS) y cerusita (PbCO_3). Se encuentra estructurado en un sistema cristalino tetragonal.



El azarcón reacciona con ácidos para formar normalmente la sal de plomo con el anión del ácido, puede también formarse PbO_2 . No reacciona con bases. A alta temperatura se descompone en litargirio (PbO).

La preparación del azarcón básicamente consiste en el calentamiento controlado de litargirio (PbO), que puede encontrarse como mineral o prepararse a partir de la cerusita ($PbCO_3$). El azarcón puede producirse a partir de plomo metálico; formando como un intermediario de esta serie de reacciones el litargirio. En general, se sabe que el proceso de preparación de azarcón a partir de litargirio no es fácil, además hay muchos intermediarios complejos, la temperatura para realizar este proceso es aproximadamente entre $480\text{ }^{\circ}C$ y $500\text{ }^{\circ}C$. Cabe mencionar que mediante esta preparación siempre quedan impurezas de litargirio que ayudan en la realización de una pintura. Otra forma de preparación consiste en calcinar $PbSO_4$ con Na_2CO_3 y $NaNO_3$, pero se forma igualmente el litargirio, por lo que se sigue el mismo proceso descrito anteriormente.

La muestra de este pigmento fue proporcionada por el LDOA-IIE y se adquirió en la casa comercial Kremer Pigmente GmbH & Co. KG (No. 42500).

1.2.1.7.3 Cinabrio^{7, 8, 10}



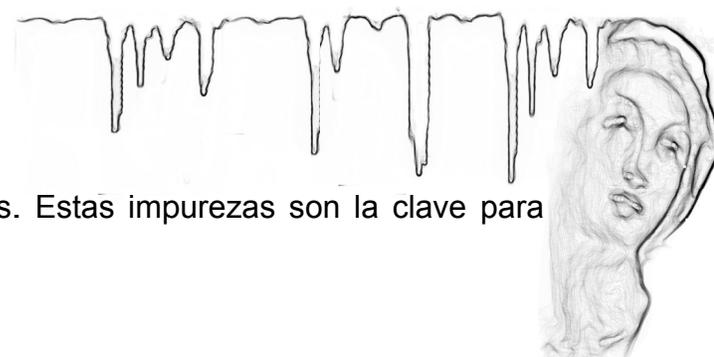
Cinabrio

Fotografía por Elsa Arroyo. LDOA-IIE

El pigmento cinabrio está compuesto principalmente por el mineral cinabrio (α - HgS). Existen otras dos formas polimórficas, el metacinabrio (α' - HgS) y el hipercinabrio (β - HgS). Este último no es estable, por lo que no se encuentra en la naturaleza. El cinabrio se encuentra estructurado en un sistema cristalino hexagonal. Usualmente se encuentra asociado a estibinita (Sb_2S_3), pirita y marcasita (FeS_2), yeso ($CaSO_4$), calcita ($CaCO_3$) y cuarzo (SiO_4). Es

importante mencionar que en muchos casos el pigmento contiene impurezas de





betunes (ver 1.2.1.6.1 Betún de Judea) y arcillas. Estas impurezas son la clave para diferenciarlo del bermellón sintético.

El cinabrio es insoluble y no reacciona con ácidos ni con bases. Sin embargo, con agua regia ($\text{HNO}_3(\text{conc}) + \text{HCl}(\text{conc})$, 1:3) reacciona para formar el HgCl_2 . En presencia de agua y luz solar el cinabrio se transforma en su forma polimórfica de color negro: el metacinabrio. Su temperatura de sublimación es de $580\text{ }^\circ\text{C}$.

Para su preparación como pigmento se debe recolectar el mineral, moler, lavar y tamizar. El cinabrio artificial es llamado bermellón y se puede sintetizar de diferentes maneras.

La muestra de este pigmento fue preparada y proporcionada por el LDOA-IIIE.

1.2.1.8 Pigmentos verdes

1.2.1.8.1 Malaquita^{7, 8, 10}

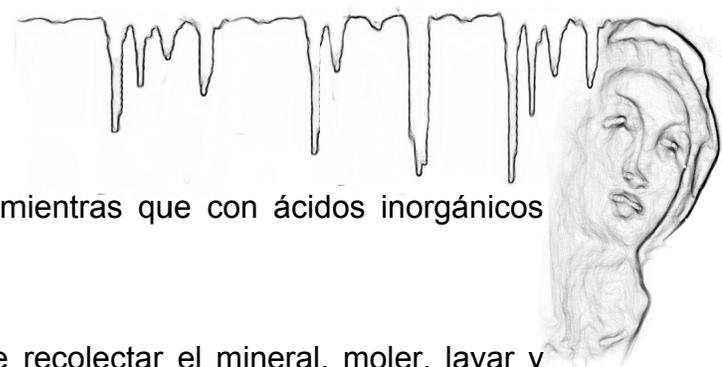


Malaquita
Fotografía por Elsa Arroyo. LDOA-IIIE

La malaquita se compone principalmente del mineral del mismo nombre cuya composición química es $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$. Se encuentra estructurado en un sistema cristalino monoclinico. Generalmente se encuentra asociada a la azurita ($2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$) y a la cuprita (Cu_2O), por lo cual no es raro que éste último mineral se considere una impureza de los pigmentos hechos a partir de malaquita.

Si la malaquita se encuentra finamente pulverizada, al ser calentada lentamente a $200\text{ }^\circ\text{C}$ pierde peso debido a la pérdida de agua y a $600\text{ }^\circ\text{C}$ se descompone en CO_2 y tenorita (CuO). No reacciona con bases, pero si se calienta provoca que el pigmento se





ennegrezca. Con ácidos orgánicos forma CO_2 , mientras que con ácidos inorgánicos forma la sal de cobre con el anión del ácido.

Para su preparación como pigmento se debe de recolectar el mineral, moler, lavar y tamizar. Es importante mencionar que puede sintetizarse de diferentes maneras, pero la malaquita artificial es llamada Verditer verde.

La muestra de este pigmento fue preparada y proporcionada por el LDOA-IIE.

1.2.1.8.2 Resinato de cobre^{7, 8, 10, 15}



Resinato de cobre
Fotografía por Elsa Arroyo. LDOA-IIE

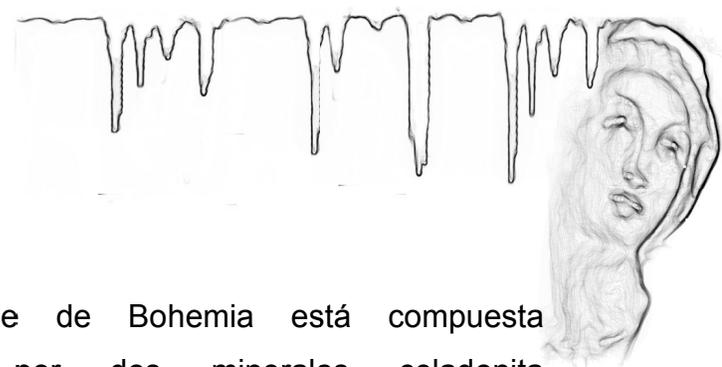
El resinato de cobre es el nombre genérico que se le da a una mezcla de pigmento y resina. Este material resulta de la mezcla de sales orgánicas de cobre, principalmente de acetatos, y resinas como la colofonia o la trementina de Venecia, las cuales provienen de coníferas. El ácido abiético ($\text{C}_{19}\text{H}_{29}\text{COOH}$) es uno de los compuestos presentes en las resinas. El nombre resinato se debe a la presencia de estas resinas.

El resinato de cobre es soluble en un gran número de disolventes orgánicos como el benceno y el cloroformo. Es insoluble en agua. Se decolora con ácidos fuertes y con bases. La parte orgánica del pigmento se descompone con calor leve, mientras que a alta temperatura se descomponen los compuestos de cobre en CuO .

Para la preparación del resinato de cobre comúnmente se emplea acetato de cobre, el cual es calentado con una sustancia que tenga ácidos orgánicos, por ejemplo, trementina de Venecia, colofonia, aceite de linaza, resina de pino o ceras. La mezcla resultante es de consistencia viscosa y de color verde. El cobre se coordina con ligantes de oxígeno, nitrógeno y azufre presentes en los compuestos antes mencionados.

La muestra de este pigmento fue preparada y proporcionada por el LDOA-IIE.





1.2.1.8.3 Tierra verde de Bohemia^{7, 8, 9}



Tierra verde de Bohemia
Fotografía por Elsa Arroyo. LDOA-IIE

La tierra verde de Bohemia está compuesta principalmente por dos minerales celadonita ($(K(Mg,Fe^{2+})(Fe^{3+},Al)Si_4O_{10}(OH)_2$) y glauconita ($((K,Na)(Fe^{3+},Al,Mg)_2(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2$). Ambos minerales se encuentran estructurados en un sistema cristalino monoclinico. Se localizan normalmente en grietas dentro de rocas volcánicas y en arena de color verde respectivamente. Su color característico se debe en parte a la presencia de Fe^{2+} a pesar de estar en menor proporción que el Fe^{3+} .

La tierra verde de Bohemia es parcialmente soluble en ácidos y en bases, pero no reaccionan con ellos. Al ser calentada se descompone adquiriendo una tonalidad café rojiza posiblemente por la formación del Fe_2O_3 .

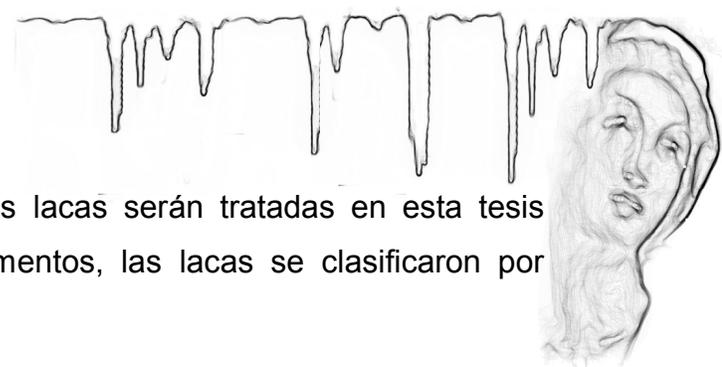
Para su preparación como pigmento se debe de recolectar la tierra natural, moler, lavar y tamizar.

La muestra de este pigmento fue proporcionada por el LDOA-IIE y se adquirió en la casa comercial Kremer Pigmente GmbH & Co. KG (No. 40810).

1.2.2 Lacas⁷

El término laca se aplica a cualquier material colorido que se prepara precipitando un colorante orgánico o tinte con un sustrato inorgánico; que puede ser $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ o $CaSO_4$, aunque también puede tratarse de ZnO , SnO , SnO_2 y $BaSO_4$. Actualmente la mayoría de las lacas se preparan a partir de tintes sintéticos. A veces un mismo colorante o tinte puede producir diferentes tonalidades de laca al ser preparada con diferentes sustratos y bajo condiciones de pH diferentes.





Por sus propiedades y características físicas las lacas serán tratadas en esta tesis como un grupo diferente. Al igual que los pigmentos, las lacas se clasificaron por colores, estos son: amarillo y rojo.

1.2.2.1 Lacas amarillas^{7, 8}

1.2.2.1.1 Gualda (Ancorca)



Gualda (ancorca)
Fotografía por Elsa Arroyo. LDOA-IIE

Esta laca se obtiene a partir del colorante extraído de la planta llamada gualda (*Reseda luteola*). El compuesto responsable de proporcionar el color a esta laca es la luteolina o 2-(3,4-dihidroxifenil)-5,7-dihidroxi-4-cromenona (ver Figura 2) que es uno de los flavonoides más comunes.

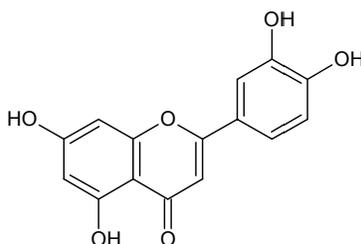


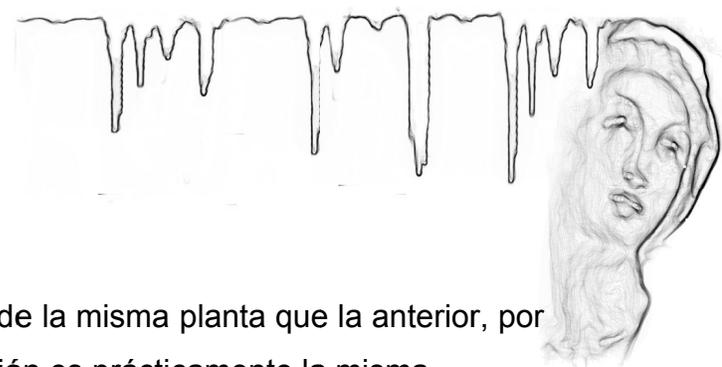
Figura 2. Estructura de la luteolina

Esta laca es poco soluble en agua, moderadamente soluble en etanol y su colorante es muy soluble en bases.

Se prepara esparciendo pequeños trozos de la planta seca en agua hirviendo con el fin de crear una infusión; una vez extraído el colorante, mientras aún está caliente, se agrega el sustrato mineral al agua del colorante. Posteriormente se deja enfriar a fin de que el sustrato precipite junto con el colorante; se retira el exceso de agua y se deja evaporar.

La muestra fue proporcionada por el LDOA-IIE. Es marca Couleurs Du Quai y se encuentra bajo el nombre Réseda jaune (gaude) (clave: 216949).





1.2.2.1.2 Gualda (Arzica)



Gualda (arzica)
Fotografía por Elsa Arroyo. LDOA-IIE

Esta laca proviene de la misma planta que la anterior, por lo que su composición es prácticamente la misma.

Igualmente el responsable de su color es la luteolina, presenta las mismas propiedades químicas de solubilidad y se prepara de manera similar que la laca anterior.

La muestra de esta laca fue proporcionada por el LDOA-IIE y se adquirió en la casa comercial Zecchi colori e belle arti (Nombre comercial: Arzica).

1.2.2.2 Lacas rojas

1.2.2.2.1 Carmín de alizarina^{7, 8, 11}



Carmín de alizarina
Fotografía por Elsa Arroyo. LDOA-IIE

El compuesto responsable del color de esta laca es la alizarina o 1,2-dihydroxiantracen-9,10-diona (ver Figura 3). Este compuesto se encuentra en las raíces de especies pertenecientes a la familia Rubiaceae, Morinda, Gallium y Oldenlandia.

La alizarina reacciona con bases fuertes tornándose morada y con ácidos cambia su color a amarillo, por lo que se ha usado como indicador de pH. Su punto de fusión es de 289 °C – 290 °C. Es poco soluble en agua hirviendo, benceno y tetracloruro de carbono. Es soluble en acetona, etilenglicol y etanol hirviendo.



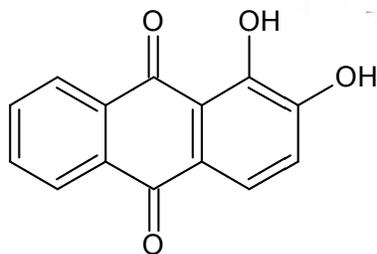


Figura 3. Estructura de la alizarina

Para preparar esta laca se obtiene la alizarina de las raíces de especies pertenecientes a las familias antes mencionadas. Se disuelve en agua hirviendo con algún sustrato como alumbre, se enfría y se evapora para precipitar la laca. La alizarina se puede obtener sintéticamente. De hecho, la alizarina fue el primer colorante de origen vegetal sintetizado.

La muestra de este pigmento fue proporcionada por el LDOA-IIE y se adquirió en la casa comercial Zecchi colori e belle arti (Nombre comercial: Carminio di alizarina). Una vez estudiada esta laca se detectó que fue preparada a partir de alizarina sintética; de cualquier manera se integró al estudio.

1.2.2.2 Laca carmín^{7, 8, 9}



Laca carmín
Fotografía por Elsa Arroyo. LDOA-IIE

La laca carmín se prepara a partir del colorante carmín, que se obtiene de cochinillas de la familia Coccoidea. El carmín puede contener ácido carmínico y ácido kermésico (ver Figura 4) que son los responsables del color. Dependiendo del insecto del que provengan es la proporción en la que se encuentran estos compuestos.



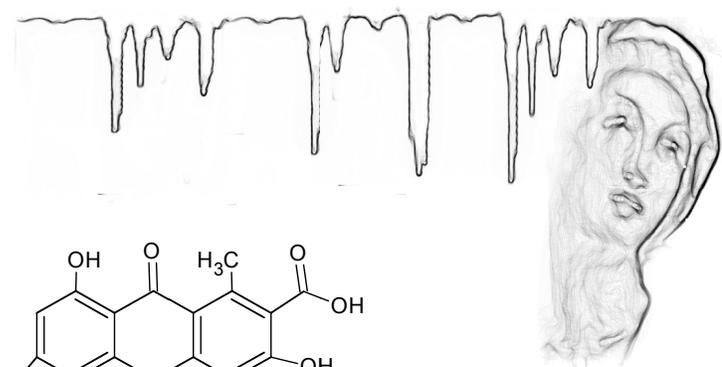
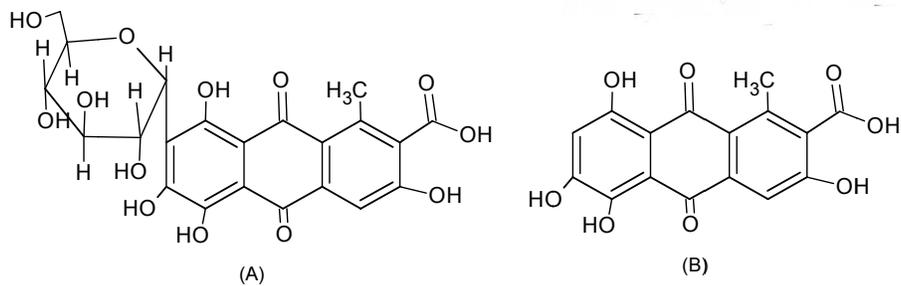


Figura 4. Estructuras del (A) ácido carmínico y (B) ácido kermésico

La laca carmín es poco soluble en agua y en etanol. Reacciona, cambiando de color, con ácidos y bases.

Para la preparación de esta laca se extrae el colorante sumergiendo cochinillas hembras muertas en agua caliente. Por tradición se sabe que los insectos hembras son los que producen el colorante. Después se precipita la laca con un sustrato inorgánico.

La muestra de este pigmento fue proporcionada por el LDOA-IIIE y se adquirió en la casa comercial Colorantes Naturales de Oaxaca SPR de RI (Nombre comercial: Laca carmín Marca: Tlapanochestli®).

1.2.2.2.3 Laca de Rubia^{7, 8, 11}



Laca de Rubia
Fotografía por Elsa Arroyo. LDOA-IIIE

La laca de Rubia se obtiene del colorante extraído de las raíces y cortezas de las plantas pertenecientes a la familia Rubiaceae. Normalmente se extrae de la *Rubia tinctorum L.* Los principales compuestos presentes en el colorante de esta laca son alizarina, purpurina, pseudopurpurina y ácido ruberítrico (ver Figura 5). El ácido ruberítrico es la forma en que se encuentra la alizarina en las raíces frescas de Rubia. La alizarina es el principal responsable del color en esta laca.



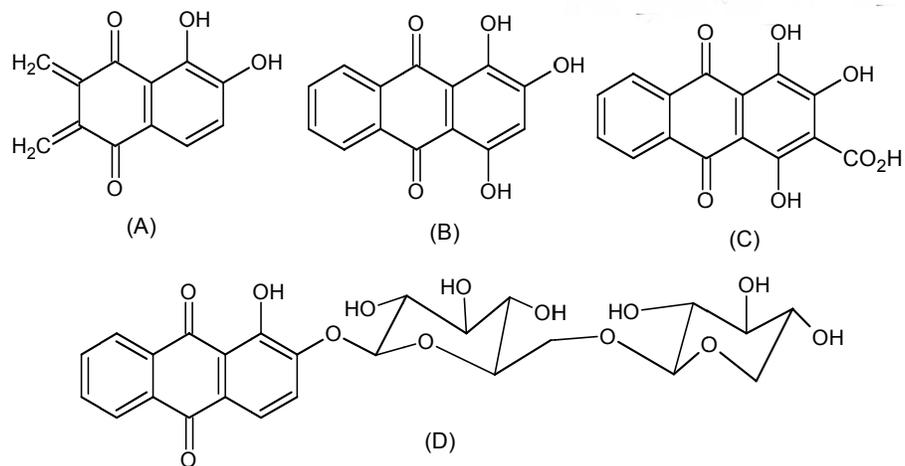


Figura 5. Estructuras de (A) alizarina, (B) purpurina, (C) pseudopurpurina y (D) ácido ruberítrico

La laca de Rubia es una de las lacas más estables. Reacciona con bases fuertes diluidas tornándose color morado.

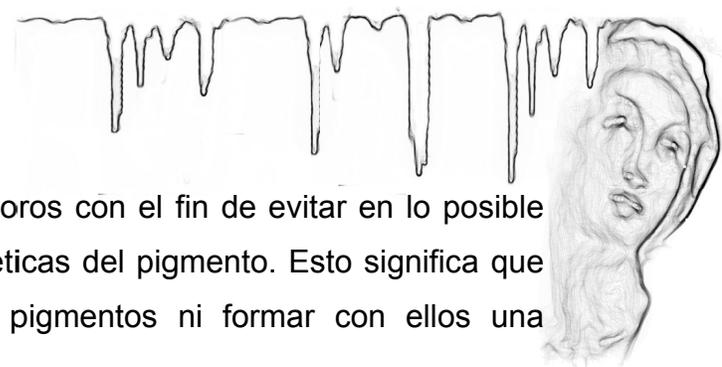
Esta laca se prepara extrayendo el colorante con agua caliente de las raíces secas de las plantas de la familia antes mencionada. Si las raíces están frescas el colorante se extrae con una hidrólisis ácida. Siguiendo los procedimientos tradicionales se precipita la laca con un sustrato. Las lacas preparadas de Rubia poseen diferentes tonalidades de rojo.

La muestra de este pigmento fue proporcionada por el LDOA-IIIE y se adquirió en la casa comercial Zecchi colori e belle arti (Nombre comercial: Lacca Robbia).

1.2.3 Aglutinantes

Los aglutinantes son materiales de diferente origen y composición que sirven para fijar el pigmento sobre el soporte en forma de una película fina. Proporcionan cohesión a las partículas del pigmento.





Los aglutinantes deben ser transparentes e incoloros con el fin de evitar en lo posible todo tipo de alteración en las características estéticas del pigmento. Esto significa que los aglutinantes no deben reaccionar con los pigmentos ni formar con ellos una disolución.

Los aglutinantes juegan un papel muy importante en la creación de obras pictóricas, ya que son los responsables de definir la técnica pictórica utilizada.⁶

Para fines únicamente de este trabajo, los aglutinantes se clasifican en aceites, aglutinantes de origen animal y resinas.

1.2.3.1 Aceites^{6, 7, 38, 39, 40}

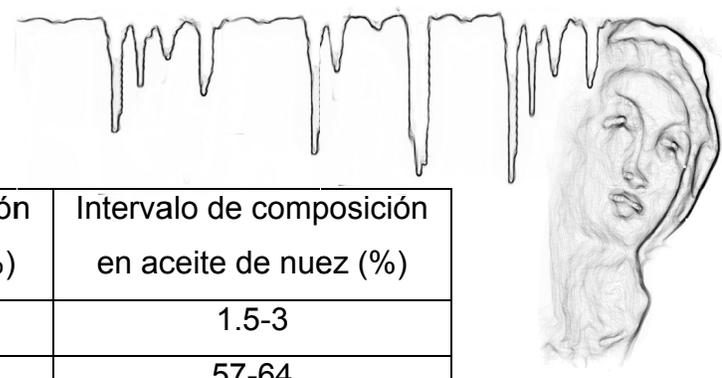


Aceite de linaza y aceite de nuez
Fotografía por Elsa Arroyo. LDOA-IIIE

Los aceites utilizados en esta época son dos: el aceite de linaza y el aceite de nuez. El aceite de linaza se extrae de las semillas de lino (*Linus usitatissimum*); mientras que el aceite de nuez se extrae de las nueces de Castilla (*Juglans regia* L.) Se trata de mezclas de ácidos grasos de cadena larga (principalmente de 18 carbonos) que pueden ser saturados o insaturados. La proporción de esta mezcla varía mucho de acuerdo al origen de la planta de la cual es extraído el aceite y a las

condiciones climáticas a las que está sometida. Cabe mencionar que los aceites pueden contener muy pequeñas cantidades de otras sustancias, como esteroides, que se tratan de eliminar en su proceso de purificación o refinación. El aceite de nuez y el de linaza están principalmente compuestos por los ácidos grasos que se muestran en la Tabla 6 cuyas estructuras se observan en la Figura 6.





Ácido graso	Intervalo de composición en aceite de linaza (%)	Intervalo de composición en aceite de nuez (%)
Ácido esteárico	2-8	1.5-3
Ácido linoleico	12-24	57-64
Ácido linolénico	45-71	10-15
Ácido oleico	10-22	13-22
Ácido palmítico	4-10	5-8

Tabla 6. Composición aproximada de los principales ácidos grasos de aceite de nuez y aceite de linaza

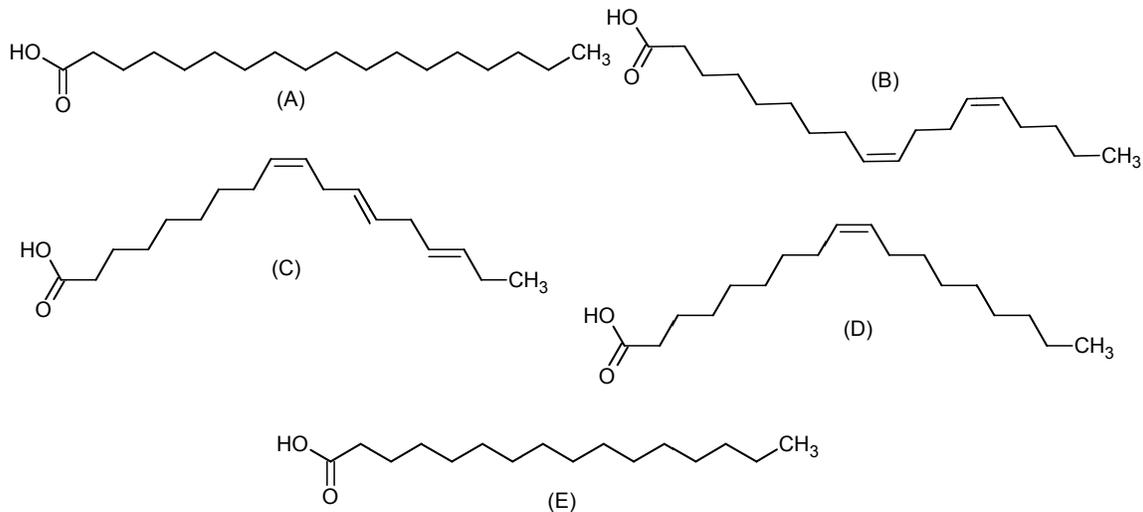
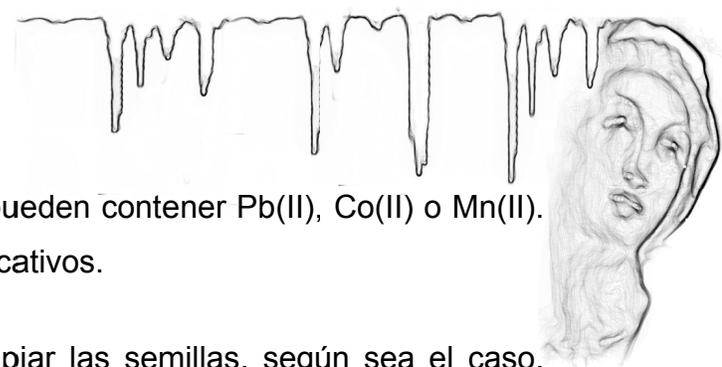


Figura 6. Estructuras de (A) ácido esteárico, (B) ácido linoleico, (C) ácido linolénico, (D) ácido oleico y (E) ácido palmítico

La composición y las propiedades químicas de estos aceites son muy similares. Los ácidos grasos poseen dobles ligaduras, estas son las responsables de diversas reacciones que pueden afectar a los aceites. Las reacciones que sufren los ácidos grasos son hidrogenación, oxidación de degradación (que los descompone en compuestos oxigenados de bajo peso molecular) y la oxidación con polimerización (que los transforma en polímeros de consistencia sólida). Esta última reacción es la que se busca lograr en la realización de obras pictóricas. Para ello se pueden emplear





sustancias que catalizan la reacción, las cuales pueden contener Pb(II), Co(II) o Mn(II). A estas sustancias, por su acción, se les llama secativos.

La preparación de estos aceites consiste en limpiar las semillas, según sea el caso. Posteriormente se muelen para prensarlas (en frío o caliente) o para extraer los aceites con solventes. Finalmente son sometidos a un proceso de refinación.

El aceite de linaza que se usó en este trabajo fue aceite crudo de la casa comercial Droguería Cosmopolita S.A. de C.V. Fue preparado con amarillo de plomo y se expuso al sol durante 3 meses. Por su parte, el aceite de nueces se preparó con nueces de Castilla peladas y frescas mediante extracción en frío.

1.2.3.2 Aglutinantes de origen animal

Dentro de los aglutinantes de origen animal están la cola de conejo y la yema de huevo. Estos aglutinantes se agruparon por su procedencia por fines espectroscópicos que se explicarán más adelante.

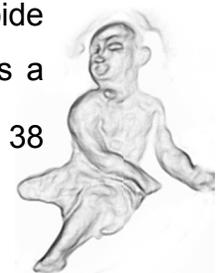
1.2.3.2.1 Cola de conejo^{6, 7}

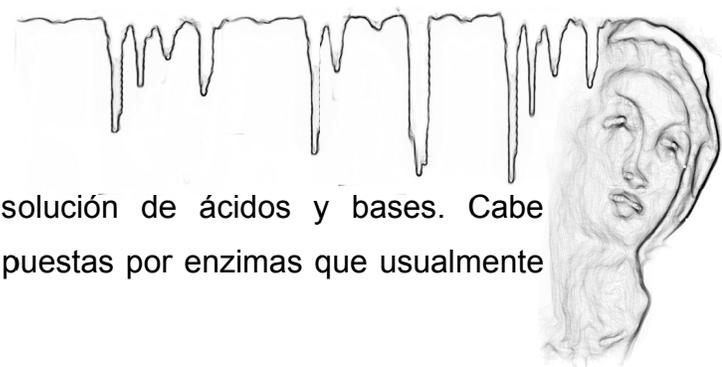


Cola de conejo
Fotografía por Elsa Arroyo. LDOA-IIE

Las colas animales están constituidas por sustancias proteínicas principalmente por colágeno, queratina, elastina, mucina, entre otras. También contienen cantidades menores de otras sustancias de origen orgánico e inorgánico. Las colas presentan un aspecto, una composición y unas propiedades físicas que dependen de su origen y del tipo de tratamiento al que hayan sido sometidas durante su preparación.

La cola de conejo (y las colas animales en general) es blanca sin tener impurezas y completamente libre de agua. Al ser calentada con agua se hidrata reteniendo entre un 15 % y un 18% de su peso. La cola hidratada es conocida como gelatina; este coloide se mantiene estable entre 10 °C y 35 °C. Los coloides de proteínas son sensibles a





cargas eléctricas, como las producidas en disolución de ácidos y bases. Cabe mencionar que las proteínas pueden ser descompuestas por enzimas que usualmente provienen de ciertos microorganismos.

La cola de conejo se extrae de la piel, el cartílago, los huesos, los tendones del animal o una mezcla de estos. Esto se logra mediante el calentamiento en agua de estas partes del conejo, posteriormente se evapora el agua de la gelatina formada, que al ser concentrada es llamada cola.

La muestra de este aglutinante fue proporcionada por el LDOA-IIIE y se adquirió en la casa comercial Casa Serra® (Nombre comercial: cola de conejo).

1.2.3.2.2 Yema de huevo^{6, 7}



Fotografía de Nuncketest. Egg Yolk

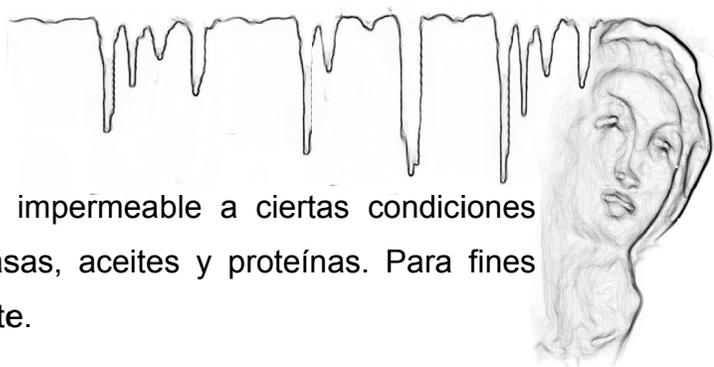
Descargada de: <http://nuncketest.blogspot.mx/2010/10/egg-yolk.html>

La yema de huevo es un producto natural formado por un coloide acuoso compuesto por proteínas, grasas y aceites. La cual permanece estabilizada por agentes emulsionantes como la lecitina. Su composición aproximada se muestra en la Tabla 7.

Componente	Porcentaje aproximado en yema fresca (%)	Porcentaje aproximado en yema seca (%)
Agua	51	-
Lecitina	9	18
Grasas y aceites	22	45
Otras proteínas	15	31
Sales	1	2

Tabla 7. Porcentaje aproximado de algunos componentes de la yema de huevo de gallina





Al secarse la yema de huevo forma una capa impermeable a ciertas condiciones ambientales. Esta capa está compuesta por grasas, aceites y proteínas. Para fines artísticos, la yema de huevo es prácticamente inerte.

Para su preparación como aglutinante se debe separar la yema de la clara de un huevo de gallina fresco, a continuación, se rompe la membrana que cubre a la yema y se añade agua para hacer más fluida la mezcla. Posteriormente se añaden unas gotas de aceite de clavo como conservador.

La muestra de este aglutinante se preparó a partir de un huevo de gallina fresco.

1.2.3.3 Resinas⁷



Almáciga
Fotografía por Elsa Arroyo. LDOA-IIE

Las resinas son secreciones de cierto tipo de plantas, usualmente provienen de árboles del tipo conífera y pueden encontrarse fosilizadas. Algunas de las resinas utilizadas en el último tercio del siglo XVI son la almáciga, colofonia, copal y sandaraca. La composición química de las resinas varía mucho ya que depende de su procedencia y de las condiciones medioambientales en las cuales se desarrolló el árbol de donde se extraen. En general, sus componentes se

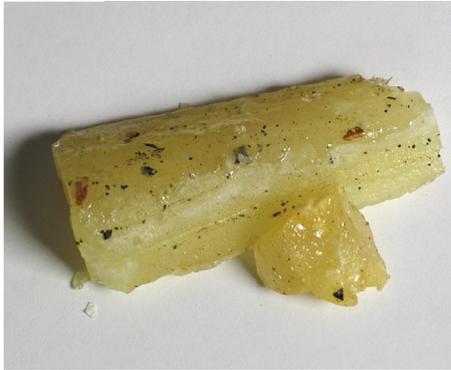
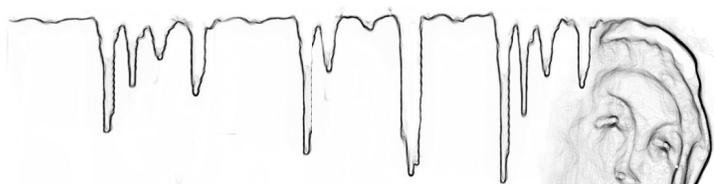
clasifican en ácidos aromáticos y alifáticos, cetonas, terpenos, alcoholes y aceites esenciales. Cabe mencionar que la cantidad de aceites esenciales en las resinas varía considerablemente al ser extraídas, ya que se evaporan o reaccionan con el oxígeno del aire.

Las resinas en general son parcialmente solubles en etanol, cloroformo y éter de petróleo. Son muy poco solubles en agua. La temperatura a la cual funden



Colofonia
Fotografía por Elsa Arroyo. LDOA-IIE





Copal
Fotografía por Elsa Arroyo. LDOA-IIE

varía dependiendo de la resina. La colofonia funde entre 100 °C y 130 °C, el copal funde entre 180 °C y 340 °C (este amplio intervalo se debe a la distinta procedencia que esta resina puede tener), la sandaraca funde entre 135 °C y 145 °C y la almáciga funde alrededor de 95 °C.

Para utilizar las resinas como aglutinantes no requieren de una preparación previa, aunque si se encuentran en estado sólido pueden ser sometidas a calentamiento o disolución.

Las resinas fueron proporcionadas por el LDOA-IIE. La sandaraca y colofonia fueron compradas a la casa comercial Talas (Nombres comerciales: Sandarac Gum y Colophony Rosin), mientras que la almáciga se adquirió en la casa comercial Kremer Pigmente GmbH & Co. KG (No. 60050). El copal fue obtenido por el LDOA-IIE en el mercado del pueblo de Tlayacapan, Morelos.



Sandaraca
Fotografía por Elsa Arroyo. LDOA-IIE



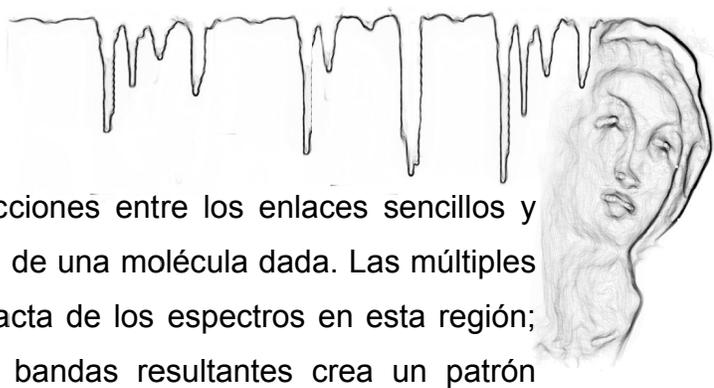
2 Marco teórico^{16, 17, 18, 19}

La espectroscopía infrarroja consiste en el estudio de la interacción de la radiación de la región del infrarrojo del espectro electromagnético con la materia. La radiación infrarroja se encuentra comprendida entre los números de onda 12800 cm^{-1} y 50 cm^{-1} y se puede dividir en tres regiones denominadas infrarrojo cercano, medio y lejano. La incidencia de cada una de ellas sobre la materia tiene aplicaciones instrumentales específicas.

La región del infrarrojo cercano (NIR por sus siglas en inglés) se extiende desde 12800 cm^{-1} a 4000 cm^{-1} . Las bandas de absorción que se observan en esta zona son sobretonos de las bandas vibracionales fundamentales que se producen entre 3000 cm^{-1} y 1700 cm^{-1} . El uso más importante de la radiación infrarroja cercana, a diferencia de la espectroscopía en el infrarrojo medio, es la determinación cuantitativa de especies tales como agua, proteínas, grasas e hidrocarburos de bajo peso molecular en productos agrícolas, alimenticios, entre otros.

La región del infrarrojo lejano (FIR por sus siglas en inglés) incluye la región inferior a 650 cm^{-1} . Esta radiación es especialmente útil para el estudio de compuestos inorgánicos, porque la absorción debida a las vibraciones de tensión y flexión de los enlaces entre átomos metálicos y ligantes ocurre en dicha región. Además proporciona información sobre energías reticulares de cristales y energías de transición en semiconductores. También en esta región se observa la absorción rotacional pura de los gases, siempre que presenten momentos dipolares permanentes.

La región del infrarrojo medio (MIR por sus siglas en inglés) abarca la región entre los números de onda 4000 cm^{-1} y 650 cm^{-1} . Esta región es la más utilizada para el análisis espectroscópico. Asimismo, se subdivide en dos regiones, la región de las frecuencias fundamentales de grupo (3600 cm^{-1} a 1200 cm^{-1}) y la región de "huella digital" (1200 cm^{-1} a 650 cm^{-1}). En la región de las frecuencias fundamentales de grupo, las principales bandas de absorción pueden ser asignadas a los modos vibracionales que corresponden a grupos funcionales individuales. Tanto la presencia como la ausencia de las bandas características de las frecuencias fundamentales de grupo son útiles para la caracterización de los compuestos. Las bandas de absorción de la región de "huella



digital” resultan de la combinación de las interacciones entre los enlaces sencillos y dependen de la estructura del esqueleto completo de una molécula dada. Las múltiples absorciones hacen imposible la interpretación exacta de los espectros en esta región; pero, en general, la combinación de todas las bandas resultantes crea un patrón característico y reproducible que da una gran utilidad a dicha región para fines de identificación.

2.1 Fundamentos

Para que ocurra absorción de radiación en el infrarrojo, las moléculas deben tener pequeñas diferencias de energía entre sus distintos estados vibracionales y rotacionales; es decir, al vibrar deben generar un momento dipolar. La magnitud de la diferencia de carga, la masa y la distancia entre los dos centros de carga determinan el momento dipolar de una molécula.

Si la frecuencia de la radiación que incide en la molécula es igual a la frecuencia de vibración basal de las uniones químicas, se origina un cambio en la amplitud de la vibración molecular; esto permite que haya absorción de la radiación. Igualmente, la rotación de las moléculas asimétricas alrededor de sus centros de masa produce una variación periódica en el dipolo que puede interactuar con la radiación.

2.2 Tipos de vibraciones moleculares

Las posiciones relativas de los átomos en una molécula cambian como consecuencia de los diferentes tipos de vibraciones y rotaciones alrededor de sus enlaces. Se pueden clasificar en dos tipos generales de vibraciones: de estiramiento y de deformación del ángulo (ver Figura 7). Las vibraciones de estiramiento implican un cambio continuo en la distancia entre dos átomos a lo largo del eje de su enlace; pueden ser de dos tipos, simétrica y asimétrica. Las vibraciones de deformación del ángulo, como su nombre lo dice, consisten en un cambio en el ángulo entre dos enlaces; son de cuatro tipos, tijereteo, balanceo, aleteo y torsión.



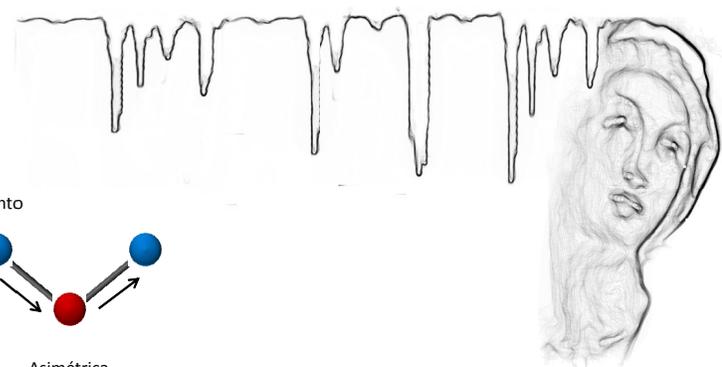
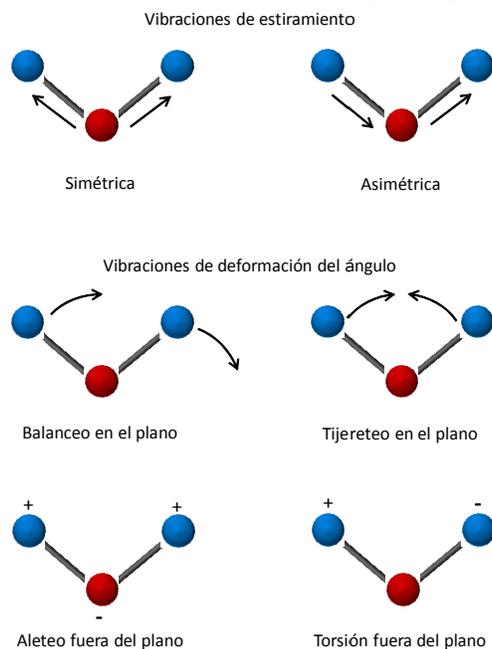


Figura 7. Representación gráfica de los tipos de vibraciones moleculares

2.3 Tratamiento clásico de la vibración de una molécula diatómica

Las características de una vibración de estiramiento entre dos átomos se pueden aproximar a las de un modelo mecánico que consta de dos masas unidas mediante un resorte. La perturbación de una de estas masas a lo largo del eje del resorte produce una vibración denominada movimiento armónico simple. La frecuencia de oscilación de este modelo está representada por la Ecuación 1.

$$v_m = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Ecuación 1. Frecuencia natural

En esta ecuación v_m es la frecuencia natural del oscilador mecánico, k es la constante de fuerza del resorte y m es la masa.

La Ecuación 1 se puede modificar para describir el comportamiento de un sistema constituido por dos masas (m_1 y m_2) unidas por un resorte. En este caso se sustituye la



masa m por la masa reducida μ (expresada en la Ecuación 2) para describir un sistema molecular.

$$\mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$$

Ecuación 2. Masa reducida

La versión sustituida de la Ecuación 1 se expresa en la Ecuación 3. Esta ecuación se emplea para calcular la frecuencia de la vibración molecular en donde k se convierte en la constante de fuerza del enlace químico, mientras que m_1 y m_2 se convierten en las masas de los átomos involucrados en la unión.

$$\nu_m = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k(m_1 + m_2)}{m_1 m_2}}$$

Ecuación 3. Frecuencia de vibración molecular

2.4 Tratamiento cuántico de las vibraciones

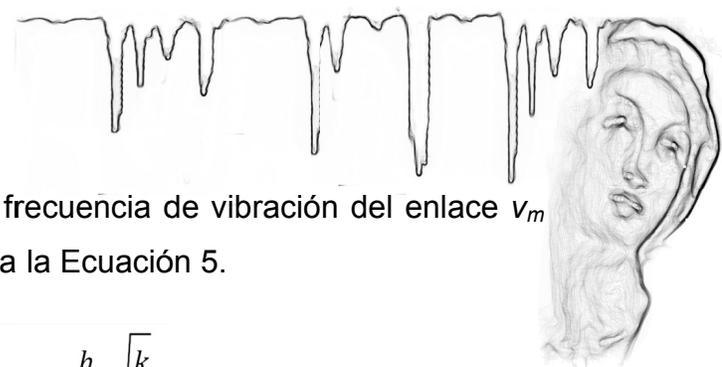
Es posible emplear el concepto del oscilador armónico simple para deducir las ecuaciones de onda de la mecánica cuántica. Las soluciones de estas ecuaciones para las energías potenciales están expresadas en la Ecuación 4.

$$E = \left(v + \frac{1}{2}\right) \frac{h}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{\mu}}$$

Ecuación 4. Energía potencial

En esta ecuación h es la constante de Planck y v es el número cuántico vibracional que sólo puede tomar valores enteros positivos. Por lo tanto, la mecánica cuántica establece que los osciladores sólo pueden presentar determinadas energías discretas. Cabe mencionar que el término $(\sqrt{k/\mu})/2\pi$ aparece tanto en las ecuaciones clásicas como en las ecuaciones cuánticas.

Si varía un dipolo por la acción de la absorción de radiación, es posible que haya transiciones entre dos niveles cuánticos vibracionales. La diferencia de energía ΔE (la energía de la radiación infrarroja) entre estos dos estados cuánticos vibracionales



(basal y primer estado excitado) es idéntica a la frecuencia de vibración del enlace ν_m originada en el modelo clásico; tal como lo expresa la Ecuación 5.

$$E_{radiación} = h\nu = \Delta E = h\nu_m = \frac{h}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{\mu}}$$

Ecuación 5. Energía de la radiación

2.5 Técnicas y equipos

Existen diferentes formas de medir la absorción de la radiación infrarroja en una muestra. Todas miden de forma indirecta los fenómenos producidos por absorción. En general, se puede decir que existen dos técnicas, la transmitancia y la reflectancia.

La espectroscopía por transmitancia es la técnica básica para la medición de la absorción de una muestra. Se basa en el fenómeno de la transmisión de la radiación no absorbida; comparando esta radiación con la aplicada originalmente a la muestra es que se obtiene un valor de absorción. Existen diferentes métodos de preparación de muestra para esta técnica y dependen del estado físico de la muestra a analizar.

La espectroscopía por reflectancia se emplea cuando las muestras son difíciles de manipular, ya que no necesita de mucha preparación de muestra. Se basa en el fenómeno de la reflexión de la radiación infrarroja, que consiste en el hecho de que un haz de radiación pasa de un medio más denso a uno menos denso. Entre los métodos de reflectancia destaca la reflexión total atenuada.

La técnica de reflectancia total atenuada (ATR por sus siglas en inglés) consiste en la propagación de la radiación infrarroja a través de un medio ópticamente denso que llega a una interfase con un medio de menor índice de refracción. La radiación llega a un ángulo de incidencia mayor que el ángulo crítico, así que no escapa del medio denso sino que es internamente reflejada en su totalidad (ver Figura 8).



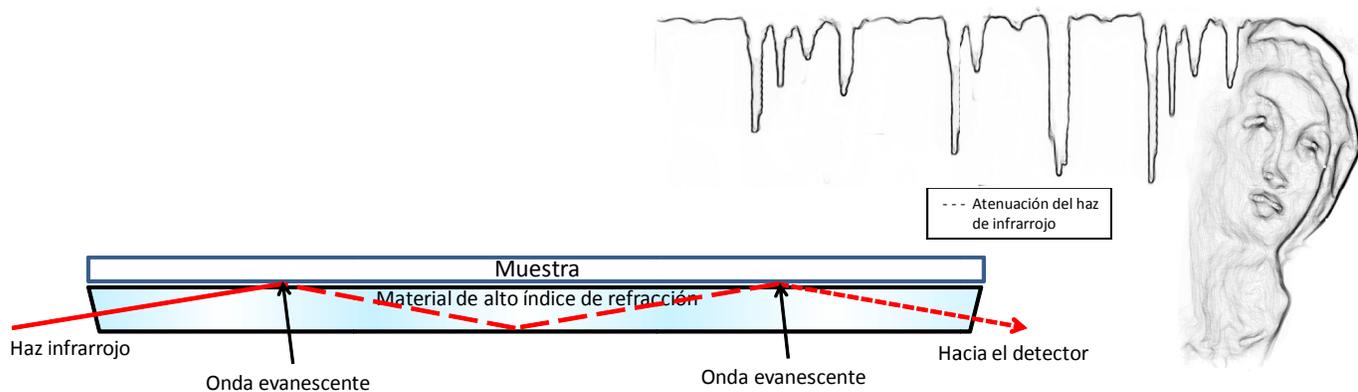


Figura 8. Esquema del principio del funcionamiento de un espectrofotómetro de ATR

Se ha demostrado que durante el proceso de reflexión el haz se comporta como si penetrara una cierta distancia en el medio menos denso para después reflejarse. La profundidad de penetración depende de la longitud de onda de la radiación, de los índices de refracción de la muestra y del material de alto índice de refracción, así como del ángulo que forma el haz incidente con la interfase. A esta radiación penetrante se le denomina onda evanescente.

Los espectros obtenidos por ATR son similares a los espectros obtenidos por transmitancia, ya que se observan las mismas bandas de absorción pero con intensidades relativas distintas. Esto se debe a que la radiación sólo penetra unos pocos micrómetros en la muestra.

Los equipos de IR se clasifican en dispersivos y con transformada de Fourier (FTIR). Los equipos IR dispersivos fueron los primeros que se emplearon y se basan en la irradiación secuencial de la muestra con radiaciones IR de diferentes frecuencias. Los equipos FTIR obtienen respuestas a partir de la interacción de la radiación con la muestra a través del interferómetro de Michelson (ver Figura 10). Estas respuestas son llamadas interferograma. El interferograma contiene información sobre toda la región del infrarrojo analizada a la que el detector genera respuesta. La operación matemática conocida como transformada de Fourier convierte el interferograma en un espectro de infrarrojo.

En general, los equipos FTIR presentan una relación señal/ruido que supera en un orden de magnitud a los dispersivos. Los equipos FTIR se caracterizan por sus altas resoluciones, por la elevada exactitud, la rapidez y por la buena reproducibilidad en la determinación de las frecuencias. Otra ventaja que cabe destacar es que su detector



recibe una radiación de mayor potencia que la de los instrumentos dispersivos, además de que los interferómetros no tienen el problema de la radiación parásita. Por estas razones, en la actualidad, se emplean principalmente los equipos FTIR. El funcionamiento general de un espectrofotómetro FTIR se muestra en la Figura 9.



Figura 9. Esquema del funcionamiento general de un espectrofotómetro FTIR

La fuente debe generar un haz de radiación con suficiente potencia. Algunos ejemplos de fuentes incluyen el emisor de Nernst, el filamento incandescente, el arco de mercurio y el rayo láser.

El interferómetro (ver Figura 10) consiste en un espejo plano fijo, otro móvil y en un separador de haces. La radiación procedente de la fuente se hace incidir sobre el separador de haces, formando el ángulo de 45° .

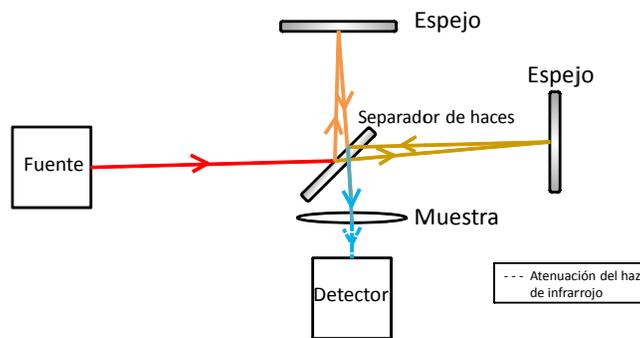
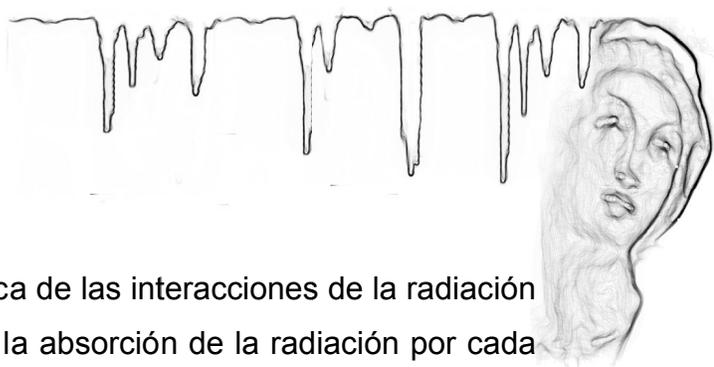


Figura 10. Esquema del interferómetro de Michelson.

El detector tiene como función convertir la radiación en una señal eléctrica que pueda interpretarse posteriormente. La computadora tiene dos funciones, procesar las señales eléctricas producidas por el detector y registrarlas de manera digital. El procesador de señal puede utilizarse para llevar a cabo operaciones matemáticas en la señal.



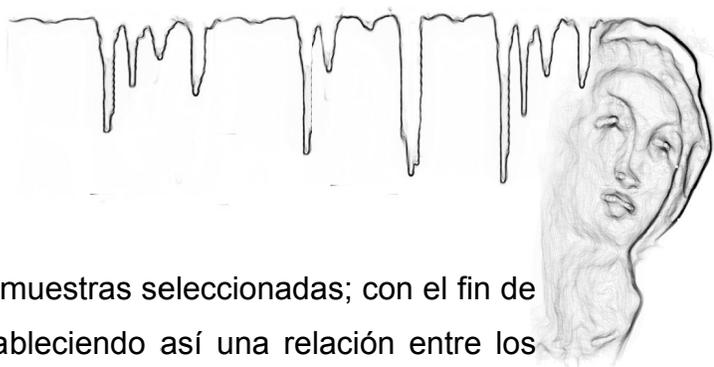
2.6 Teoría del espectro de infrarrojo

El espectro de infrarrojo es la representación gráfica de las interacciones de la radiación infrarroja con la muestra. Cada banda representa la absorción de la radiación por cada unión química (grupo funcional) al subir un nivel cuántico vibracional. Considerando que una unión química puede tener diferentes modos de vibración, en ocasiones, podemos tener varias frecuencias de absorción para un mismo grupo funcional. Tomando en cuenta que la energía absorbida por diferentes uniones químicas puede ser la misma, habrá bandas que representen la energía absorbida por más de una unión química. La intensidad de cada banda depende de la facilidad con la que la unión química genere un dipolo al vibrar y de las interacciones que estas puedan tener con otros grupos funcionales, además de la concentración de la muestra.

La aplicación más habitual del espectro de infrarrojo consiste en la identificación de determinados grupos funcionales para los que se observan bandas características en regiones particulares del espectro. Para estos fines es necesario utilizar muestras puras, de tal manera que el espectro de infrarrojo represente su patrón de absorción. Cuando se tienen mezclas el espectro de infrarrojo representará las absorciones de todos los grupos funcionales presentes en los componentes de la mezcla. Igualmente se presenta un patrón de absorción característico de la mezcla sólo si se mantiene la proporción de sus componentes.

En el espectro de infrarrojo el eje de las abscisas representa el número de onda (cm^{-1}) de la radiación, mientras que en el eje de las ordenadas se muestra el porcentaje de la intensidad de la transmitancia o absorbancia.





3 Objetivo

Estudiar y analizar los espectros obtenidos de las muestras seleccionadas; con el fin de apoyar al diagnóstico de patrimonio cultural, estableciendo así una relación entre los profesionales de la química y los del arte.

4 Metodología

Para el análisis por espectroscopía infrarroja de los pigmentos, lacas y aglutinantes empleados en la pintura novohispana del siglo XVI se aplicaron dos métodos: reflectancia total atenuada y transmitancia. Todos los espectros fueron obtenidos por el método de transmitancia, con excepción de amarillo de plomo-estaño tipo II, oropimente, rejalgar, cinabrio, carmín de alizarina, laca de Rubia, laca carmín, cola de conejo y yema de huevo.

4.1 Equipo

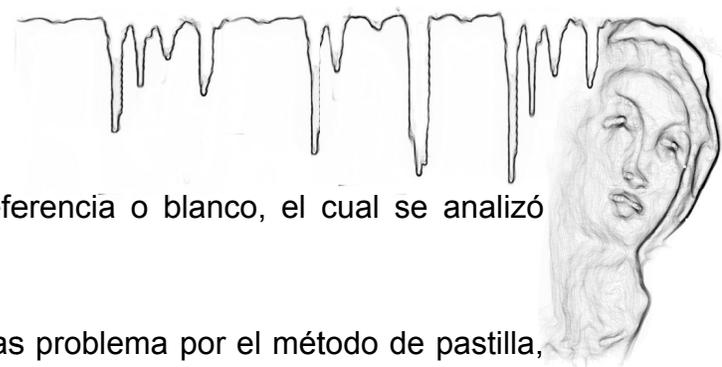
Al trabajar por ATR se utilizó un espectrofotómetro infrarrojo marca PerkinElmer® modelo Spectrum 400, perteneciente a la Unidad de Servicios de Apoyo a la Investigación (USAI) en la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Para trabajar por transmitancia se utilizó un espectrofotómetro infrarrojo marca Thermo Electron Corporation® modelo Nicolet Nexus 670, perteneciente al Grupo de Materiales y Nanotecnología en el Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET) de la Universidad Nacional Autónoma de México.

4.2 Preparación de muestras

Las muestras analizadas por ATR no requirieron preparación previa, más que molienda. El método de transmitancia requirió de la preparación de las muestras. De acuerdo a su naturaleza física se prepararon por tres métodos distintos: los sólidos por pastilla, los líquidos por película y el resinato de cobre (por su alta viscosidad) por depósito. Independientemente del método de preparación se empleó bromuro de potasio (grado





espectroscópico) como ventana de soporte y referencia o blanco, el cual se analizó antes de registrar cada muestra.

Antes de comenzar con el estudio de las muestras problema por el método de pastilla, se determinó la concentración óptima de muestra en pastilla. Para ello se hicieron pruebas con pastillas de 0.10000 g aproximadamente de peso total. La concentración de la muestra se calcula con la Ecuación 6.

$$\text{Concentración (\%m/m)} = \left[\frac{\text{masa de la muestra problema}}{\text{KBr} + \text{muestra problema}} \right] \times 100$$

Ecuación 6. Cálculo de concentración

Las concentraciones ensayadas fueron: 1, 0.5 y 0.25 %m/m. Al observar los diferentes espectros de un mismo material a dichas concentraciones se concluyó que el espectro de mejor calidad se obtuvo a una concentración de 0.25 %m/m, por lo que se continuó con esa concentración.

Así el procedimiento para preparar una pastilla consistió en pesar aproximadamente 0.09975 g de KBr, y 0.00025 g de muestra problema, procurando que la suma de los pesos fuera de 0.10000 g aproximadamente. Con la ayuda de un mortero de ágata se molieron dichas sustancias para formar una mezcla homogénea. Finalmente, se comprimió la mezcla en una prensa hidráulica a 3000 lb/in².

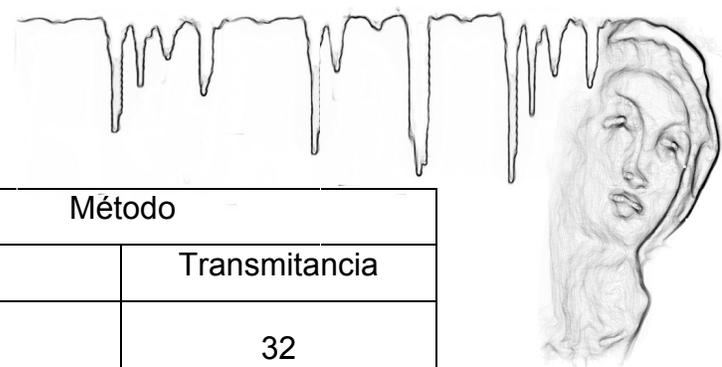
Para el método de película, se preparó una pastilla de KBr, con la ayuda de un gendarme se aplicó una delgada capa del material a analizar sobre la pastilla y se dejó secar unos minutos.

Para el método de depósito, se preparó una pastilla de KBr. Por otro lado, se disolvió el material a analizar con etanol (R.A.). Posteriormente, con la ayuda de un gendarme se aplicó una delgada capa de la disolución sobre la pastilla y se dejó secar unos minutos.

4.3 Obtención de espectros

Los espectros se obtuvieron con diferentes características dependiendo del método. Estas características se enlistan en la Tabla 8.





Analito	Característica	Método	
		ATR	Transmitancia
Blanco	Número de barridos	N/A	32
	Resolución	N/A	4 cm ⁻¹
	Intervalo de análisis	N/A	MIR (~4000 a 400 cm ⁻¹)
Muestra	Número de barridos	20	100
	Resolución	4 cm ⁻¹	4 cm ⁻¹
	Intervalo de análisis	MIR (~4000 a 400 cm ⁻¹)	MIR (~4000 a 400 cm ⁻¹)

Tabla 8. Características de los espectros de infrarrojo

4.4 Análisis

Después de la obtención de espectros se procedió a su análisis. Se tuvo que considerar la naturaleza de las muestras; mezclas muchas veces heterogéneas que no siempre guardan la misma proporción entre sus componentes. También, al encontrar materiales inorgánicos como los pigmentos, se tuvo que tomar en cuenta que la región de análisis ocupada no era la adecuada para describirlos. Esto se debe a que las bandas de absorción representativas de la mayoría de los pigmentos inorgánicos no aparecen en la región del infrarrojo medio. Por otra parte, hubo que analizar los espectros con cautela; pues al tratarse de materiales artísticos, no se tenía la certeza de su pureza.

Para designar los números de onda de absorción de cada banda se utilizó el software OriginPro 8®. Después se consultaron las referencias sobre previos estudios espectroscópicos al infrarrojo del pigmento, laca o aglutinante en cuestión. Posteriormente se comparó la información sobre la asignación de bandas del material para construir el análisis.





En caso de que no se encontraran referencias, únicamente se analizaban las bandas correspondientes a grupos funcionales o iones conocidos y se construyó el análisis con esa información.

Para su mejor entendimiento se agrupó esa información en las clasificaciones que se muestran en la sección de resultados.

4.5 Pruebas de solubilidad

Además se realizaron pruebas de solubilidad únicamente con las lacas con el fin de intentar identificar mejor su composición. Se pesó aproximadamente 0.0010 g de cada laca por duplicado y se trató de disolver en tubos de ensayo una muestra en 1 mL de hexano y la otra en 1 mL de etanol. Posteriormente de cada tubo se filtró la parte aparentemente insoluble, se evaporó el disolvente filtrado y se analizaron ambas partes en el espectrofotómetro marca PerkinElmer® modelo Spectrum 400, perteneciente a la USAI.

5 Resultados

5.1 Espectroscopía

Los espectros de pigmentos, lacas y aglutinantes registrados se agruparon de acuerdo a su respuesta espectroscópica y se estudiaron de acuerdo a su perfil de absorción. Con el análisis de los espectros y su respectiva agrupación se desarrolló el concepto de perfil de absorción. El perfil de absorción se refiere al conjunto de bandas representativas de un material que se encuentran presentes en su espectro de infrarrojo independientemente de la procedencia o impurezas de este.

La clasificación inicial consistió en dividir los materiales estudiados en espectroscópicamente activos y sin respuesta espectroscópica. Posteriormente los espectros espectroscópicamente activos se dividieron en los grupos que se presentan a continuación.



5.1.1 Sin respuesta espectroscópica

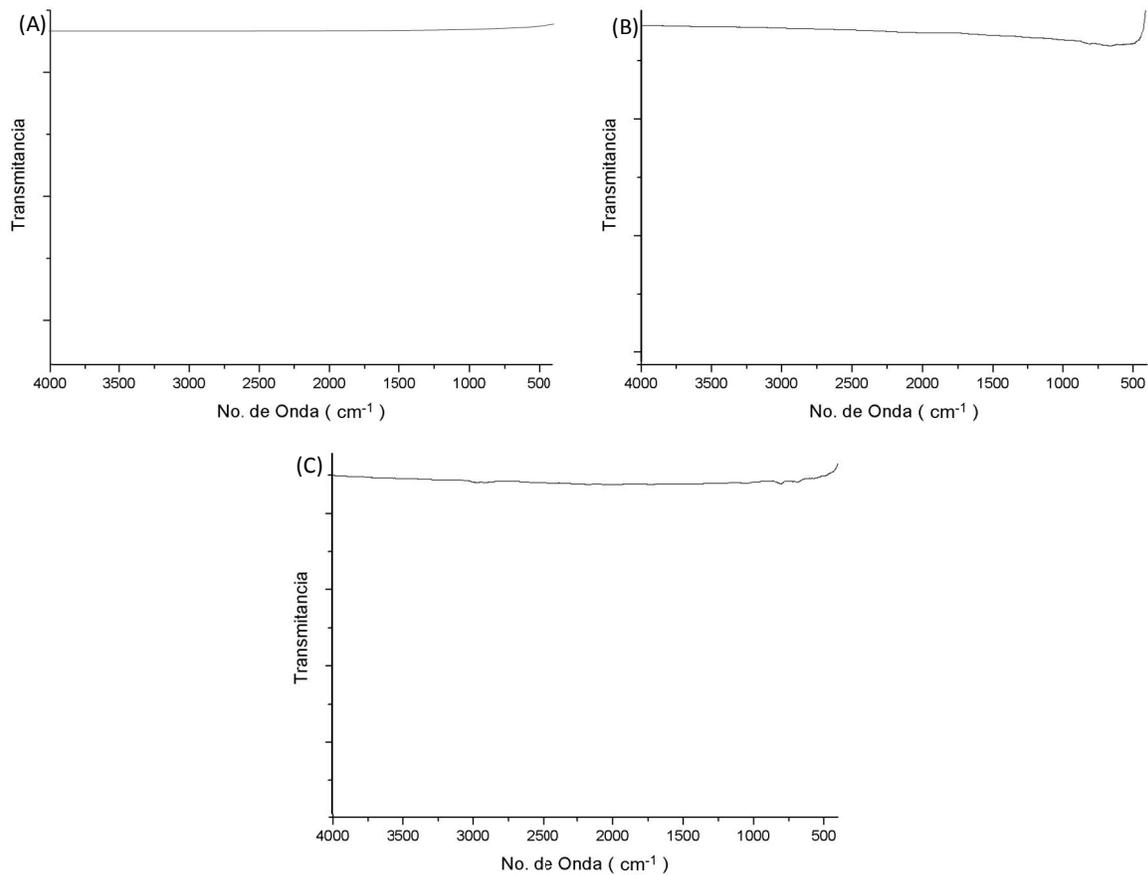


Figura 11. Espectros sin respuesta espectroscópica: (A) carbón molido (ver 1.2.1.5.1), (B) oropimente (ver 1.2.1.1.3), (C) rejalgar (ver 1.2.1.4.1)

Perfil de absorción:

- En los espectros no se observa ninguna banda en la región entre 4000 cm⁻¹ y 400 cm⁻¹. Esto se debe a que se trata de materiales compuestos por sustancias que no generan cambios fuertes en el momento dipolar de sus enlaces o al menos no observables en esta región del espectro electromagnético al infrarrojo.



5.1.2 Espectroscópicamente activos

5.1.2.1 Sulfatos

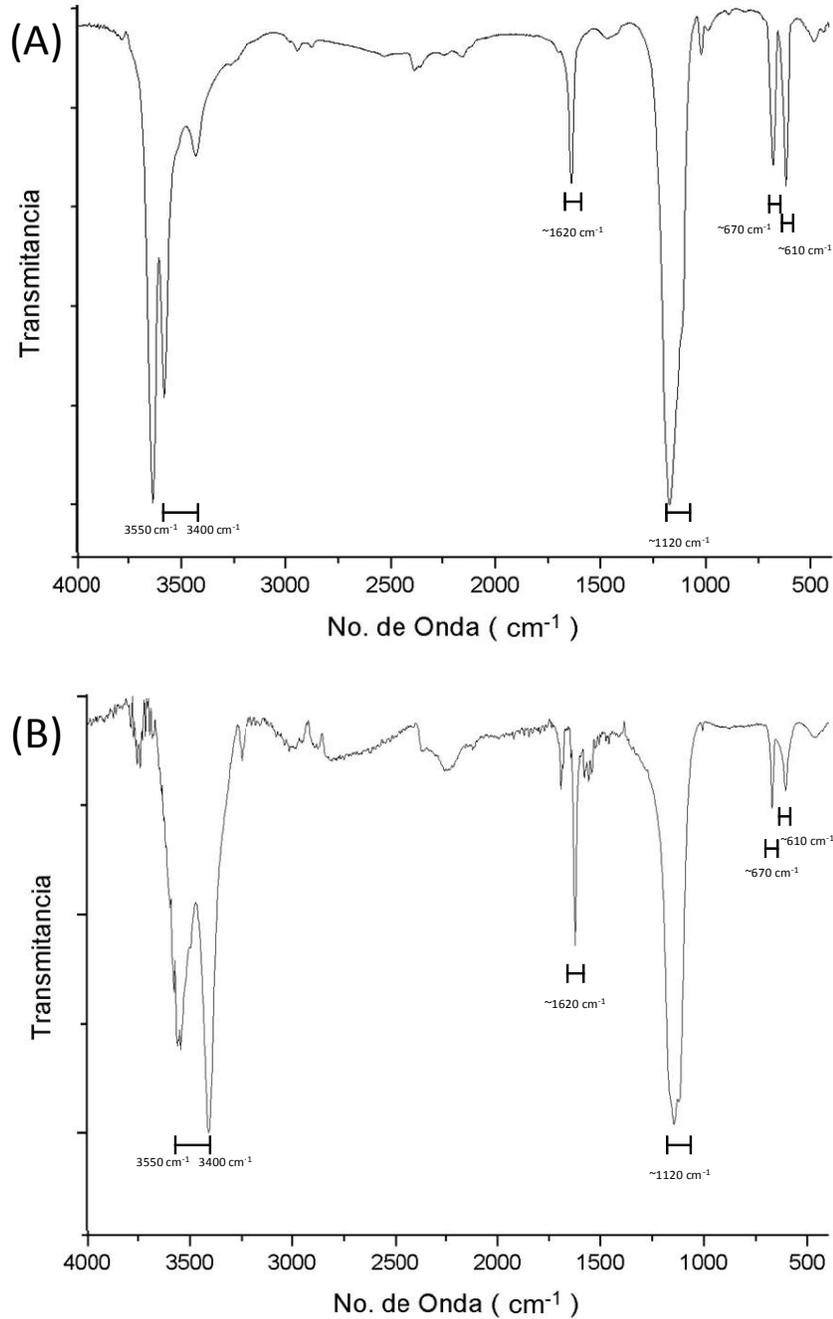
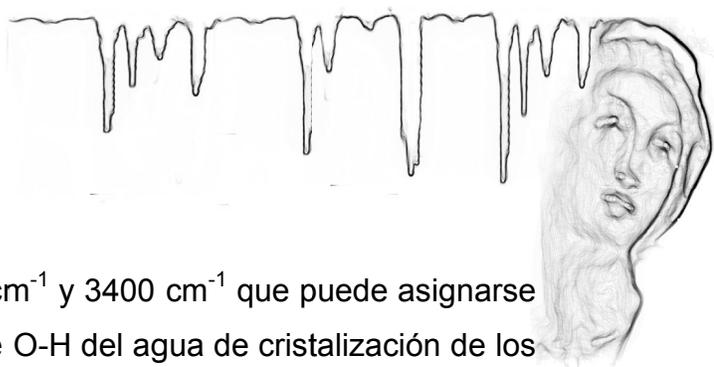


Figura 12. Espectros del grupo “sulfatos”: (A) yeso (ver 1.2.1.3.2), (B) yeso dihidratado (ver 1.2.1.3.3)



Perfil de absorción:

- Dos bandas de alta intensidad entre 3550 cm^{-1} y 3400 cm^{-1} que puede asignarse a las vibraciones de estiramiento del enlace O-H del agua de cristalización de los compuestos.
- Una banda de mediana intensidad cerca de 1620 cm^{-1} que puede asignarse a las vibraciones de estiramiento asimétrico del enlace O-H del agua.
- Una banda muy intensa cerca de 1120 cm^{-1} que puede asignarse a las vibraciones de estiramiento asimétrico del ion sulfato.
- Dos bandas alrededor de 670 cm^{-1} y 610 cm^{-1} que pueden asignarse a las vibraciones de torsión del ion sulfato.



5.1.2.2 Carbonato

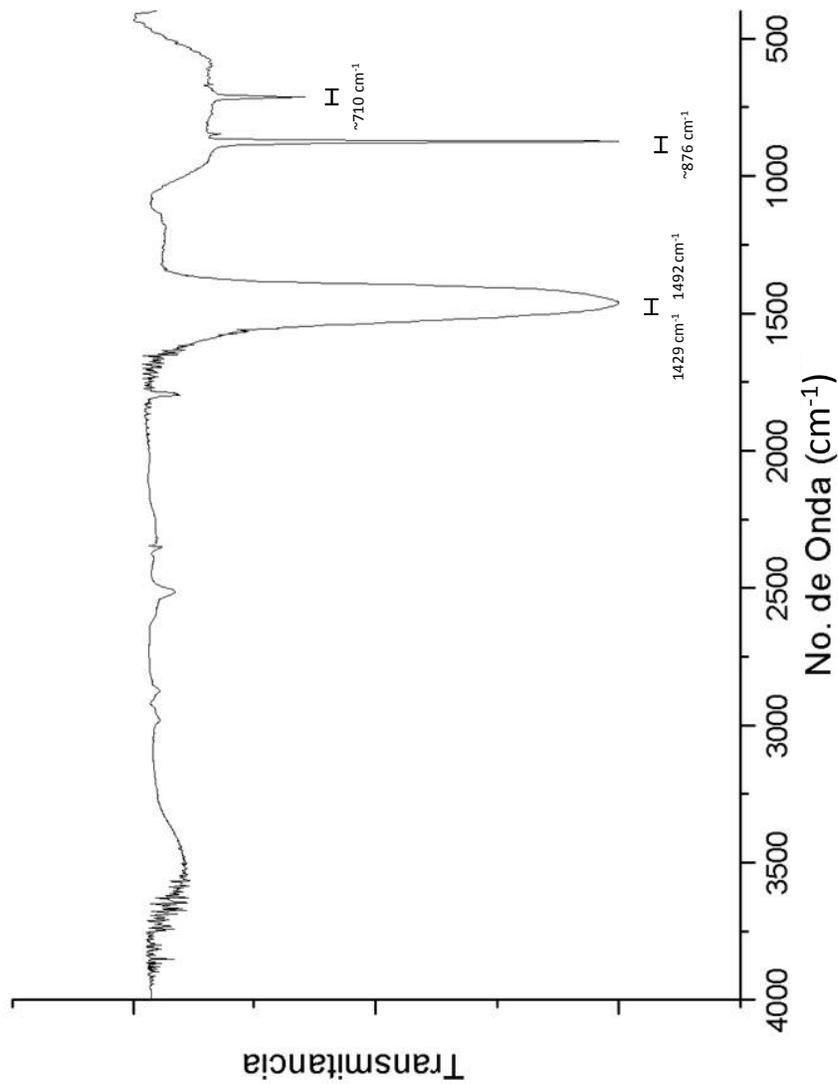


Figura 13. Espectro de carbonato de calcio (ver 1.2.1.3.1)

Perfil de absorción:

- Dos bandas muy intensas; una dentro del intervalo de 1492 cm^{-1} a 1429 cm^{-1} , otra alrededor de 876 cm^{-1} y una de poca intensidad alrededor de 710 cm^{-1} ; las tres pueden asignarse a las vibraciones de estiramiento y torsión características del carbonato de calcio en forma de calcita.



5.1.2.3 Silicatos

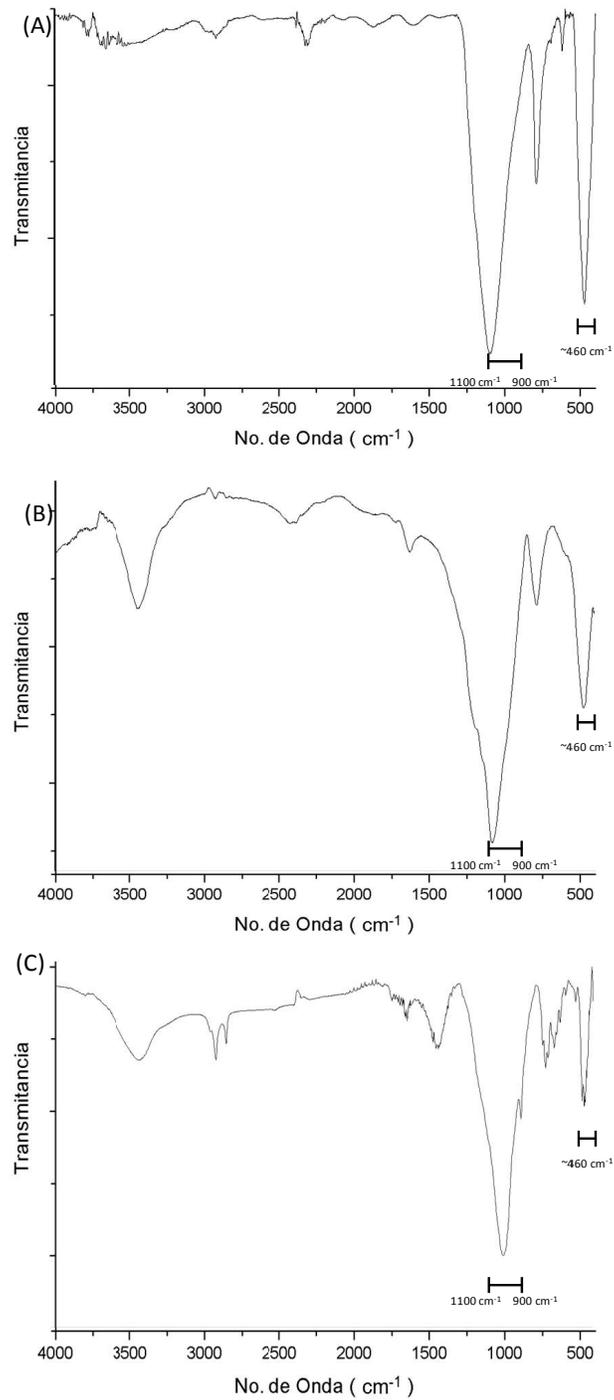
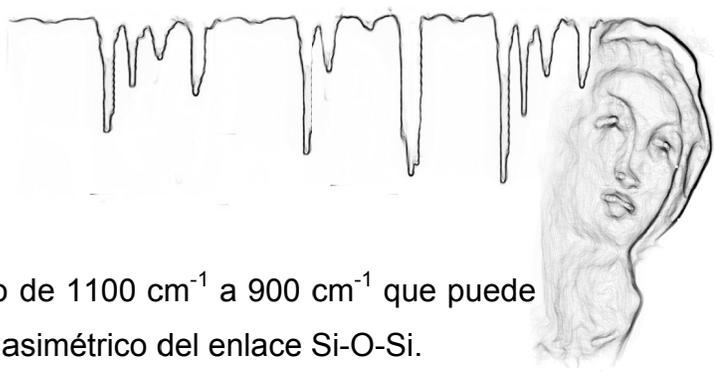


Figura 14. Espectros del grupo “silicatos”: (A) cinabrio (ver 1.2.1.7.3), (B) esmalte (ver 1.2.1.2.4), (C) lapislázuli (ver 1.2.1.2.5)



Perfil de absorción:

- Una banda muy intensa dentro del intervalo de 1100 cm^{-1} a 900 cm^{-1} que puede asignarse a las vibraciones de estiramiento asimétrico del enlace Si-O-Si.
- Una banda alrededor de 460 cm^{-1} que puede asignarse a las vibraciones de torsión del enlace Si-O-Si.



5.1.2.4 Óxido de estaño

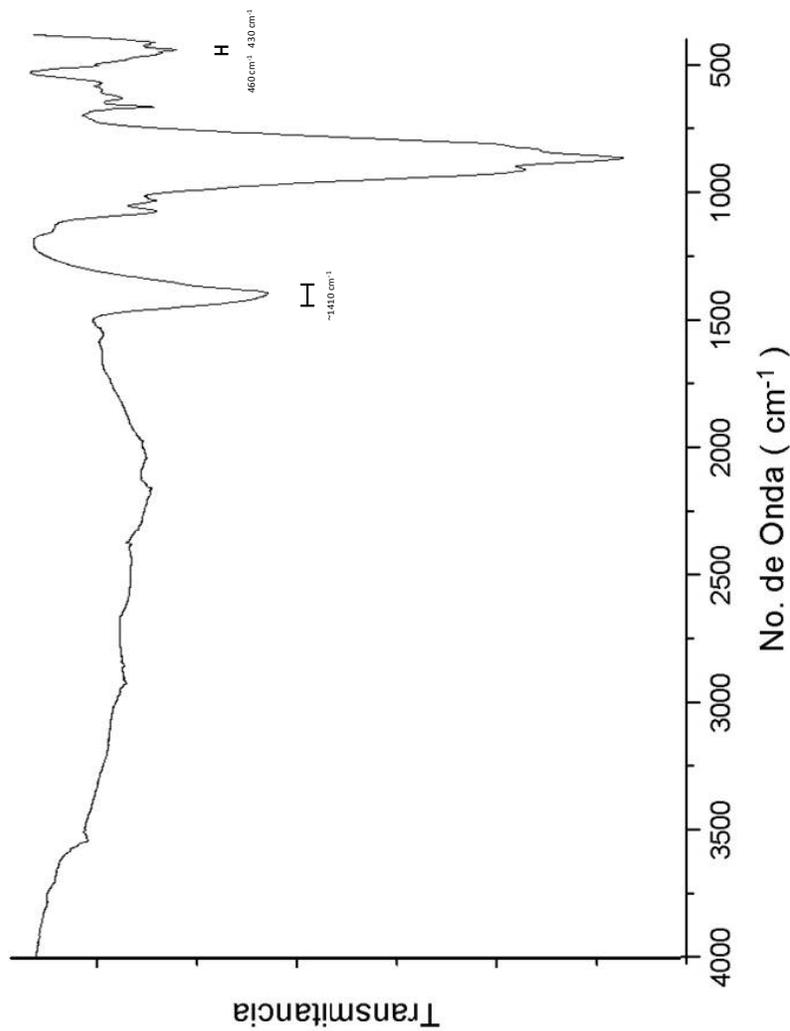


Figura 15. Espectro de amarillo de plomo-estaño tipo II (ver 1.2.1.1.1)

Perfil de absorción:

- Una banda de mediana intensidad cerca de 1410 cm^{-1} que puede asignarse a las vibraciones del enlace Sn-O.
- Dos bandas de poca intensidad cerca de 460 cm^{-1} y 430 cm^{-1} que se reportan en la literatura como características de este pigmento sin determinar a qué vibración se adjudican.

5.1.2.5 Óxido de plomo

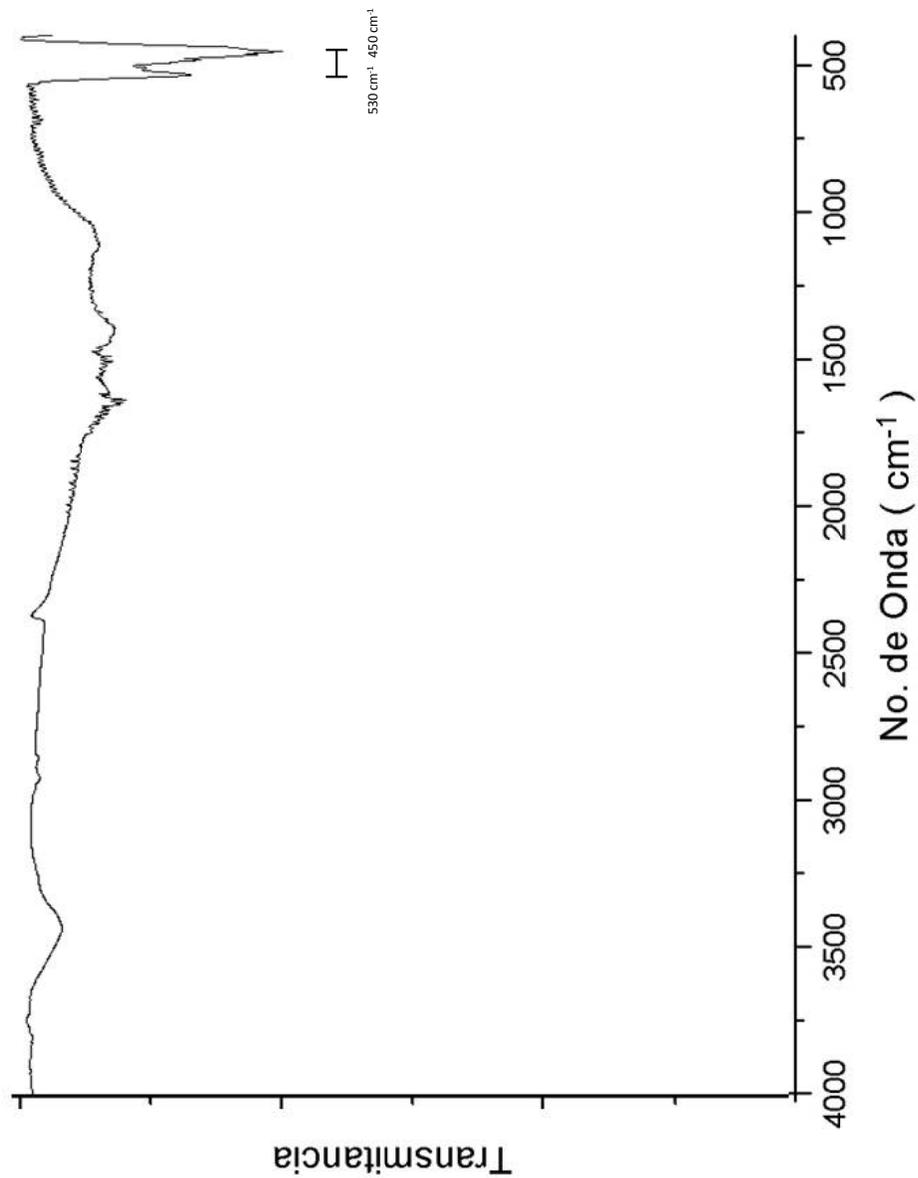


Figura 16. Espectro de azarcón (ver 1.2.1.7.2)

Perfil de absorción:

- Dos bandas de mediana intensidad cerca de 530 cm^{-1} y 450 cm^{-1} que pueden asignarse a las vibraciones del enlace Pb-O en un óxido de plomo.



5.1.2.6 Carboxilato

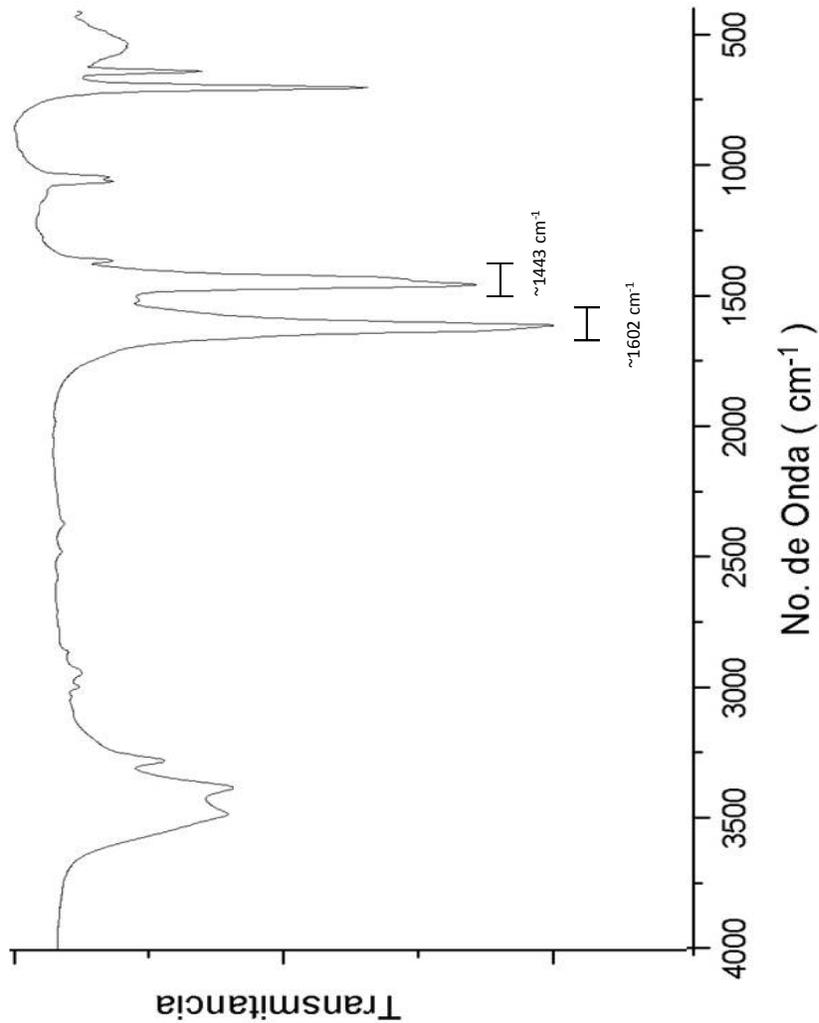


Figura 17. Espectro de acetato de cobre (ver 1.2.1.2.1)

Perfil de absorción:

- Dos bandas muy intensas cerca de 1602 cm^{-1} y 1443 cm^{-1} que pueden asignarse a las vibraciones de estiramiento simétrico y asimétrico del ion carboxilato respectivamente.

Nota: Es de hacer notar que, a pesar del nombre, este pigmento no presenta el ión acetato.



5.1.2.7 Hidrocarburos con enlaces sencillos

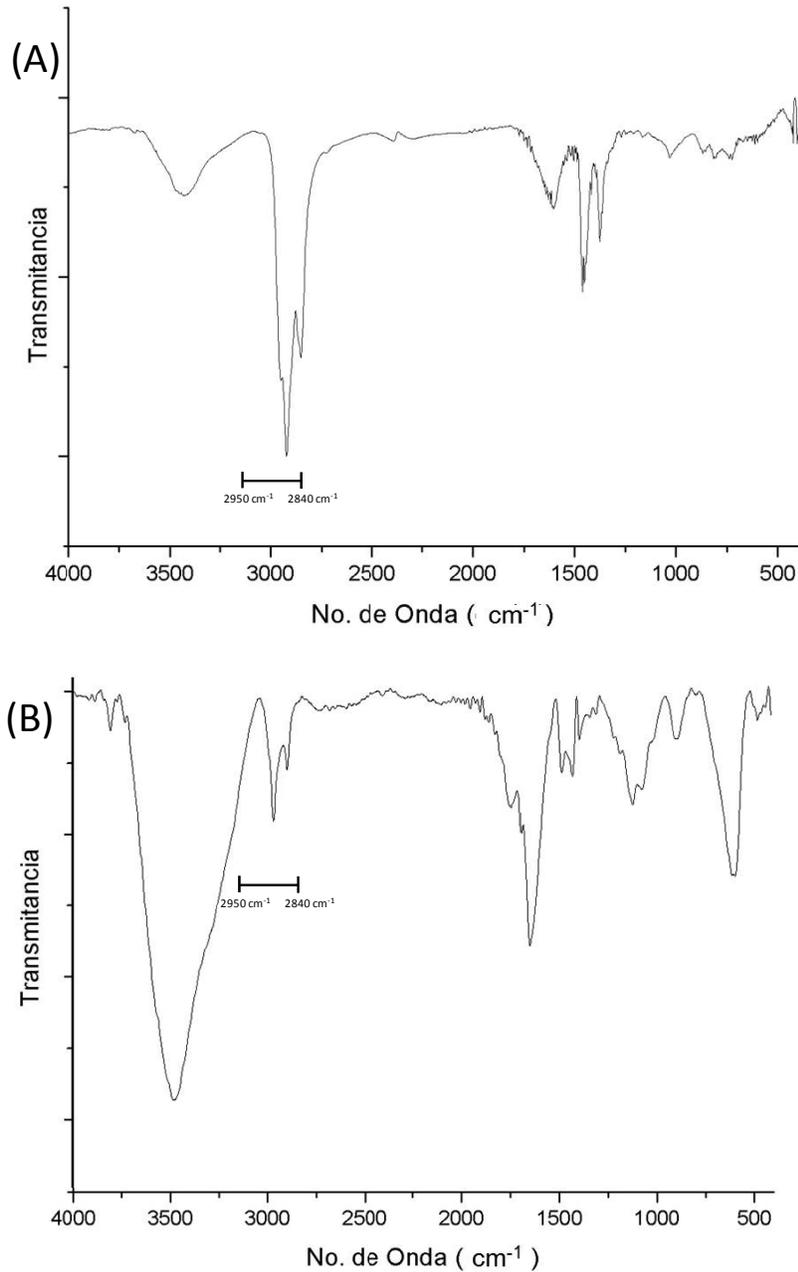


Figura 18. Espectros del grupo “hidrocarburos con enlaces sencillos”: (A) betún de Judea (ver 1.2.1.6.1), (B) negro de humo (ver 1.2.1.5.2)

Perfil de absorción:

- Un grupo de bandas de mediana intensidad entre 2950 cm^{-1} y 2840 cm^{-1} que pueden asignarse a las vibraciones de estiramiento del enlace C-H de alcanos.

5.1.2.8 Óxidos de hierro con silicatos

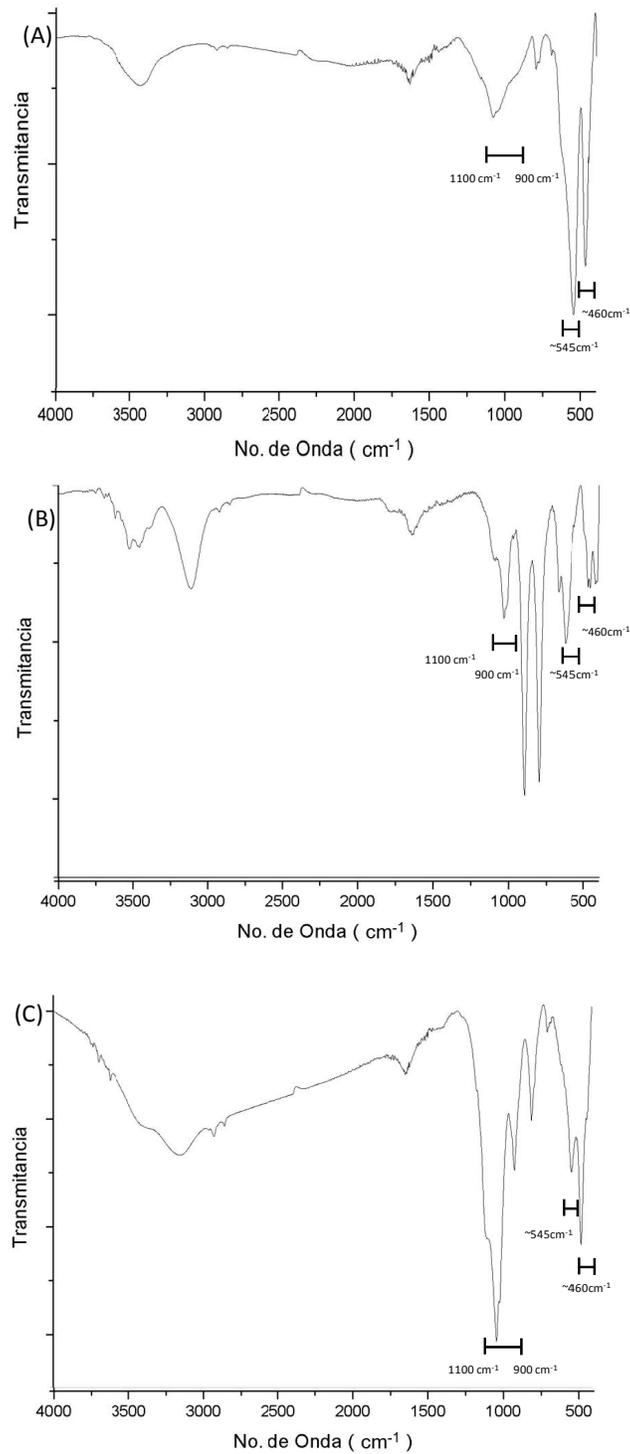
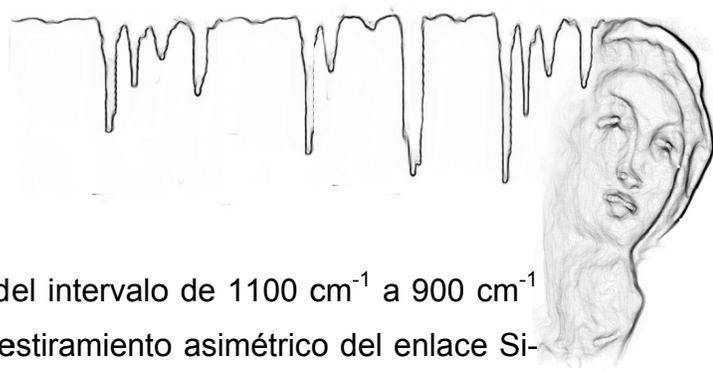


Figura 19. Espectros del grupo “óxidos de hierro con silicatos”: (A) almagre (ver 1.2.1.7.1), (B) ocre (ver 1.2.1.1.2), (C) ocre alemán oscuro (ver 1.2.1.6.2)



Perfil de absorción:

- Una banda de mediana intensidad dentro del intervalo de 1100 cm^{-1} a 900 cm^{-1} que puede asignarse a las vibraciones de estiramiento asimétrico del enlace Si-O-Si.
- Dos bandas de mediana intensidad cerca de 545 cm^{-1} y 460 cm^{-1} que pueden asignarse a las vibraciones de estiramiento del enlace Fe-O.



5.1.2.9 Óxidos de hierro con óxidos de manganeso

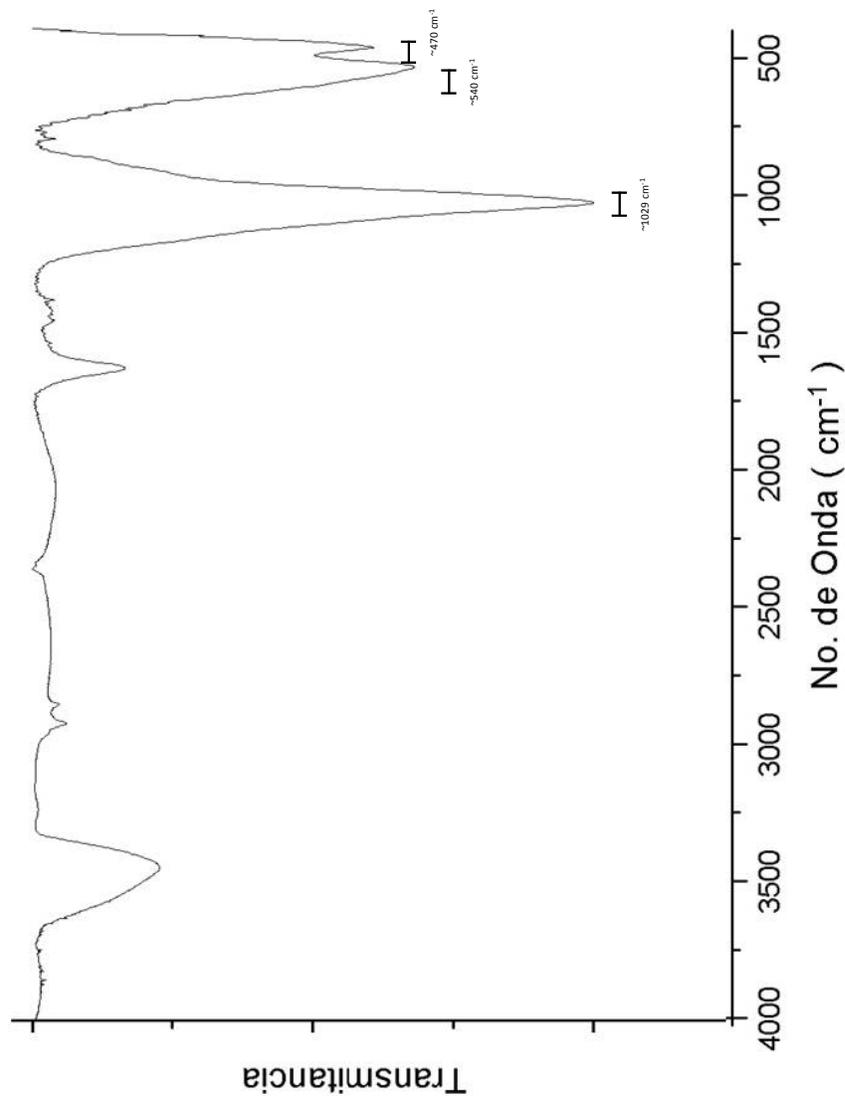


Figura 20. Espectro de sombra tostada de Chipre (ver 1.2.1.6.4)

Perfil de absorción:

- Una banda muy intensa cerca de 1029 cm^{-1} que puede asignarse a la banda característica de vibración del dióxido de manganeso.
- Una banda alrededor de 540 cm^{-1} y otra cerca de 470 cm^{-1} , estas pueden asignarse a las vibraciones de estiramiento del enlace Fe-O.



5.1.2.10 Carbonatos con óxidos de cobre

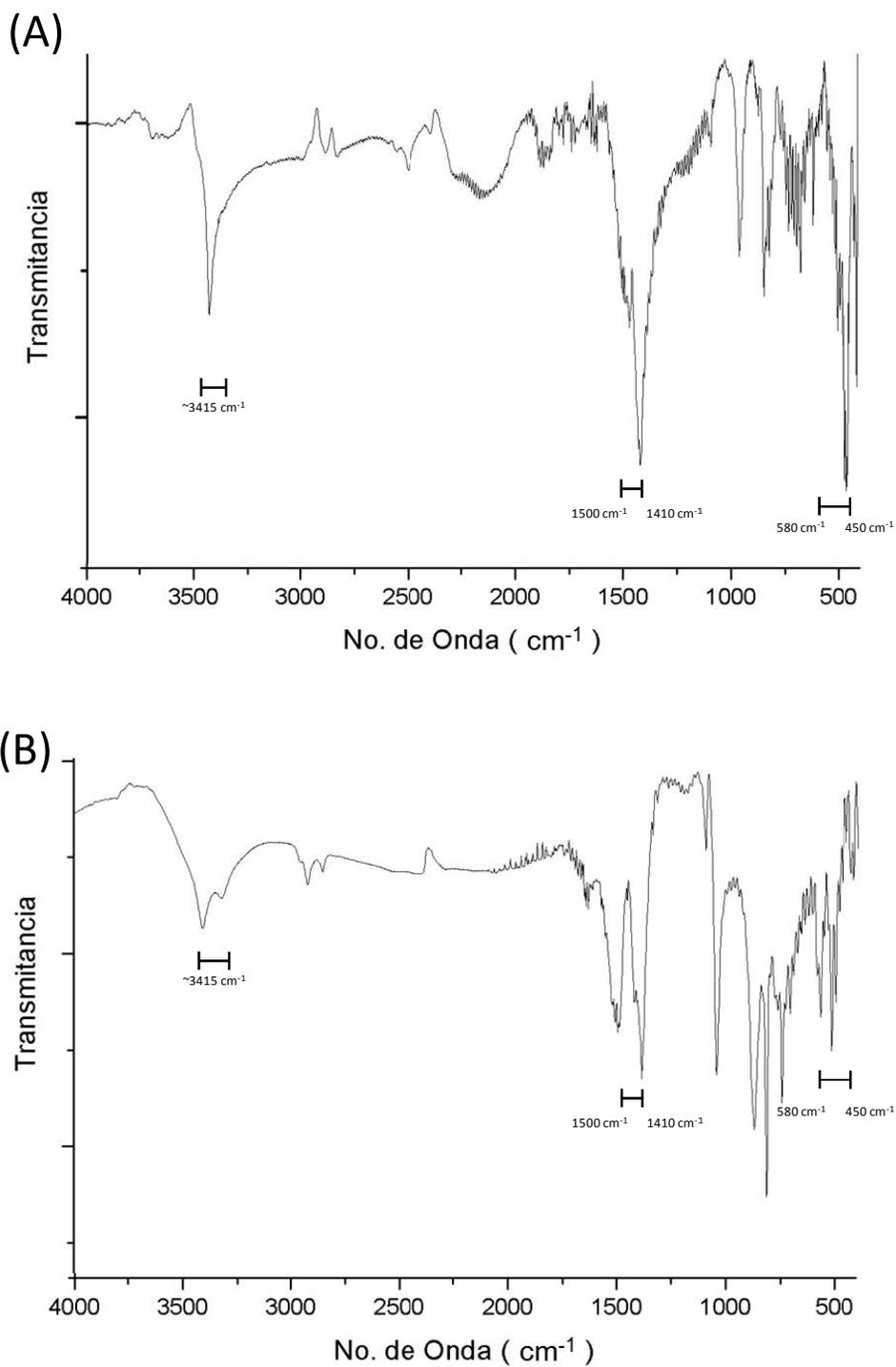
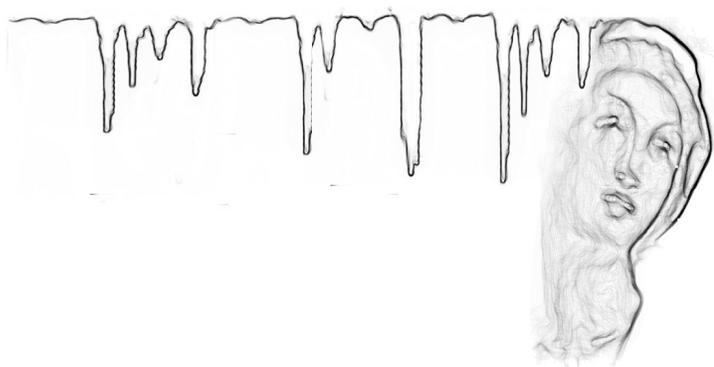
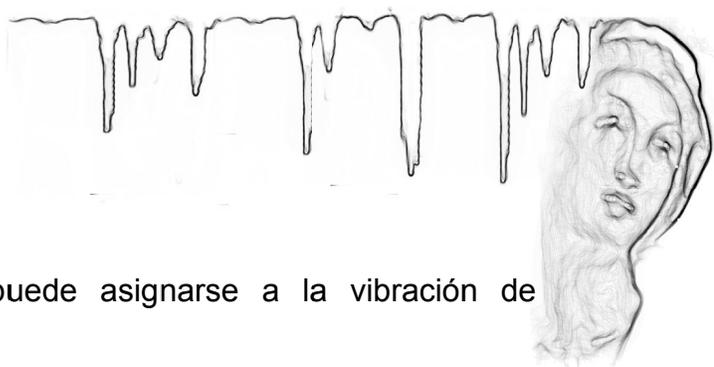


Figura 21. Espectros del grupo “carbonatos con óxidos de cobre”: (A) azurita oscura (ver 1.2.1.2.3), (B) malaquita (ver 1.2.1.8.1)





Perfil de absorción:

- Una banda cerca de 3415 cm^{-1} que puede asignarse a la vibración de estiramiento del enlace O-H de hidroxilo.
- Dos bandas de mediana intensidad dentro del intervalo de 1500 cm^{-1} a 1410 cm^{-1} que pueden asignarse a las vibraciones de estiramiento del ión carbonato.
- Bandas dentro del intervalo de 580 cm^{-1} a 450 cm^{-1} que pueden asignarse a las vibraciones de estiramiento del enlace Cu-O.



5.1.2.11 Carbonatos con fosfatos

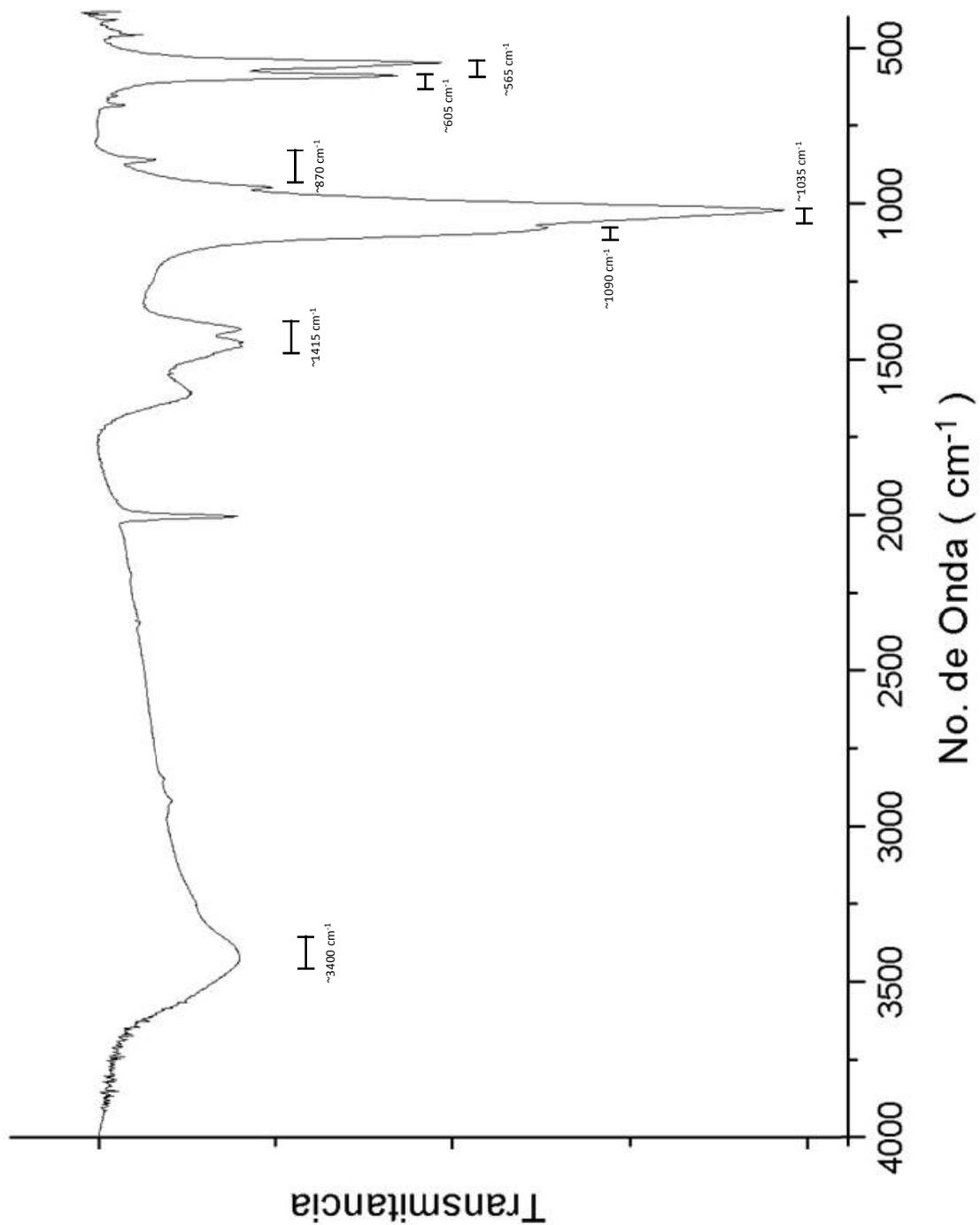
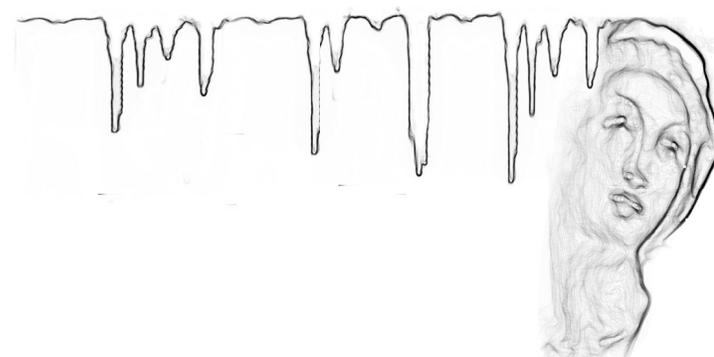
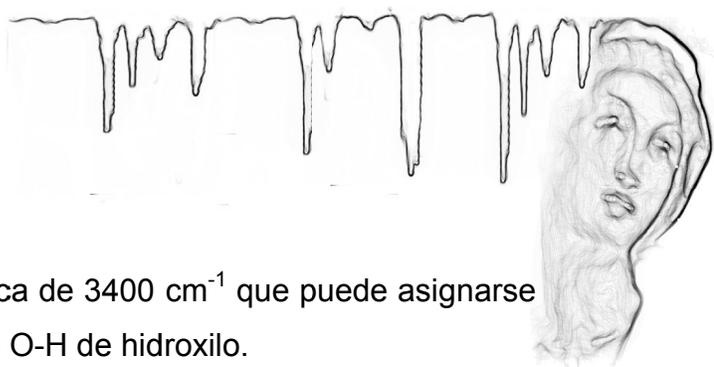


Figura 22. Espectro de negro marfil de huesos (ver 1.2.1.5.3)





Perfil de absorción:

- Una banda ancha y de poca intensidad cerca de 3400 cm^{-1} que puede asignarse a las vibraciones de estiramiento del enlace O-H de hidroxilo.
- Bandas de poca intensidad cerca de 1415 cm^{-1} y 870 cm^{-1} que pueden asignarse a las vibraciones características del ion carbonato.
- Dos bandas muy intensas alrededor de 1090 cm^{-1} y 1035 cm^{-1} , una de poca intensidad alrededor de 605 cm^{-1} y una de mediana intensidad alrededor de 565 cm^{-1} , estas pueden asignarse a las vibraciones de estiramiento características del ion fosfato.



5.1.2.12 Silicatos con aluminosilicatos

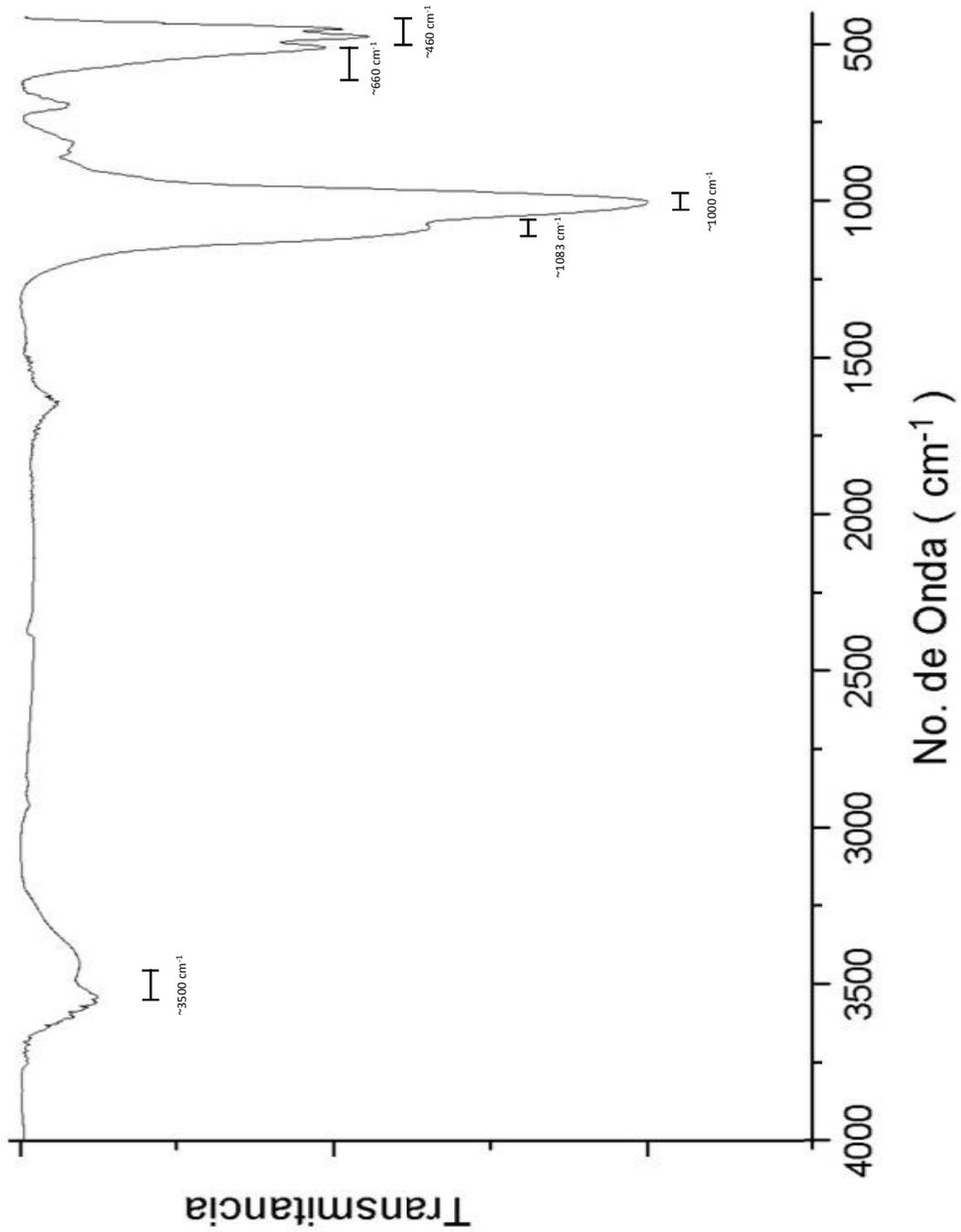
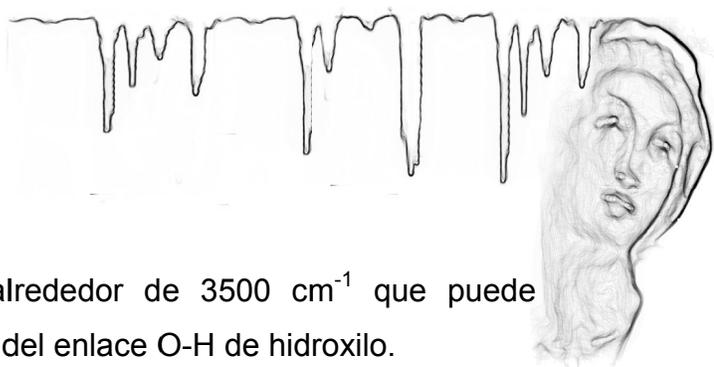


Figura 23. Espectro de tierra verde de Bohemia (ver 1.2.1.8.3)





Perfil de absorción:

- Una banda ancha de poca intensidad alrededor de 3500 cm^{-1} que puede asignarse a las vibraciones de estiramiento del enlace O-H de hidroxilo.
- Una banda de mediana intensidad cerca de 1083 cm^{-1} que puede asignarse a la vibración de estiramiento del enlace Si-O-Si.
- Una banda muy intensa alrededor de 1000 cm^{-1} y dos bandas de mediana intensidad cerca de 660 cm^{-1} y 460 cm^{-1} que pueden asignarse a las vibraciones características del enlace Si-O-Al.



5.1.2.13 Hidrocarburos con enlaces sencillos y grupo carbonilo

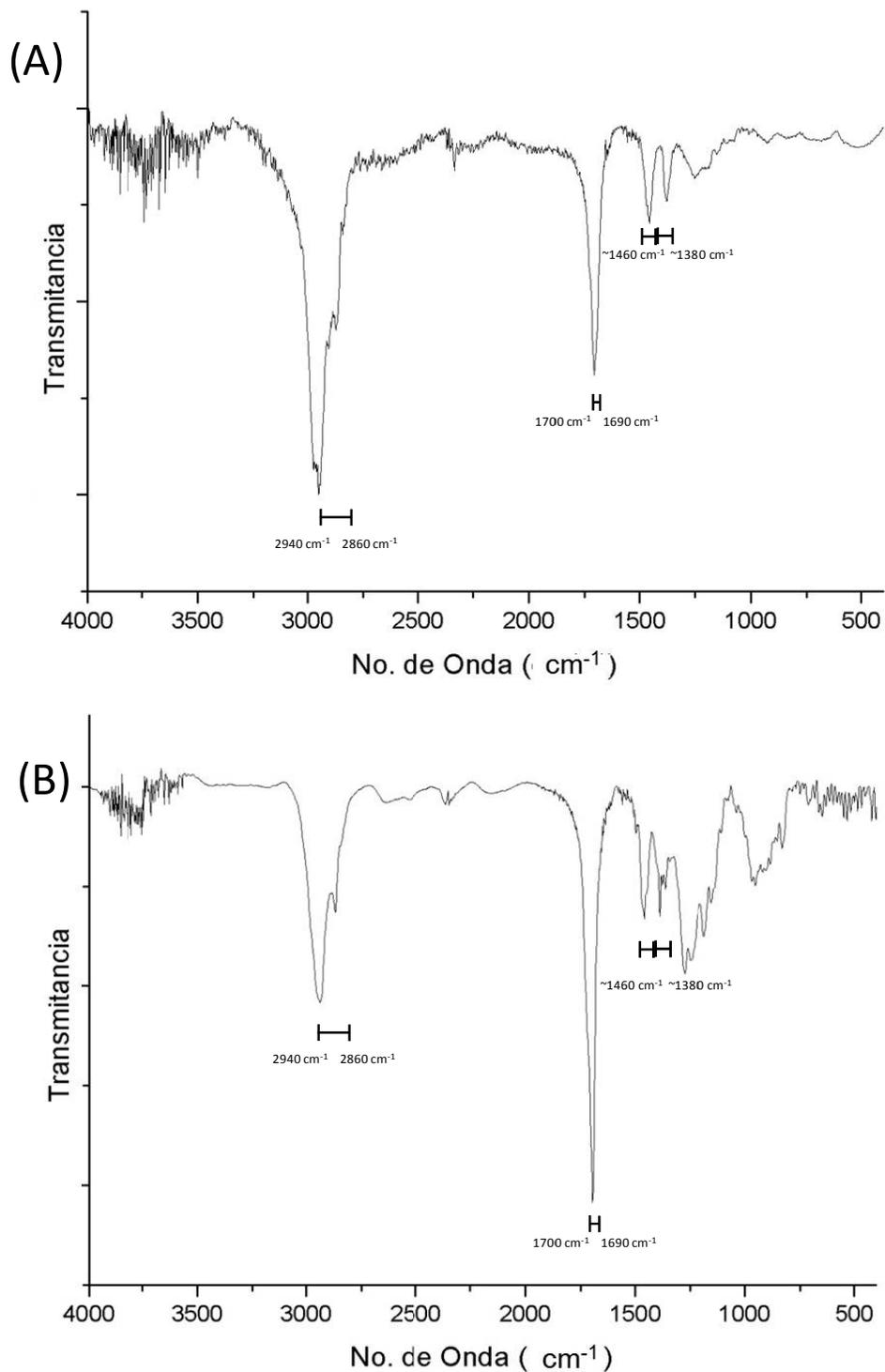
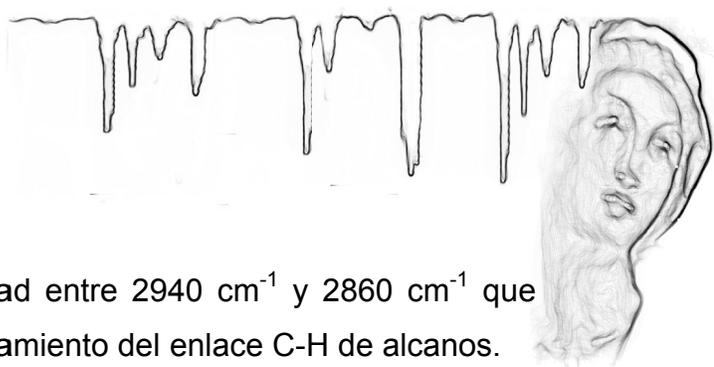


Figura 24. Espectros del grupo “hidrocarburos con enlaces sencillos y grupo carbonilo”:
(A) almáciga (ver 1.2.3.3), (B) colofonia (ver 1.2.3.3)



Perfil de absorción:

- Un grupo de bandas de mediana intensidad entre 2940 cm^{-1} y 2860 cm^{-1} que pueden asignarse a las vibraciones de estiramiento del enlace C-H de alcanos.
- Una banda muy intensa entre 1700 cm^{-1} y 1690 cm^{-1} que puede asignarse a la vibración de estiramiento del enlace C=O del grupo carbonilo.
- Dos bandas de poca intensidad cerca de 1460 cm^{-1} y 1380 cm^{-1} que pueden asignarse a las vibraciones de torsión de metilos y metilenos.



5.1.2.14 Hidrocarburos con enlaces dobles aromáticos y grupo carbonilo

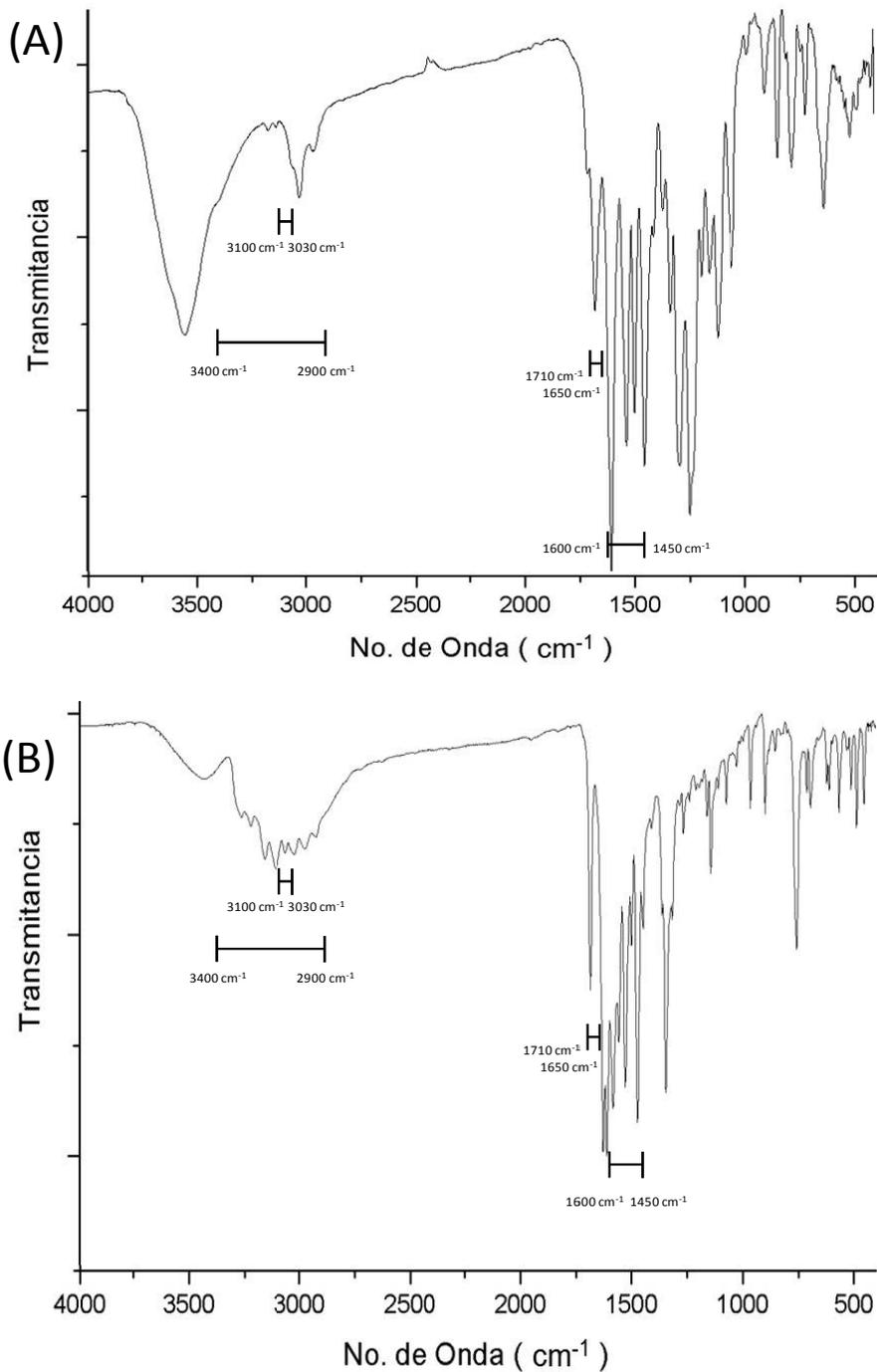
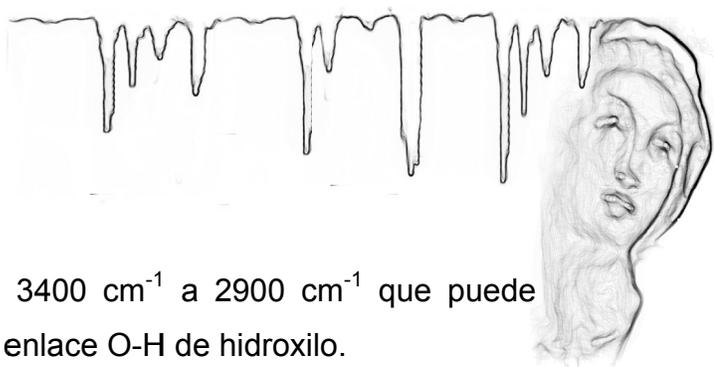


Figura 25. Espectros del grupo “hidrocarburos con enlaces dobles aromáticos y grupo carbonilo”: (A) carmín de alizarina (ver 1.2.2.2.1), (B) laca de Rubia (ver 1.2.2.2.3)



Perfil de absorción:

- Una banda ancha dentro del intervalo de 3400 cm^{-1} a 2900 cm^{-1} que puede asignarse a la vibración de estiramiento del enlace O-H de hidroxilo.
- Una banda de poca intensidad entre 3100 cm^{-1} y 3030 cm^{-1} que puede asignarse a las vibraciones de estiramiento asimétrico del enlace C-H de insaturaciones aromáticas.
- Una banda de mediana intensidad aproximadamente entre 1710 cm^{-1} y 1650 cm^{-1} que puede asignarse a la vibración de estiramiento del enlace C=O del grupo carbonilo.
- Cuatro bandas de alta intensidad entre 1600 cm^{-1} y 1450 cm^{-1} que pueden asignarse a las vibraciones de estiramiento del enlace C=C del anillo aromático.



5.1.2.15 Silicatos con óxidos de hierro y óxidos de manganeso

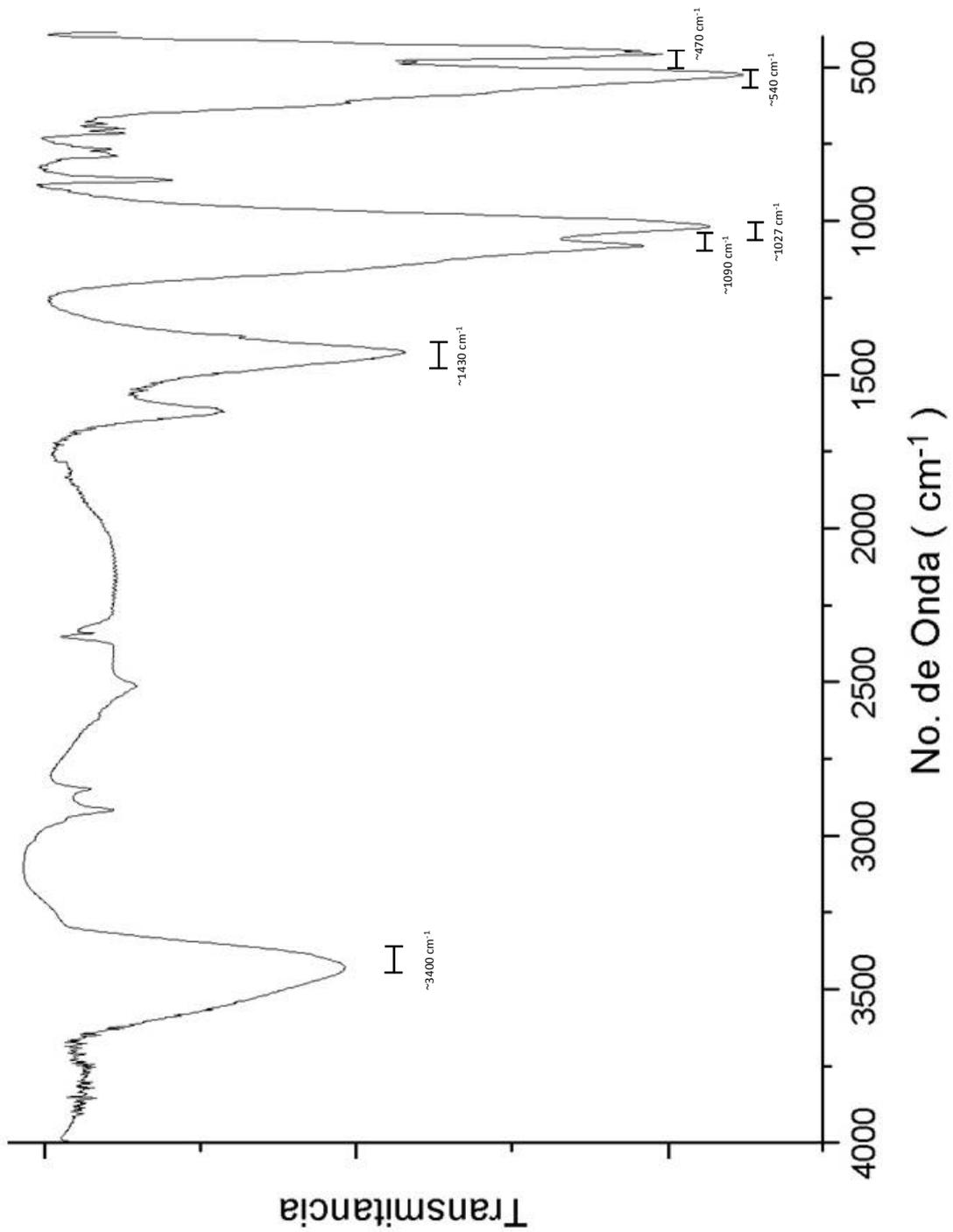
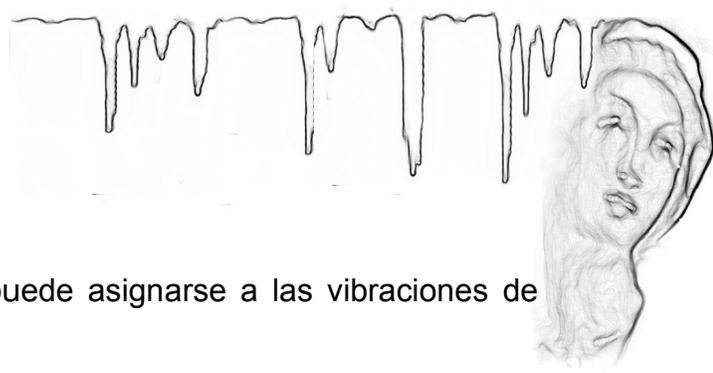


Figura 26. Espectro de tierra de sienna tostada oscura (ver 1.2.1.6.5)



Perfil de absorción:

- Una banda alrededor de 3400 cm^{-1} que puede asignarse a las vibraciones de estiramiento del enlace O-H de hidroxilo.
- Una banda de mediana intensidad alrededor de 1430 cm^{-1} que puede asignarse a las vibraciones de estiramiento del ion carbonato.
- Una banda muy intensa cerca de 1090 cm^{-1} que puede asignarse a las vibraciones de estiramiento del enlace Si-O-Si.
- Una banda muy intensa alrededor de 1027 cm^{-1} que puede asignarse a la banda característica de vibración del dióxido de manganeso.
- Una banda alrededor de 540 cm^{-1} y otra cerca de 470 cm^{-1} , estas pueden asignarse a las vibraciones de estiramiento del enlace Fe-O.



5.1.2.16 Carbonatos con silicatos y óxidos de hierro

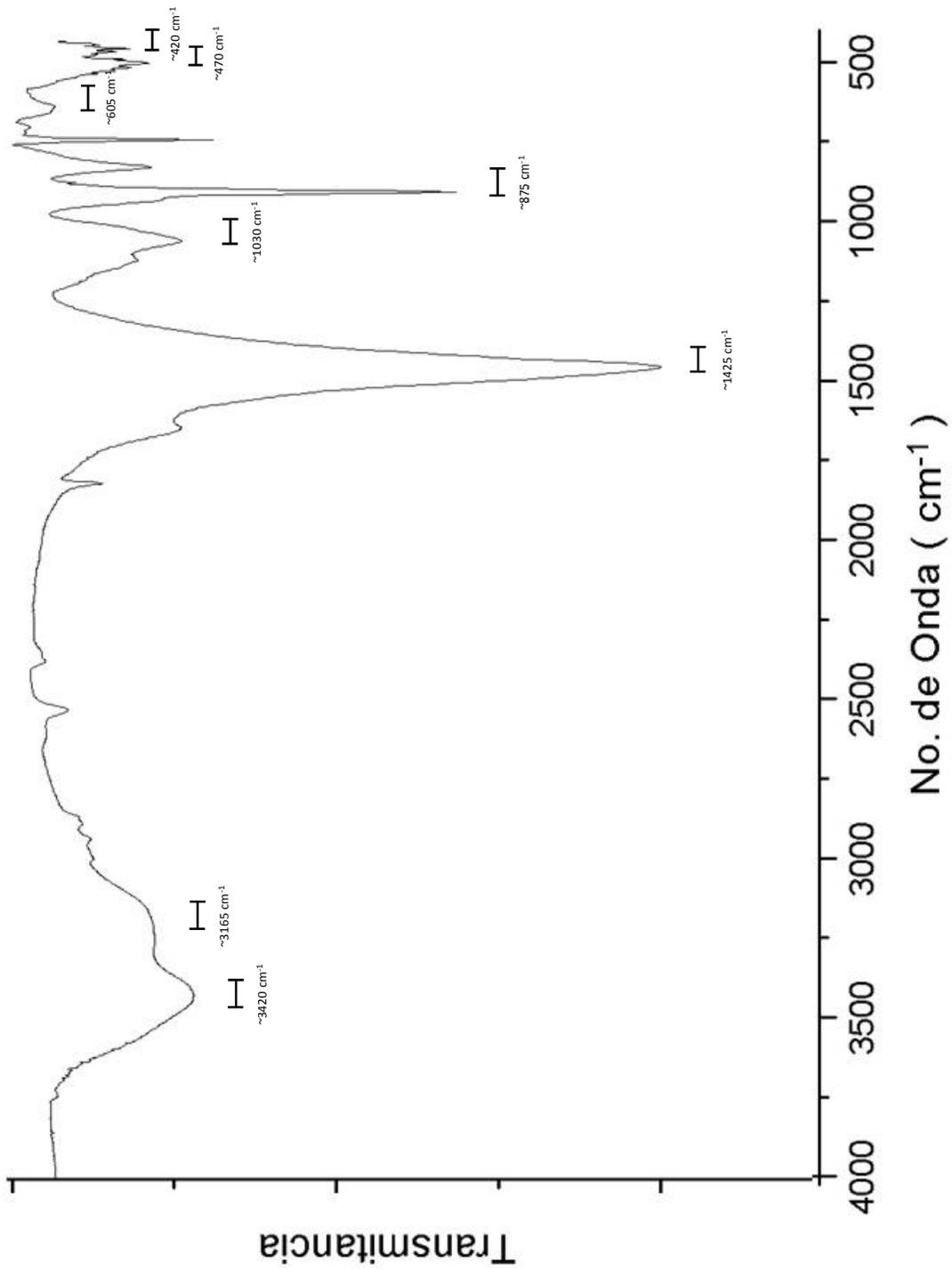
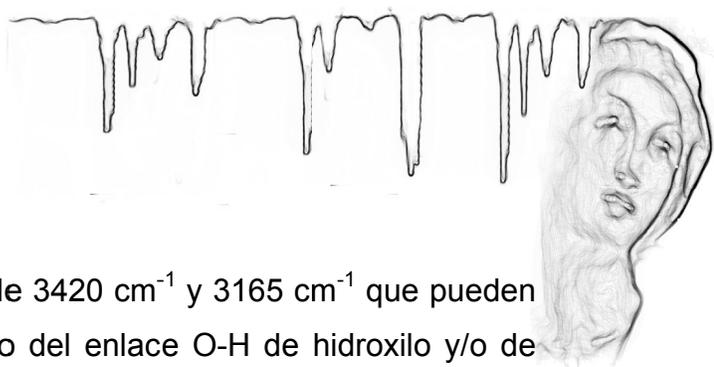


Figura 27. Espectro de ocre oscuro (ver 1.2.1.6.3)



Perfil de absorción:

- Dos bandas de mediana intensidad cerca de 3420 cm^{-1} y 3165 cm^{-1} que pueden asignarse a las vibraciones de estiramiento del enlace O-H de hidroxilo y/o de agua de cristalización.
- Una banda muy intensa alrededor de 1425 cm^{-1} que puede asignarse a las vibraciones de estiramiento del ion carbonato.
- Una banda de poca intensidad cerca de 1030 cm^{-1} que puede asignarse a las vibraciones de estiramiento del enlace Si-O-Si.
- Una banda de mediana intensidad alrededor de 875 cm^{-1} que puede asignarse a las vibraciones de estiramiento del ion carbonato.
- Tres bandas de poca intensidad cerca de 605 cm^{-1} , 470 cm^{-1} y 420 cm^{-1} que pueden asignarse a las vibraciones de estiramiento del enlace Fe-O.



5.1.2.17 Hidrocarburos con enlaces sencillos, grupo carbonilo y carboxilato

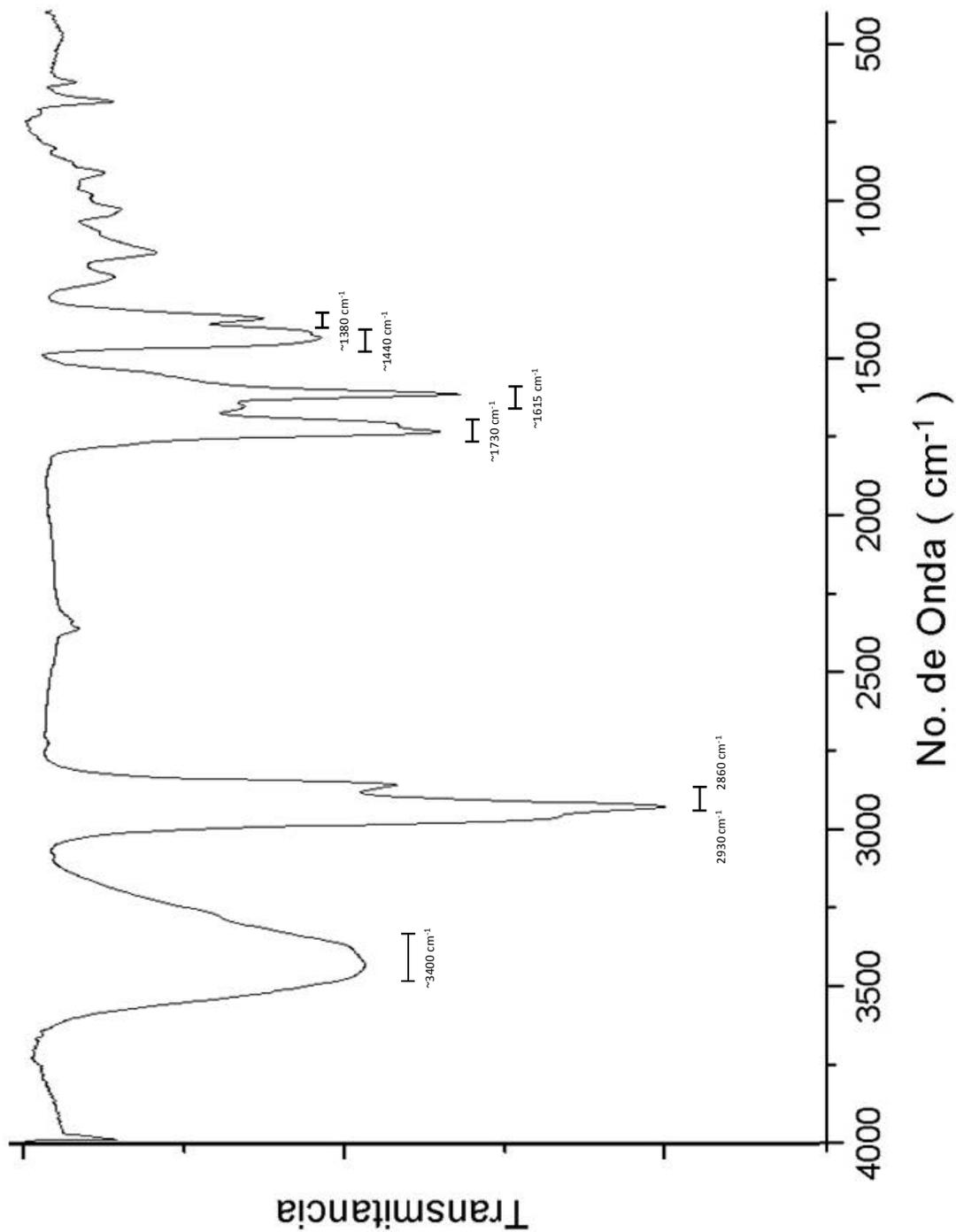
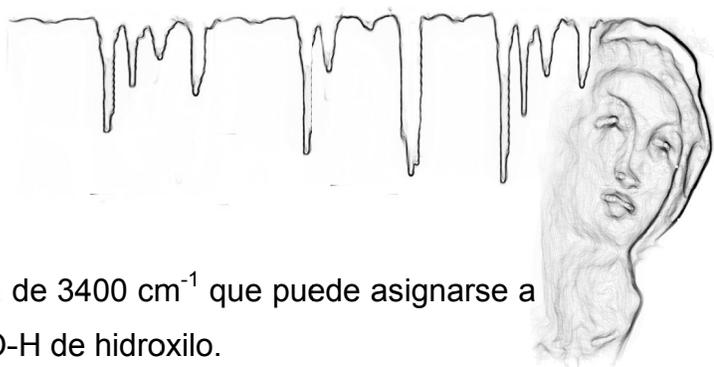


Figura 28. Espectro de resinato de cobre (ver 1.2.1.8.2)



Perfil de absorción:

- Una banda ancha de poca intensidad cerca de 3400 cm^{-1} que puede asignarse a las vibraciones de estiramiento del enlace O-H de hidroxilo.
- Un grupo de bandas de mediana intensidad entre 2930 cm^{-1} y 2860 cm^{-1} que pueden asignarse a las vibraciones de estiramiento del enlace C-H de alcanos.
- Una banda de mediana intensidad aproximadamente en 1730 cm^{-1} que puede asignarse a la vibración de estiramiento del enlace C=O del grupo carbonilo.
- Dos bandas de mediana intensidad cerca de 1615 cm^{-1} y 1440 cm^{-1} que pueden asignarse a las vibraciones de estiramiento del ion carboxilato.
- Una banda de poca intensidad entre 1380 cm^{-1} que puede asignarse a las vibraciones de torsión de metilos.



5.1.2.18 Hidrocarburos con enlaces sencillos, enlaces dobles y grupo carbonilo

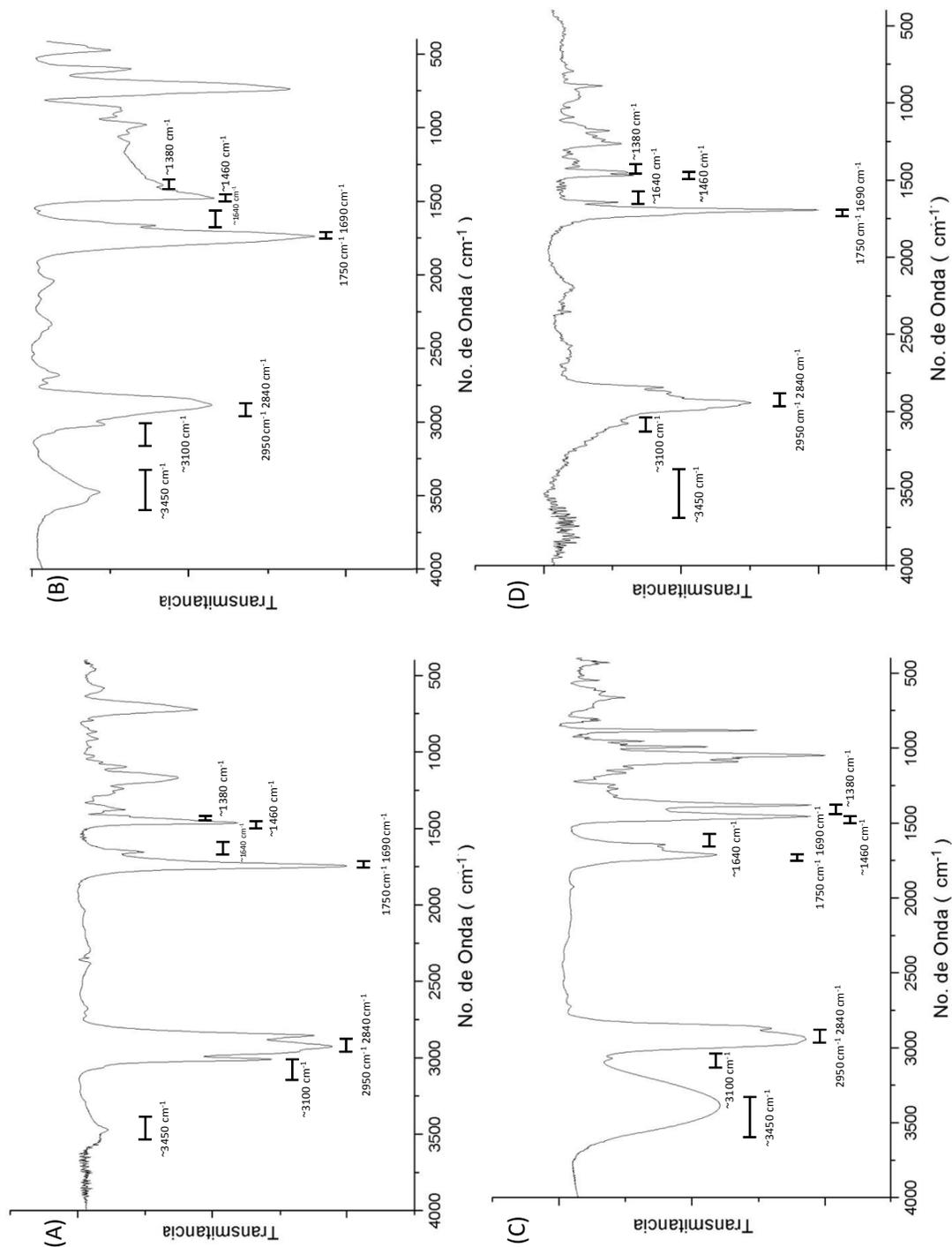


Figura 29. Espectros del grupo “hidrocarburos con enlaces sencillos, enlaces dobles y grupo carbonilo”: (A) aceite de linaza (ver 1.2.3.1), (B) aceite de nuez (ver 1.2.3.1), (C) copal (ver 1.2.3.3), (D) sandaraca (ver 1.2.3.3)





Perfil de absorción:

- Una banda ancha alrededor de 3450 cm^{-1} que puede asignarse a la vibración de estiramiento del enlace O-H de hidroxilo.
- Una banda de poca intensidad alrededor de 3100 cm^{-1} que puede asignarse a las vibraciones de estiramiento del enlace C-H de insaturaciones dadas por dobles enlaces.
- Un grupo de bandas de mediana intensidad entre 2950 cm^{-1} y 2840 cm^{-1} que pueden asignarse a las vibraciones de estiramiento del enlace C-H de alcanos.
- Una banda muy intensa aproximadamente entre 1690 cm^{-1} y 1750 cm^{-1} que puede asignarse a las vibraciones de estiramiento del enlace C=O del grupo carbonilo.
- Una banda de poca intensidad alrededor de 1640 cm^{-1} que puede asignarse a las vibraciones de estiramiento del enlace C=C de las insaturaciones alifáticas.
- Dos bandas de poca intensidad cerca de 1460 cm^{-1} y 1380 cm^{-1} que pueden asignarse a las vibraciones de torsión de metilos y metilenos.



5.1.2.19 Hidrocarburos con enlaces dobles aromáticos, grupo carbonilo y aminas

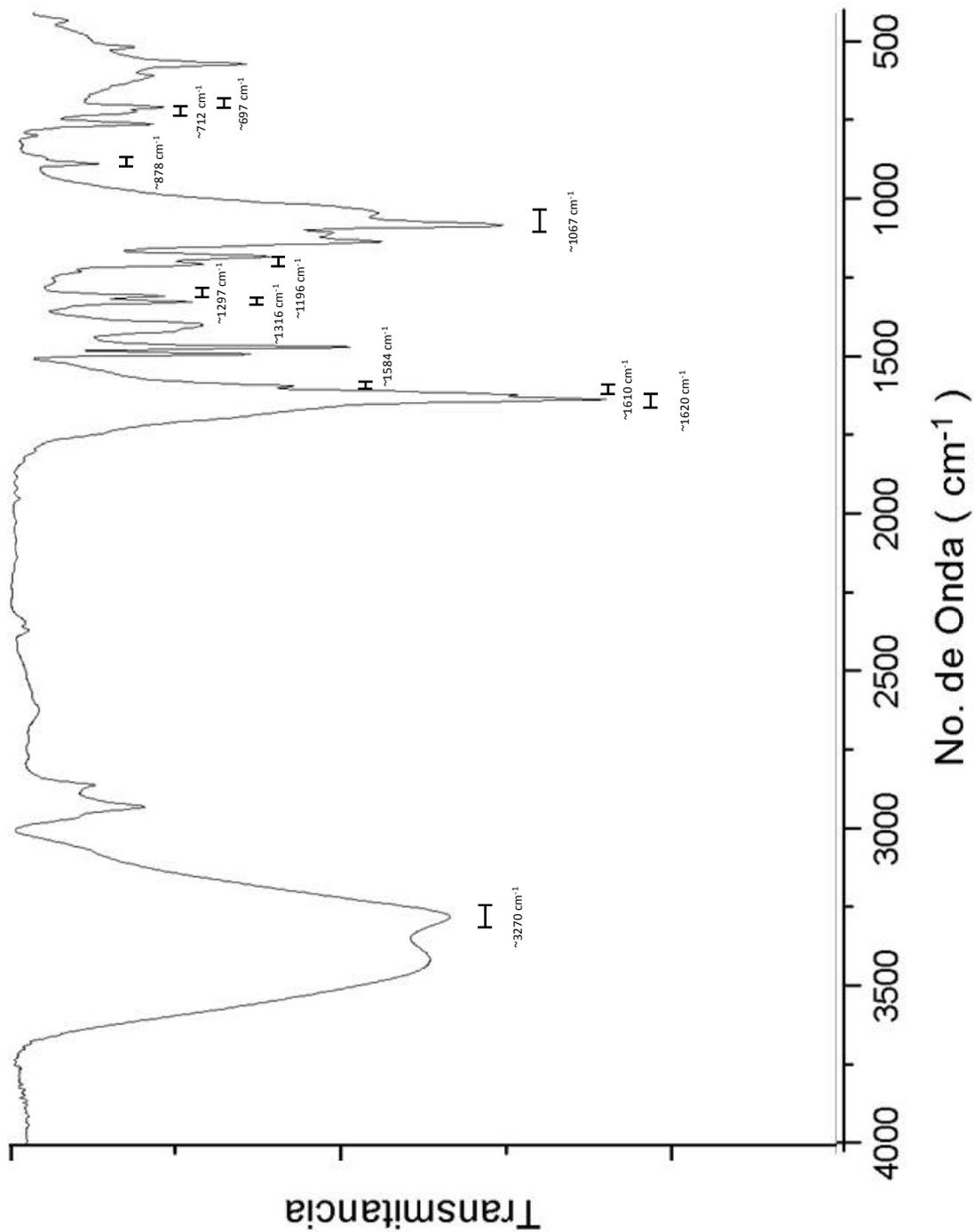
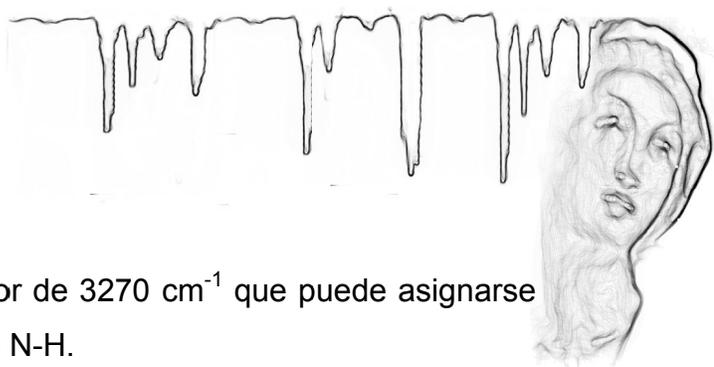


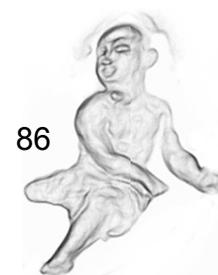
Figura 30. Espectro de azul añil índigo (ver 1.2.1.2.2)





Perfil de absorción:

- Una banda de mediana intensidad alrededor de 3270 cm^{-1} que puede asignarse a las vibraciones de estiramiento del enlace N-H.
- Una banda aproximadamente en 1620 cm^{-1} que puede asignarse a la vibración de estiramiento del enlace C=O del grupo carbonilo.
- Una banda intensa cerca de 1067 cm^{-1} que se puede deber a la vibración del anillo de cinco miembros del indol.
- Bandas de baja intensidad cerca de 1297 cm^{-1} , 1196 cm^{-1} , 878 cm^{-1} , 712 cm^{-1} y 697 cm^{-1} posiblemente sean contribuciones de las vibraciones del mismo anillo.
- Bandas alrededor de 1610 cm^{-1} , 1584 cm^{-1} , 1316 cm^{-1} , características en anillos aromáticos.



5.1.2.20 Hidrocarburos con enlaces sencillos, grupo carbonilo, éter y sulfatos

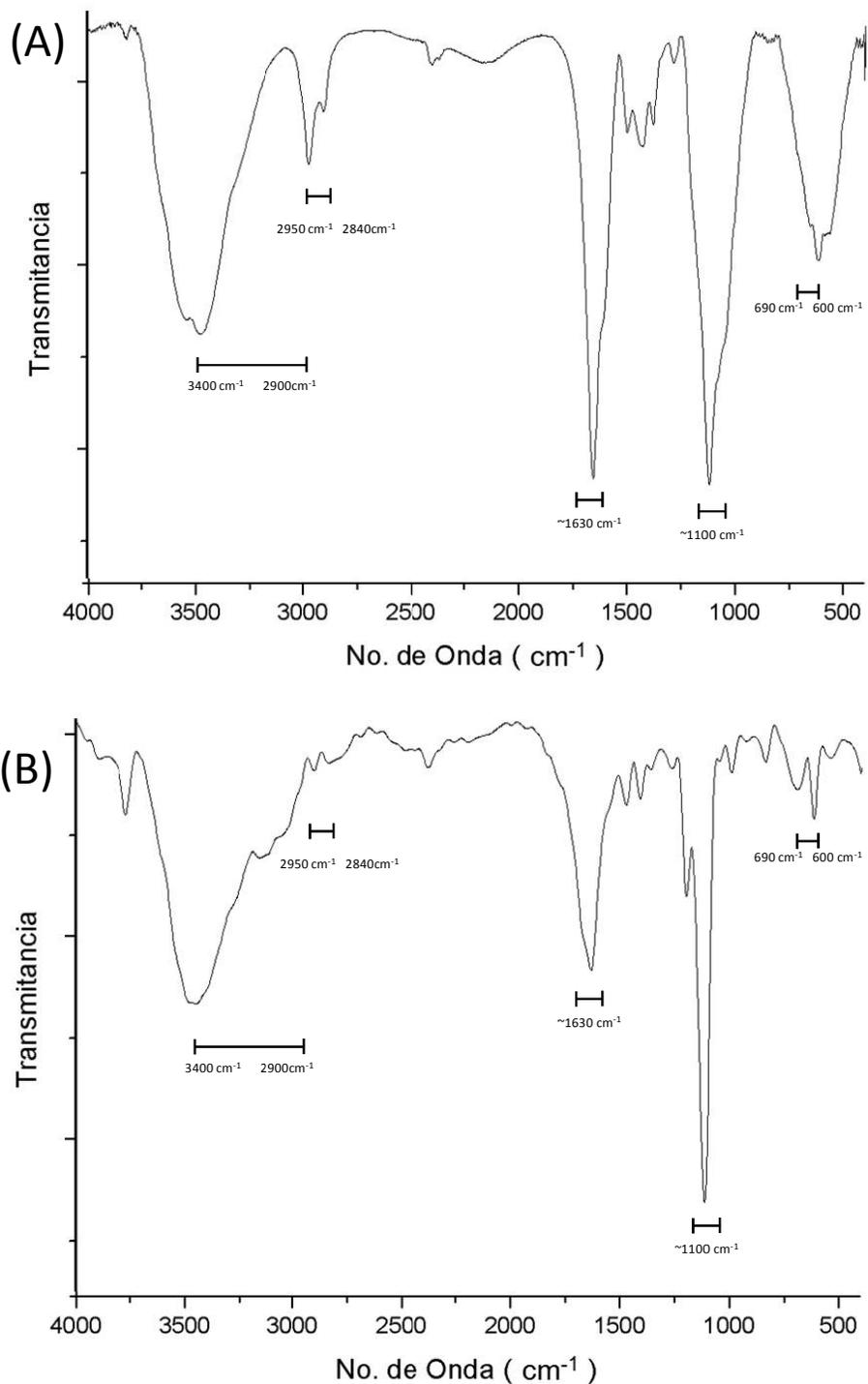
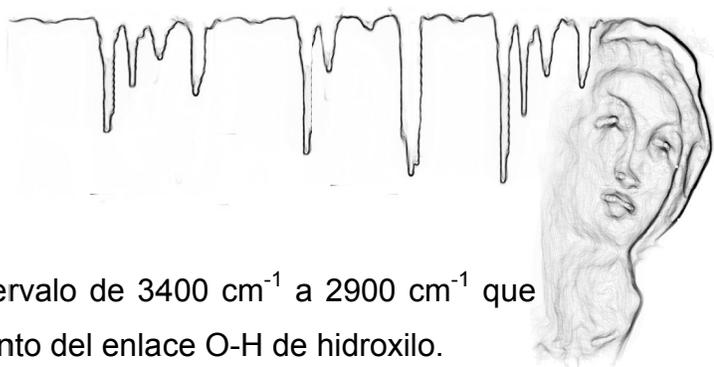


Figura 31. Espectros del grupo “hidrocarburos con enlaces sencillos, grupo carbonilo, éter y sulfatos”: (A) Gualda (Ancorca) (ver 1.2.2.1.1), (B) Gualda (Arzica) (ver 1.2.2.1.2)



Perfil de absorción:

- Una banda ancha e intensa dentro del intervalo de 3400 cm^{-1} a 2900 cm^{-1} que puede asignarse a la vibración de estiramiento del enlace O-H de hidroxilo.
- Grupo de bandas de poca intensidad entre 2950 cm^{-1} y 2840 cm^{-1} que pueden asignarse a las vibraciones de estiramiento del enlace C-H de alcanos.
- Una banda muy intensa aproximadamente en 1630 cm^{-1} que puede asignarse a la vibración de estiramiento del enlace C=O del grupo carbonilo.
- Una banda de alta intensidad cerca de 1100 cm^{-1} que puede asignarse a las vibraciones de estiramiento asimétrico del ion sulfato y/o a vibraciones de estiramiento asimétrico del enlace C-O-C de éter.
- Una banda entre de 690 cm^{-1} y 600 cm^{-1} que puede asignarse a las vibraciones de torsión del ion sulfato, proveniente del sustrato inorgánico.



5.1.2.21 Hidrocarburos con enlaces sencillos, enlaces dobles aromáticos, grupo carbonilo y sulfatos

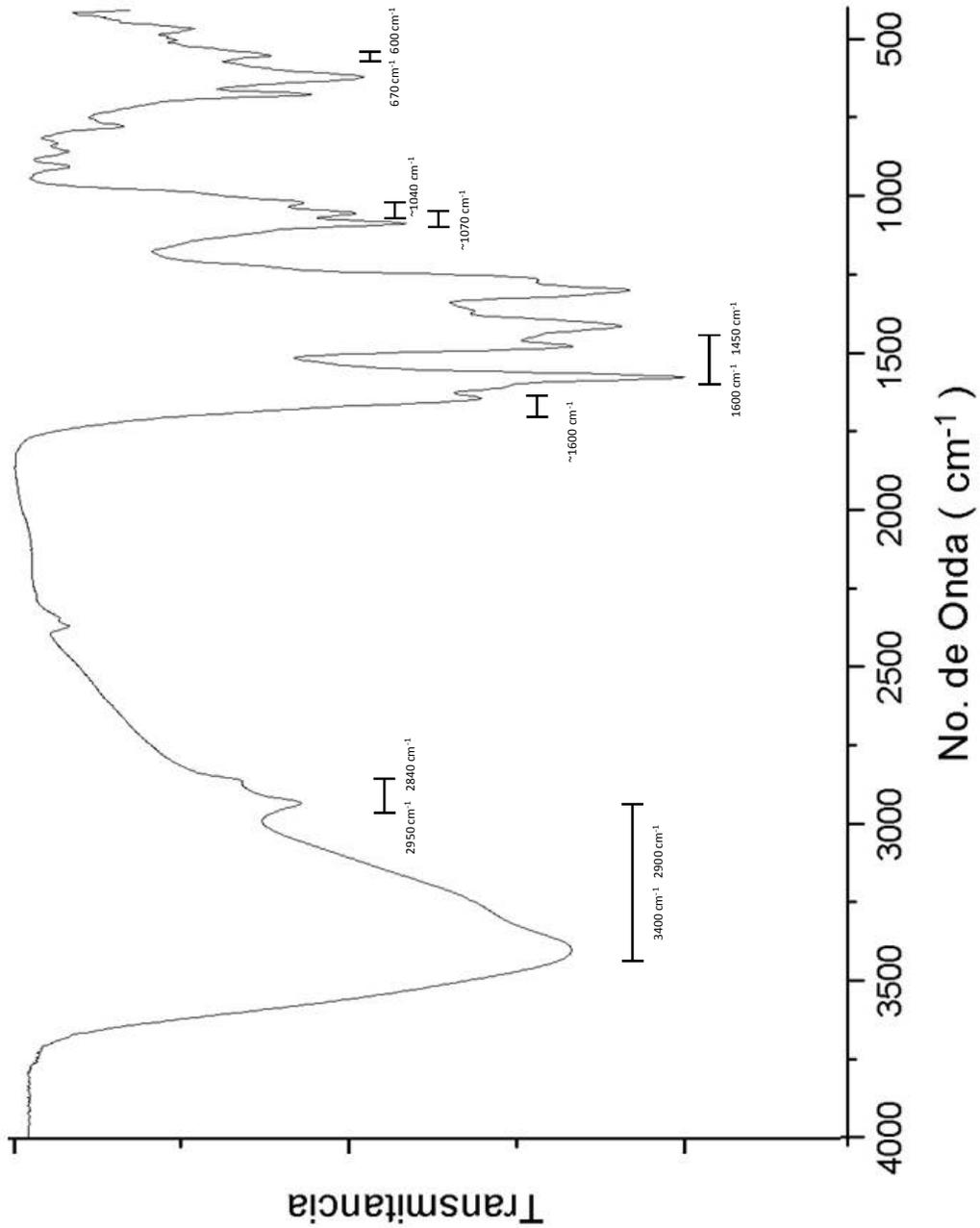
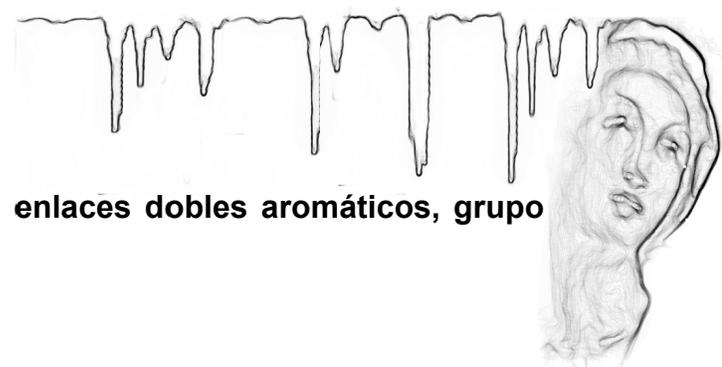
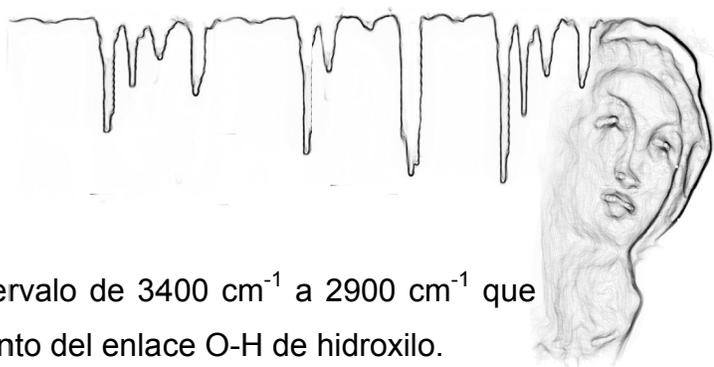


Figura 32. Espectro de laca carmín (ver 1.2.2.2)





Perfil de absorción:

- Una banda ancha e intensa dentro del intervalo de 3400 cm^{-1} a 2900 cm^{-1} que puede asignarse a la vibración de estiramiento del enlace O-H de hidroxilo.
- Grupo de bandas de mediana intensidad entre 2950 cm^{-1} y 2840 cm^{-1} que pueden asignarse a las vibraciones de estiramiento del enlace C-H de alcanos.
- Una banda cerca de 1660 cm^{-1} que puede asignarse a la vibración de estiramiento del enlace C=O del grupo carbonilo.
- Al menos tres bandas de alta intensidad entre 1600 cm^{-1} y 1450 cm^{-1} que pueden asignarse a las vibraciones de estiramiento del enlace C=C de una insaturación aromática.
- Una banda cerca de 1070 cm^{-1} que puede asignarse a la vibración de estiramiento del enlace C-OH de alcohol.
- Una banda mediana intensidad cerca de 1040 cm^{-1} que puede asignarse a las vibraciones de estiramiento asimétrico del ion sulfato.
- Dos bandas alrededor de 670 cm^{-1} y 600 cm^{-1} que pueden asignarse a las vibraciones de torsión del ion sulfato, proveniente del sustrato inorgánico.



5.1.2.22 Hidrocarburos con enlaces sencillos, enlaces dobles, grupo carbonilo y aminas

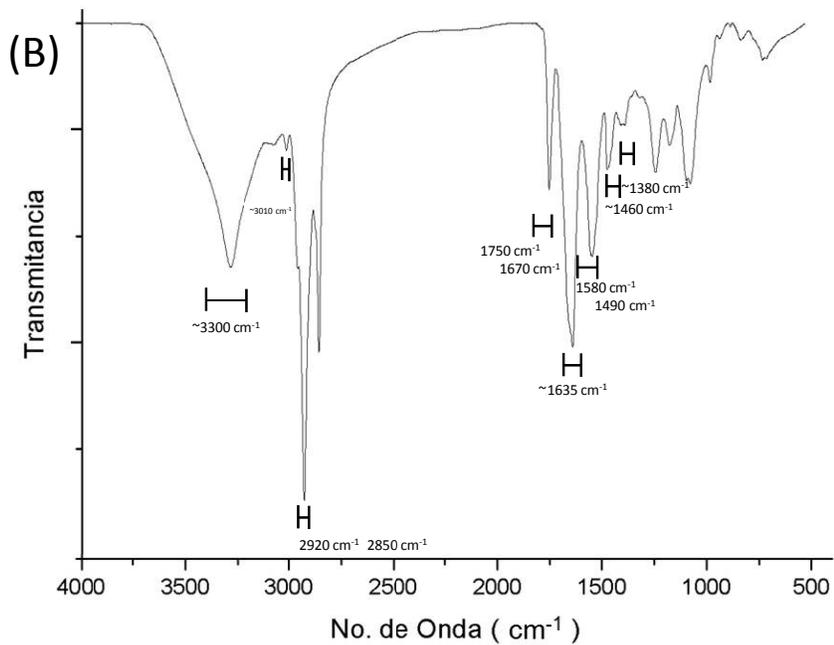
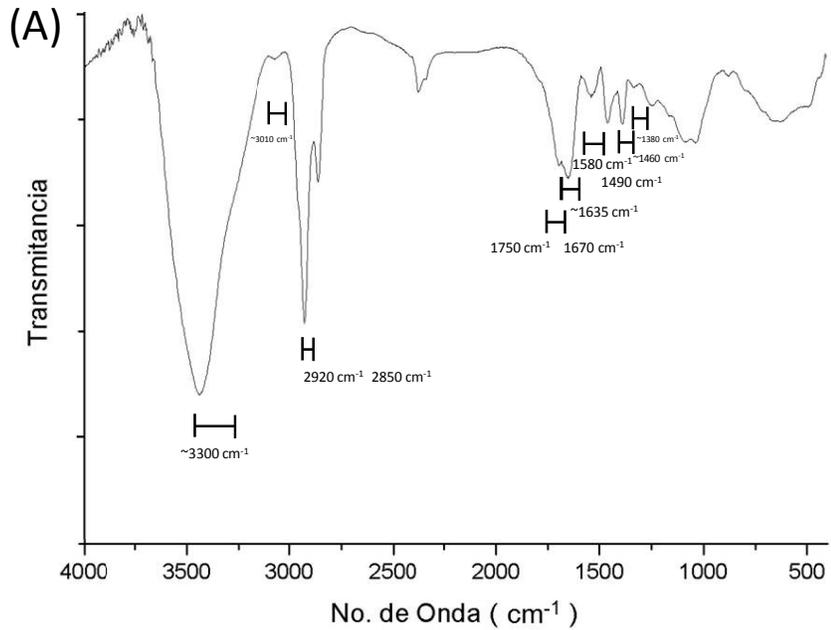
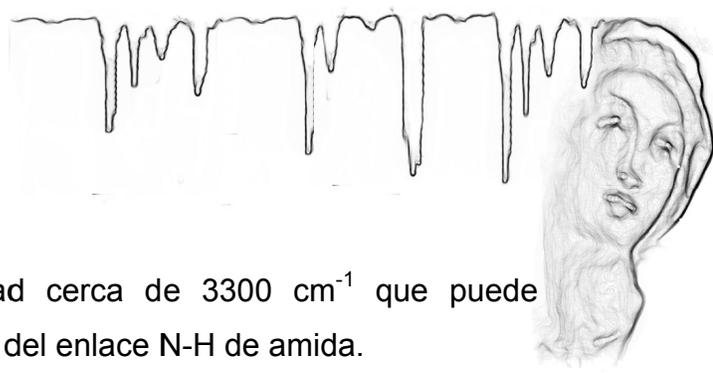


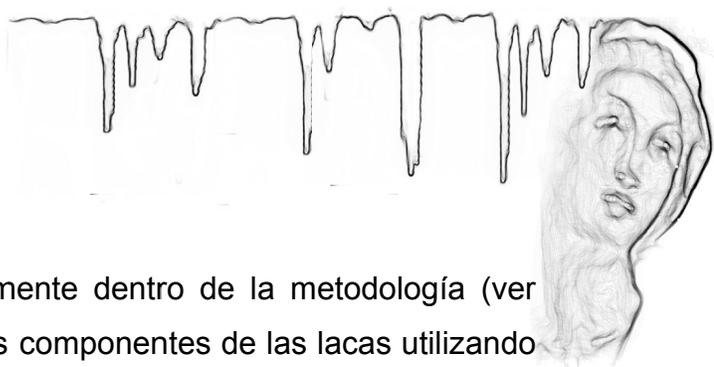
Figura 33. Espectros del grupo “hidrocarburos con enlaces sencillos, enlaces dobles, grupo carbonilo y aminas”: (A) cola de conejo (ver 1.2.3.2.1), (B) yema de huevo (ver 1.2.3.2.2)



Perfil de absorción:

- Una banda ancha de mediana intensidad cerca de 3300 cm^{-1} que puede asignarse a las vibraciones de estiramiento del enlace N-H de amida.
- Una banda de poca intensidad alrededor de 3010 cm^{-1} que puede asignarse a las vibraciones de estiramiento del enlace C-H de insaturaciones dadas por dobles enlaces.
- Grupo de bandas intensas entre 2920 cm^{-1} y 2850 cm^{-1} que pueden asignarse a las vibraciones de estiramiento del enlace C-H de alcanos.
- Una banda de mediana intensidad aproximadamente entre 1750 cm^{-1} y 1670 cm^{-1} que puede asignarse a las vibraciones de estiramiento del enlace C=O del grupo carbonilo.
- Una banda de poca intensidad alrededor de 1635 cm^{-1} que puede asignarse a las vibraciones de estiramiento del enlace C=C de una insaturación alifática.
- Una banda de baja intensidad entre 1580 cm^{-1} y 1490 cm^{-1} que puede asignarse a las vibraciones de torsión del enlace N-H de una amida. La amida puede corresponder al enlace peptídico de una proteína.
- Dos bandas de poca intensidad cerca de 1460 cm^{-1} y 1380 cm^{-1} que pueden asignarse a las vibraciones de torsión de metilos y metilenos.



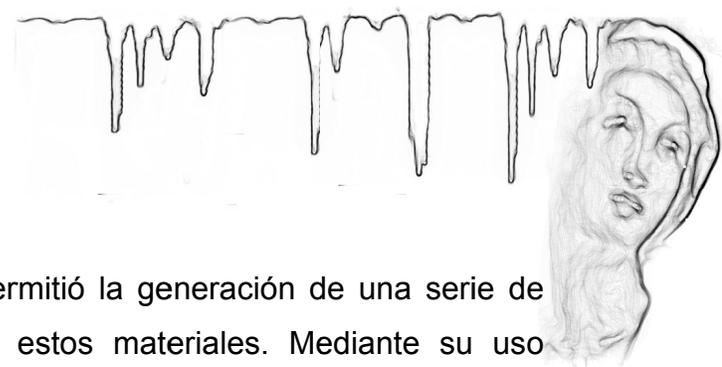


5.2 Pruebas de solubilidad

Se realizaron estas pruebas descritas detalladamente dentro de la metodología (ver 4.5) con el objeto de tener un mejor análisis de los componentes de las lacas utilizando el material disponible para quienes realizaran estas pruebas en patrimonio cultural. El LDOA-IIIE cuenta con material de laboratorio y reactivos limitados por lo que la metodología planteada proponía adaptarse a esas condiciones de trabajo.

Se planteó una separación de la laca en sustrato y colorante aprovechando las diferentes polaridades de estos componentes para separarlos con un disolvente polar y otro no polar. Desafortunadamente los espectros obtenidos a partir de las pruebas descritas en la metodología no aportaron información relevante ya que en todos los casos no se obtuvieron espectros del colorante ni del sustrato únicamente; la respuesta espectroscópica resultó prácticamente igual a la de la laca sin tratamiento. Se concluyó que trabajar con diferentes disolventes de la manera desarrollada en estas mezclas tan complejas no resulta de beneficio para el análisis espectroscópico.





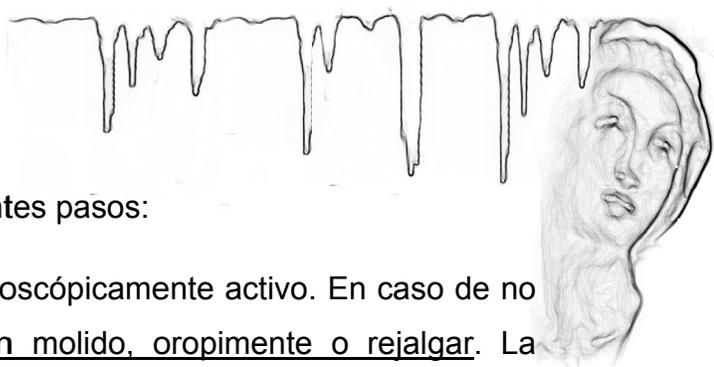
6 Análisis de resultados

El análisis de los espectros de cada material permitió la generación de una serie de instrucciones para el estudio de espectros de estos materiales. Mediante su uso apropiado se podrá apoyar a la identificación de los pigmentos, lacas o aglutinantes de la pintura novohispana del siglo XVI. Cabe mencionar que después de seguir esta serie de instrucciones es necesario verificar el perfil de absorción del grupo al cual se adjudicó el espectro resultante para confirmar que se hizo adecuadamente. La propuesta de asignación de los grupos funcionales presentes en cada uno de los perfiles de absorción se sintetiza en la Tabla 9.

Grupo funcional	Intervalo o valor aproximado de las bandas
C=O _{estiramiento}	1750 cm ⁻¹ a 1620 cm ⁻¹
C-H _{estiramiento} (enlaces sencillos)	2960 cm ⁻¹ a 2800 cm ⁻¹
COO ⁻ _{estiramiento}	1620 cm ⁻¹ a 1600 cm ⁻¹ y ~1444 cm ⁻¹
C-H _{estiramiento} (enlaces dobles)	3080 cm ⁻¹ a 3010 cm ⁻¹
C=C _{estiramiento} (alifático)	1660 cm ⁻¹ a 1630 cm ⁻¹
N-H _{torsión}	1540 cm ⁻¹ a 1525 cm ⁻¹
C=C _{estiramiento} (aromático)	Al menos tres bandas de 1600 cm ⁻¹ a 1450 cm ⁻¹
C-O-C _{estiramiento asim. y/o SO₄²⁻}	~1133 cm ⁻¹ , ~690 cm ⁻¹ y ~615 cm ⁻¹
Si-O-Si _{estiramiento asim.}	1100 cm ⁻¹ a 990 cm ⁻¹
Fe-O _{estiramiento}	550 cm ⁻¹ a 410 cm ⁻¹
Mn-O	~1030 cm ⁻¹
CO ₃ ²⁻ _{estiramiento}	1460 cm ⁻¹ a 1400 cm ⁻¹
Si-O-Al	~1000 cm ⁻¹ , ~660 cm ⁻¹ y ~460 cm ⁻¹
SO ₄ ²⁻	1160 cm ⁻¹ a 1140 cm ⁻¹ , ~670 cm ⁻¹ y ~600 cm ⁻¹
Sn-O	~1400 cm ⁻¹
Pb-O	~530 cm ⁻¹ y ~450 cm ⁻¹
PO ₄ ³⁻ _{estiramiento}	1090 cm ⁻¹ a 1035 cm ⁻¹ , ~605 cm ⁻¹ y ~565 cm ⁻¹
Cu-O _{estiramiento}	580 cm ⁻¹ a 450 cm ⁻¹

Tabla 9. Principales grupos asignados en los pigmentos, lacas y aglutinantes analizados

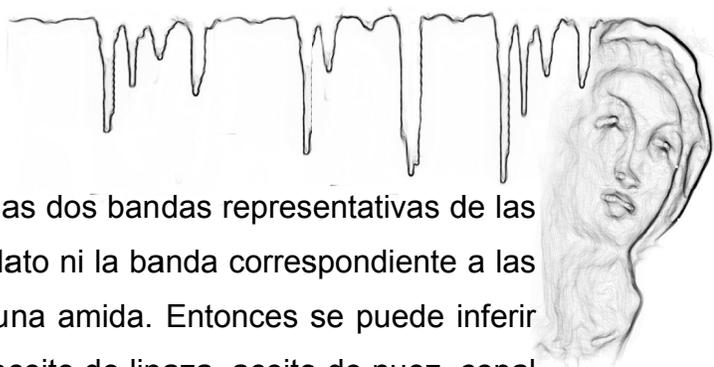




El proceso de identificación consiste en los siguientes pasos:

1. Verificar si el espectro obtenido es espectroscópicamente activo. En caso de no serlo se tienen tres posibilidades: carbón molido, oropimente o rejalgar. La identificación de estos tres pigmentos puede hacerse a partir de sus propiedades físicas.
2. En caso de que sea espectroscópicamente activo se procede a la búsqueda de la banda representativa de las vibraciones de estiramiento del enlace C=O del grupo carbonilo.
3. Si el grupo carbonilo está presente se buscan las bandas correspondientes a las vibraciones de estiramiento del enlace C-H de alcanos. Al estar presentes estas bandas se buscan las dos bandas originadas por las vibraciones de estiramiento del ion carboxilato. Confirmando la presencia de estas bandas se puede inferir que el espectro resultante corresponde al resinato de cobre.
4. Si se encuentra la banda representativa de las vibraciones de estiramiento del enlace C=O del grupo carbonilo y las bandas correspondientes a las vibraciones de estiramiento del enlace C-H de alcanos, sin estar presentes las dos bandas debidas a las vibraciones de estiramiento del ion carboxilato se procede a la búsqueda de las bandas representativas de las vibraciones de estiramiento del enlace C-H y C=C de insaturaciones debidas a los dobles enlaces. Si existen estas bandas se procede a la búsqueda de la banda correspondiente a las vibraciones de torsión del enlace N-H de una amida. Al confirmarse la presencia de estas bandas se puede inferir que el espectro resultante corresponde a la cola de conejo o yema de huevo.
5. Si se encuentra la banda representativa de las vibraciones de estiramiento del enlace C=O del grupo carbonilo, las bandas correspondientes a las vibraciones de estiramiento del enlace C-H de alcanos y las bandas representativas de las vibraciones de estiramiento del enlace C-H de insaturaciones debidas a los



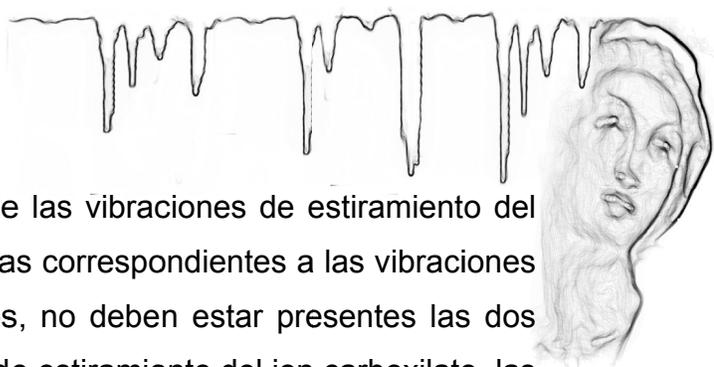


dobles enlaces, no deben estar presentes las dos bandas representativas de las vibraciones de estiramiento del ion carboxilato ni la banda correspondiente a las vibraciones de torsión del enlace N-H de una amida. Entonces se puede inferir que el espectro resultante corresponde al aceite de linaza, aceite de nuez, copal o sandaraca.

6. Si se encuentra la banda representativa de las vibraciones de estiramiento del enlace C=O del grupo carbonilo y las bandas correspondientes a las vibraciones de estiramiento del enlace C-H de alcanos y no están presentes las dos bandas representativas de las vibraciones de estiramiento del ion carboxilato ni las bandas representativas de las vibraciones de estiramiento del enlace C-H de insaturaciones debidas a los dobles enlaces se procede a la búsqueda de las bandas correspondientes a las vibraciones de estiramiento del enlace C=C de anillos aromáticos. Si se confirma la presencia de estas bandas se puede inferir que el espectro resultante corresponde a la laca carmín.

7. Si se encuentra la banda representativa de las vibraciones de estiramiento del enlace C=O del grupo carbonilo y las bandas correspondientes a las vibraciones de estiramiento del enlace C-H de alcanos; no deben estar presentes las dos bandas representativas de las vibraciones de estiramiento del ion carboxilato, ni las bandas representativas de las vibraciones de estiramiento del enlace C-H de insaturaciones debidas a los dobles enlaces y tampoco las bandas correspondientes a las vibraciones de estiramiento del enlace C=C de anillos aromáticos, entonces se procede a la búsqueda de la banda asignada a las vibraciones de estiramiento asimétrico del ion sulfato y/o a vibraciones de estiramiento asimétrico del enlace C-O-C de éter. También se buscan las bandas debidas a las vibraciones de torsión del ion sulfato. Al confirmarse la presencia de estas bandas se puede inferir que el espectro resultante corresponde a la Gualda (Ancorca) o Gualda (Arzica).





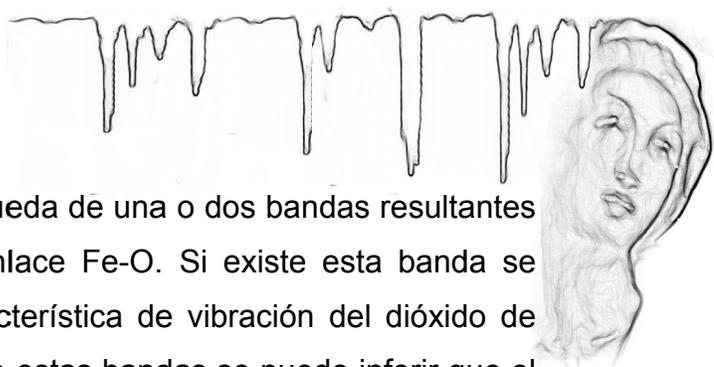
8. Si se encuentra la banda representativa de las vibraciones de estiramiento del enlace C=O del grupo carbonilo y las bandas correspondientes a las vibraciones de estiramiento del enlace C-H de alcanos, no deben estar presentes las dos bandas representativas de las vibraciones de estiramiento del ion carboxilato, las bandas representativas de las vibraciones de estiramiento del enlace C-H de insaturaciones debidas a los dobles enlaces, las bandas correspondientes a las vibraciones de estiramiento del enlace C=C de los anillos aromáticos, ni las bandas correspondientes a las vibraciones de estiramiento asimétrico del ion sulfato y/o a vibraciones de estiramiento asimétrico del enlace C-O-C de éter y tampoco las bandas debidas a las vibraciones de torsión del ion sulfato, entonces se puede inferir que el espectro resultante corresponde a la almáciga o colofonia.

9. Si se encuentra la banda representativa de las vibraciones de estiramiento del enlace C=O del grupo carbonilo, las bandas correspondientes a las vibraciones de estiramiento del enlace C=C de anillos aromáticos y la banda resultante de las vibraciones de torsión del enlace N-H, sin estar presentes las bandas correspondientes a las vibraciones de estiramiento del enlace C-H de alcanos se puede inferir que el espectro resultante corresponde al azul añil índigo.

10. Si se encuentra la banda representativa de las vibraciones de estiramiento del enlace C=O del grupo carbonilo y las bandas correspondientes a las vibraciones de estiramiento del enlace C=C de anillos aromáticos, sin estar presentes las bandas correspondientes a las vibraciones de estiramiento del enlace C-H de alcanos ni la banda resultante de las vibraciones de torsión del enlace N-H se puede inferir que el espectro resultante corresponde al carmín de alizarina o laca de Rubia.

11. En caso de que no haya banda representativa de las vibraciones de estiramiento del enlace C=O del grupo carbonilo se procede a la búsqueda de la banda correspondiente a las vibraciones de estiramiento asimétrico del enlace Si-O-Si.

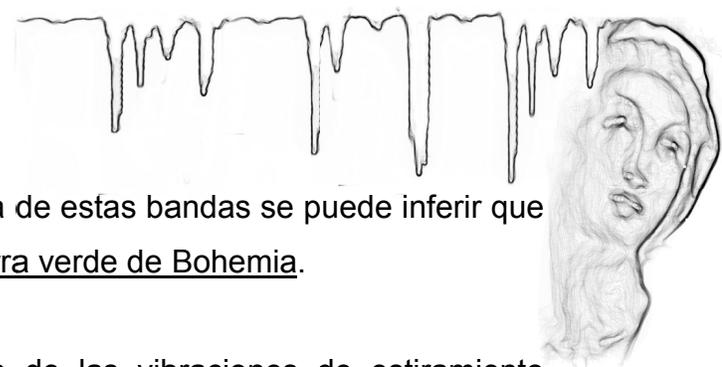




Si existe esta banda se procede a la búsqueda de una o dos bandas resultantes de las vibraciones de estiramiento del enlace Fe-O. Si existe esta banda se procede a la búsqueda de la banda característica de vibración del dióxido de manganeso. Al confirmarse la presencia de estas bandas se puede inferir que el espectro resultante corresponde a la tierra de siena tostada oscura.

12. Si se encuentra la banda representativa de las vibraciones de estiramiento asimétrico del enlace Si-O-Si y la(s) banda(s) resultante(s) de las vibraciones de estiramiento del enlace Fe-O, sin estar presente la banda representativa de las vibraciones de estiramiento del enlace C=O del grupo carbonilo, ni la banda característica de vibración del dióxido de manganeso se procede a la búsqueda de la banda correspondiente a las vibraciones de estiramiento del ion carbonato. Al confirmarse la presencia de estas bandas se puede inferir que el espectro resultante corresponde al ocre oscuro.
13. Si se encuentra la banda representativa de las vibraciones de estiramiento asimétrico del enlace Si-O-Si y la(s) banda(s) resultante(s) de las vibraciones de estiramiento del enlace Fe-O, no deben estar presentes la banda representativa de las vibraciones de estiramiento del enlace C=O del grupo carbonilo, la banda característica de vibración del dióxido de manganeso ni la banda correspondiente a las vibraciones de estiramiento del ion carbonato, entonces se puede inferir que el espectro resultante corresponde al almagre, ocre u ocre alemán oscuro. El almagre podría ser diferenciado por su color, para los otros dos se sugiere usar otra técnica para poder diferenciarlos.
14. Si se encuentra la banda representativa de las vibraciones de estiramiento asimétrico del enlace Si-O-Si, sin estar presente la banda representativa de las vibraciones de estiramiento del enlace C=O del grupo carbonilo ni la(s) banda(s) resultante(s) de las vibraciones de estiramiento del enlace Fe-O se procede a la búsqueda de tres bandas correspondientes a las vibraciones características del

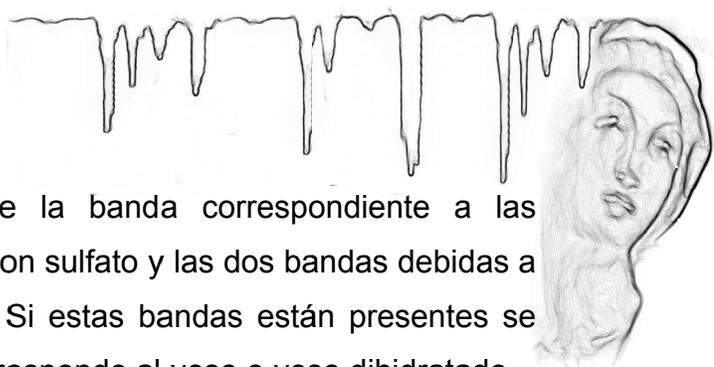




enlace Si-O-Al. Si se confirma la presencia de estas bandas se puede inferir que el espectro resultante corresponde a la tierra verde de Bohemia.

15. Si se encuentra la banda representativa de las vibraciones de estiramiento asimétrico del enlace Si-O-Si, sin estar presente la banda representativa de las vibraciones de estiramiento del enlace C=O del grupo carbonilo, ni la(s) banda(s) resultante(s) de las vibraciones de estiramiento del enlace Fe-O, ni las bandas correspondientes a las vibraciones características del enlace Si-O-Al se puede inferir que el espectro resultante corresponde al cinabrio, esmalte o lapislázuli. De estos tres el cinabrio puede diferenciarse por su color.
16. En caso de que se encuentren presentes las dos bandas correspondientes a las vibraciones de estiramiento del ion carboxilato, sin estar presentes la banda correspondiente a las vibraciones de estiramiento del enlace C=O del grupo carbonilo ni la banda representativa de las vibraciones de estiramiento asimétrico del enlace Si-O-Si se puede inferir que el espectro resultante corresponde al acetato de cobre.
17. En caso de que se encuentren las bandas correspondientes a las vibraciones de estiramiento del enlace C-H de alcanos, sin estar presentes la banda correspondiente a las vibraciones de estiramiento del enlace C=O del grupo carbonilo, la banda representativa de las vibraciones de estiramiento asimétrico del enlace Si-O-Si, ni las dos bandas características de las vibraciones de estiramiento del ion carboxilato, se puede inferir que el espectro resultante corresponde al betún de Judea o negro de humo.
18. En caso de que no se encuentren la banda correspondiente a las vibraciones de estiramiento del enlace C=O del grupo carbonilo, la banda representativa de las vibraciones de estiramiento asimétrico del enlace Si-O-Si, las dos bandas características de las vibraciones de estiramiento del ion carboxilato, ni las bandas correspondientes a las vibraciones de estiramiento del enlace C-H de





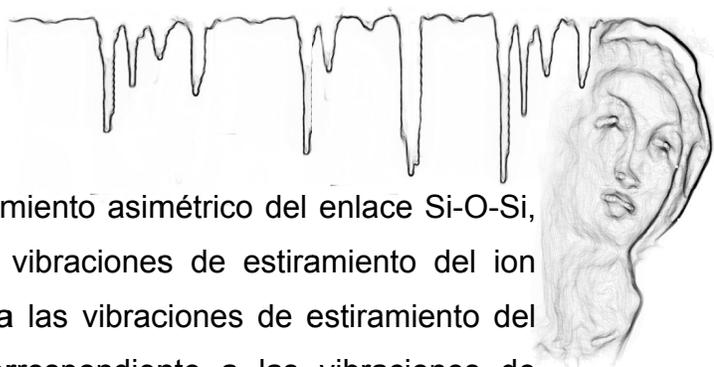
alcanos, se procede a la búsqueda de la banda correspondiente a las vibraciones de estiramiento asimétrico del ion sulfato y las dos bandas debidas a las vibraciones de torsión del ion sulfato. Si estas bandas están presentes se puede inferir que el espectro resultante corresponde al yeso o yeso dihidratado.

19. En caso de que no se encuentren la banda correspondiente a las vibraciones de estiramiento del enlace C=O del grupo carbonilo, la banda representativa de las vibraciones de estiramiento asimétrico del enlace Si-O-Si, las dos bandas características de las vibraciones de estiramiento del ion carboxilato, ni las bandas correspondientes a las vibraciones de estiramiento del enlace C-H de alcanos, la banda correspondiente a las vibraciones de estiramiento asimétrico del ion sulfato y tampoco las dos bandas debidas a las vibraciones de torsión del ion sulfato se procede a la búsqueda de la banda originada por las vibraciones del enlace Sn-O. Si esta banda está presente se puede inferir que el espectro resultante corresponde al amarillo de plomo-estaño tipo II.

20. En caso de que no se encuentren la banda correspondiente a las vibraciones de estiramiento del enlace C=O del grupo carbonilo, la banda representativa de las vibraciones de estiramiento asimétrico del enlace Si-O-Si, ni las dos bandas características de las vibraciones de estiramiento del ion carboxilato, las bandas correspondientes a las vibraciones de estiramiento del enlace C-H de alcanos, ni la banda correspondiente a las vibraciones de estiramiento asimétrico del ion sulfato, las dos bandas debidas a las vibraciones de torsión del ion sulfato, y tampoco la banda originada por las vibraciones del enlace Sn-O, se procede a la búsqueda de dos bandas correspondientes a las vibraciones del enlace Pb-O. Si estas bandas están presentes se puede inferir que el espectro resultante corresponde al azarcón.

21. Si se encuentra(n) la(s) banda(s) resultante(s) de las vibraciones de estiramiento del enlace Fe-O, y no están presentes la banda correspondiente a las vibraciones de estiramiento del enlace C=O del grupo carbonilo, la banda

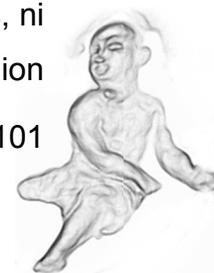


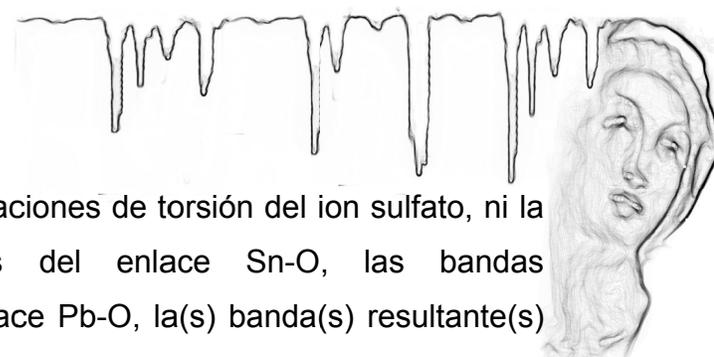


representativa de las vibraciones de estiramiento asimétrico del enlace Si-O-Si, ni las dos bandas características de las vibraciones de estiramiento del ion carboxilato, las bandas correspondientes a las vibraciones de estiramiento del enlace C-H de alcanos, ni la banda correspondiente a las vibraciones de estiramiento asimétrico del ion sulfato, las dos bandas debidas a las vibraciones de torsión del ion sulfato, ni la banda originada por las vibraciones del enlace Sn-O y tampoco las bandas correspondientes a la vibraciones del enlace Pb-O se puede inferir que el espectro resultante corresponde a la sombra tostada de Chipre.

22. Si se encuentra la banda correspondiente a las vibraciones de estiramiento del ion carbonato, y no están presentes la banda correspondiente a las vibraciones de estiramiento del enlace C=O del grupo carbonilo, ni la banda representativa de las vibraciones de estiramiento asimétrico del enlace Si-O-Si, las dos bandas características de las vibraciones de estiramiento del ion carboxilato, ni las bandas correspondientes a las vibraciones de estiramiento del enlace C-H de alcanos, la banda correspondiente a las vibraciones de estiramiento asimétrico del ion sulfato, las dos bandas debidas a las vibraciones de torsión del ion sulfato, la banda originada por las vibraciones del enlace Sn-O, ni las bandas correspondientes a la vibraciones del enlace Pb-O y tampoco la(s) banda(s) resultante(s) de las vibraciones de estiramiento del enlace Fe-O se procede a la búsqueda de una serie de bandas debidas a las vibraciones de estiramiento características del ion fosfato. Si estas bandas están presentes se puede inferir que el espectro resultante corresponde al negro marfil de huesos.

23. Si se encuentra la banda correspondiente a las vibraciones de estiramiento del ion carbonato, y no están presentes la banda correspondiente a las vibraciones de estiramiento del enlace C=O del grupo carbonilo, la banda representativa de las vibraciones de estiramiento asimétrico del enlace Si-O-Si, ni las dos bandas características de las vibraciones de estiramiento del ion carboxilato, las bandas correspondientes a las vibraciones de estiramiento del enlace C-H de alcanos, ni la banda correspondiente a las vibraciones de estiramiento asimétrico del ion





sulfato, las dos bandas debidas a las vibraciones de torsión del ion sulfato, ni la banda originada por las vibraciones del enlace Sn-O, las bandas correspondientes a la vibraciones del enlace Pb-O, la(s) banda(s) resultante(s) de las vibraciones de estiramiento del enlace Fe-O y tampoco las bandas debidas a las vibraciones de estiramiento características del ion fosfato se procede a la búsqueda de las bandas correspondientes a las vibraciones de estiramiento del enlace Cu-O. Si estas bandas están presentes se puede inferir que el espectro resultante corresponde a la azurita oscura o malaquita. Probablemente diferenciables por su color.

24. Si se encuentra la banda correspondiente a las vibraciones de estiramiento del ion carbonato y no se encuentra la presencia de la banda correspondiente a las vibraciones de estiramiento del enlace C=O del grupo carbonilo, la banda representativa de las vibraciones de estiramiento asimétrico del enlace Si-O-Si, ni las dos bandas características de las vibraciones de estiramiento del ion carboxilato, las bandas correspondientes a las vibraciones de estiramiento del enlace C-H de alcanos, ni la banda correspondiente a las vibraciones de estiramiento asimétrico del ion sulfato, las dos bandas debidas a las vibraciones de torsión del ion sulfato, ni la banda originada por las vibraciones del enlace Sn-O, las bandas correspondientes a la vibraciones del enlace Pb-O, ni la(s) banda(s) resultante(s) de las vibraciones de estiramiento del enlace Fe-O, las bandas debidas a las vibraciones de estiramiento características del ion fosfato y tampoco las bandas correspondientes a las vibraciones de estiramiento del enlace Cu-O se puede inferir que el espectro resultante corresponde al carbonato de calcio.

A continuación se presenta un diagrama de flujo (Figura 34) para esquematizar y sintetizar las instrucciones descritas anteriormente. Es de recalcar que este diagrama de análisis sólo se puede utilizar para los pigmentos, lacas y aglutinantes estudiados en este trabajo. Cualquier material nuevo que se quiera añadir a los aquí estudiados implicará el registro de su perfil de absorción, su adjudicación de bandas y la posibilidad de insertarlo dentro los grupos antes presentados.



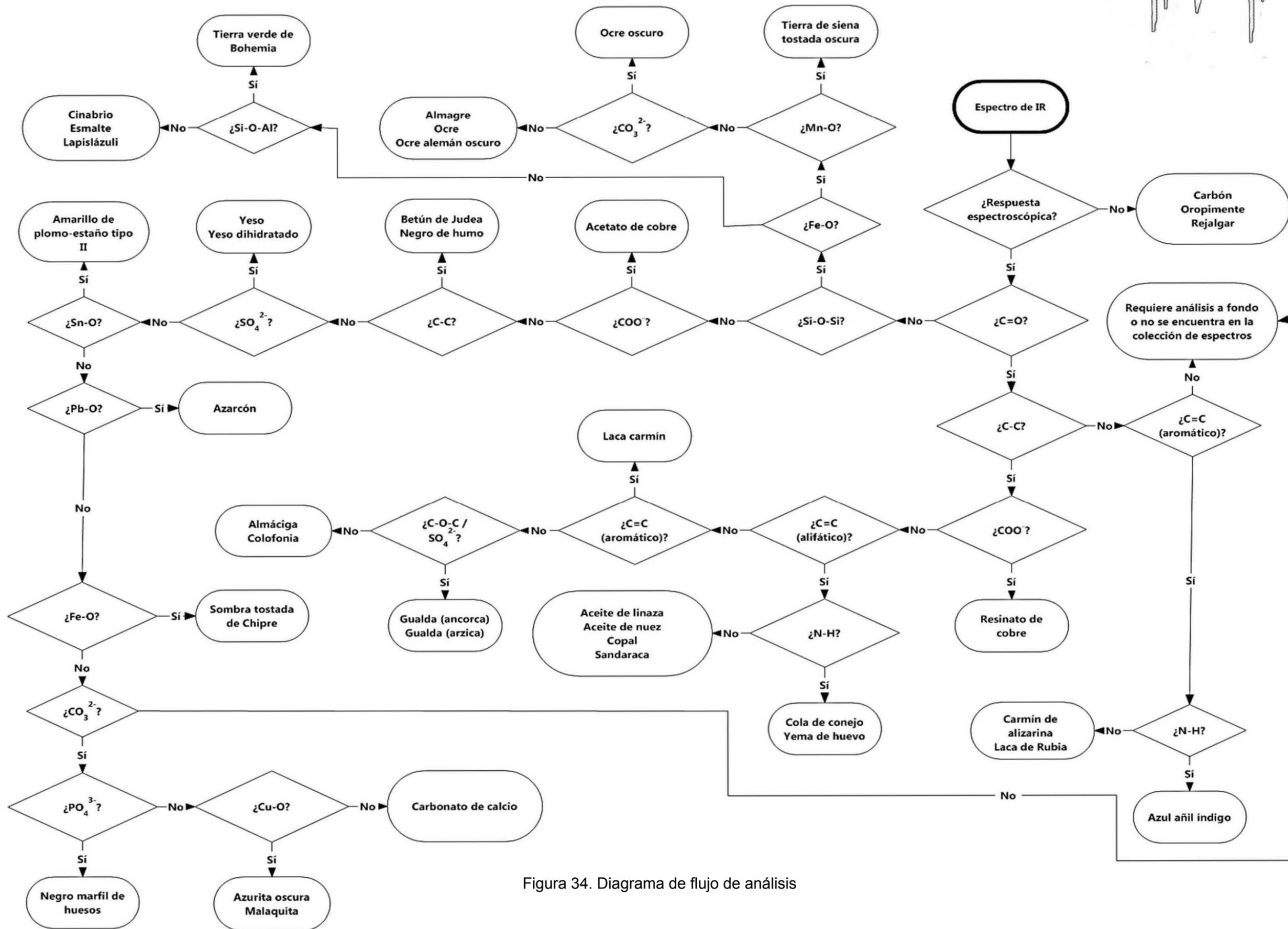
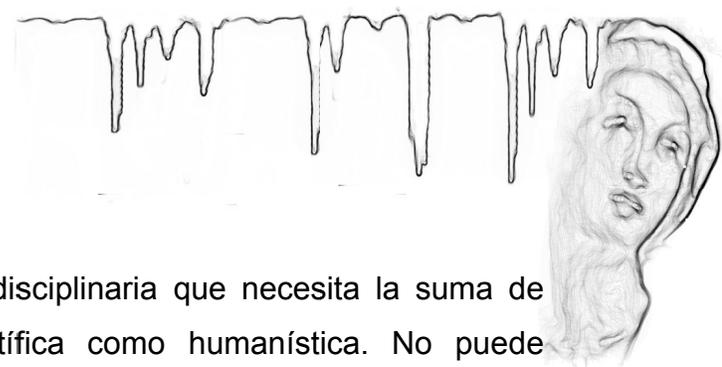


Figura 34. Diagrama de flujo de análisis



7 Conclusiones

El estudio científico del arte es una tarea interdisciplinaria que necesita la suma de saberes de especialistas tanto del área científica como humanística. No puede realizarse un estudio abstracto sino que requiere contextualizarse de acuerdo a un periodo histórico y artístico. La forma más enriquecedora en que el diagnóstico de obras de arte se puede desarrollar es mediante el debate y el intercambio de ideas y conocimientos de todos los especialistas involucrados.

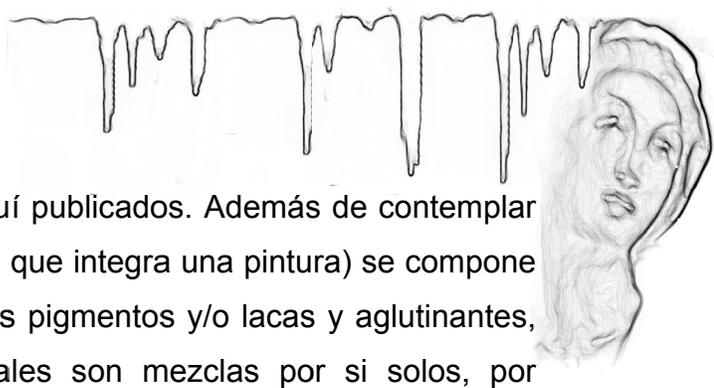
En el aspecto científico, existe una carencia de investigadores especializados, al menos, en la química analítica de patrimonio cultural. En México es muy poca o casi nula la investigación que se hace sobre diagnóstico artístico por lo que dedicarse a este aspecto de la investigación científica presenta una gran oportunidad para los profesionales de la química.

El desarrollo de este trabajo presentó el problema de que el estudio fue limitado al acceso instrumental que tiene el LDOA-IIE. Los equipos de infrarrojo que se utilizaron, uno perteneciente al CCADET (Thermo Electron Corporation® Nicolet Nexus 670) y el otro perteneciente a la USAI (PerkinElmer® Spectrum 400), sólo permiten el estudio en la región del infrarrojo medio. Es por esto que los pigmentos de origen mineral, cuyas bandas más representativas se ubican en el infrarrojo lejano (de acuerdo a la bibliografía), no fueron suficientemente estudiados. Asimismo, se menciona que la espectroscopía en las regiones media y lejana del infrarrojo se complementan una a la otra permitiendo la identificación de una amplia gama de materiales.

Por otra parte, la complejidad en la naturaleza de los materiales y su necesidad de sistematizarlos de tal forma que se simplificara su análisis hizo que se desarrollara una forma de interpretación diferente a la “tradicional”. Con esto se desarrolló el concepto de perfil de absorción y así se pudo manejar la información de manera general sin enfrentar los problemas de pureza y de proporcionalidad en sus componentes.

Este trabajo se realizó con materias primas relativamente recién adquiridas o preparadas que al ser utilizadas en las obras de arte (pintura), al contacto con el medio ambiente y al paso del tiempo, necesariamente sufren cambios que modificarán los





resultados espectroscópicos de los materiales aquí publicados. Además de contemplar que la capa pictórica (que forma parte del sistema que integra una pintura) se compone de diferentes elementos entre los cuales están los pigmentos y/o lacas y aglutinantes, entre otros. Si se considera que estos materiales son mezclas por si solos, por consecuencia, la capa pictórica resulta una mezcla aún más compleja que los materiales tratados individualmente.

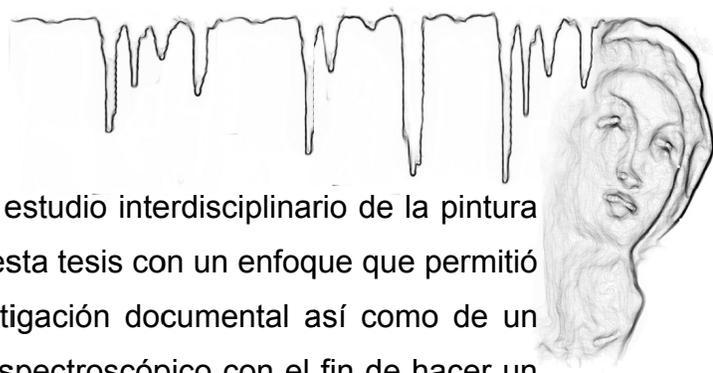
Se tiene reportado en la literatura que uno de los métodos de espectroscopía infrarroja más adecuados para muestras en capa, como es el caso de patrimonio cultural, es el micro ATR. Este consiste en un microscopio acoplado a un espectrofotómetro de ATR que permite analizar la muestra por capas. Los materiales se pueden ubicar por capa e incluso generar imágenes de su ubicación, esto es conocido como mapeo y es el proceso previo a la obtención de espectros de infrarrojo de las diferentes capas. Además, el análisis de patrimonio cultural mediante micro ATR puede hacerse directamente sobre la obra evitando así su contaminación. Cabe mencionar que a este equipo no se tuvo acceso.

A pesar de que en el análisis de resultados se generó una serie de instrucciones seguidas de una confirmación del resultado obtenido a partir de ellas, es importante aclarar que no se trata de una vía rígida para encontrar una verdad absoluta sino que se trata de una guía que oriente hacia lo que debería ser forjado por el conjunto de varios estudios.

Este trabajo pretende ser la base para la construcción de nuevas áreas de investigación y desarrollo del ámbito científico en el artístico; áreas que en el pasado no habían sido tan exploradas, al menos en el país. Se espera que propicie la investigación a fondo de particularidades de este u otros temas relacionados.

Una de estas perspectivas a futuro podría incluir el estudio detallado de lacas, logrando separar adecuadamente el sustrato del colorante e incluso los compuestos propios del colorante. También podría hacerse un análisis estadístico de los espectros de infrarrojo obtenidos con el fin de generar un perfil de absorción más apropiado basado en la zona de huellas digitales.

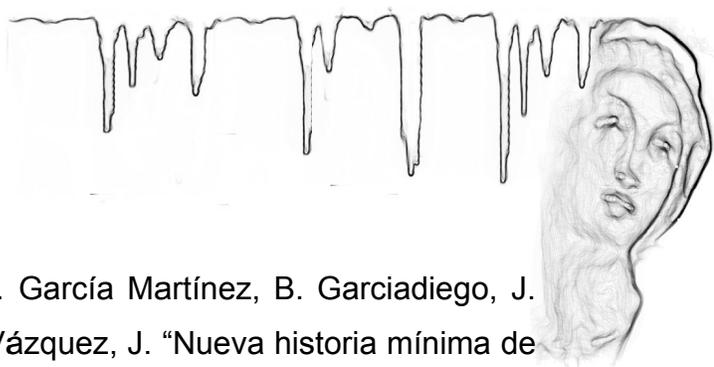




Gracias a la iniciativa del LDOA-IIE de realizar el estudio interdisciplinario de la pintura novohispana del siglo XVI fue posible desarrollar esta tesis con un enfoque que permitió su culminación. Se requirió de una amplia investigación documental así como de un profundo análisis científico, tanto químico como espectroscópico con el fin de hacer un estudio integral de los pigmentos, lacas y aglutinantes utilizados en la pintura novohispana del siglo XVI.

Este trabajo tiene la intención de ser una herramienta útil para el quehacer del LDOA-IIE al apoyarlo con sus investigaciones y proyectos relacionados con el tema de esta tesis, con el propósito de simplificar sus problemas de carácter científico. Pretendiendo así realizar una aportación importante para el fomento de la investigación científica relacionada con el patrimonio cultural.

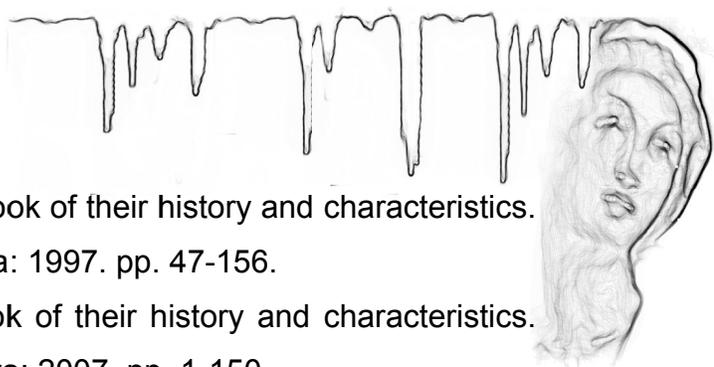




8 Bibliografía

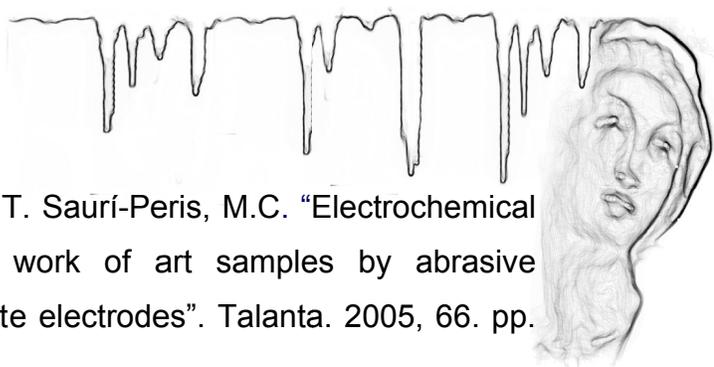
1. Aboites Aguilar, L. Escalante Gonzalbo, P. García Martínez, B. Garciadiego, J. Jáuregui L. Speckman Guerra, E. Zoraida Vázquez, J. “Nueva historia mínima de México”. Colegio de México. México: 2008. pp. 113, 120-126.
2. Ruiz Gomar, R. “La imagen de Nuestra Señora del Socorro de la cofradía de pintores en la Nueva España”. Anales del Instituto de Investigaciones Estéticas. No. 56, 1986. UNAM. p. 39.
3. Tovar de Teresa, G. “Pintura y escultura en Nueva España 1557-1640”. Grupo Azabache. México: 1992. pp. 11-15, 21, 22, 25, 27, 33-36, 43, 51, 61-63, 70, 71, 73, 80, 81, 83, 86, 88, 91, 98.
4. Bruquetas, R. “Técnicas y materiales de la pintura española en los Siglos de Oro”. Fundación de Apoyo a la Historia del Arte Hispánico. Madrid: 2002. pp. 95, 103, 121.
5. Casas Palet, A. “Identificación química de pigmentos artísticos”. Universitat de Barcelona, España: 1997. pp. 11, 12.
6. Matteini, M. Moles, A. “La química en la restauración: Los materiales del arte pictórico”. Nerea. España: 2001. pp. 104-106, 119-121, 128-130.
7. Gettens, R. J. Strout, G. L. “Painting materials: A short encyclopedia”. Dover Publications Inc. New York: 1966. pp. 14-16, 19-21, 25, 26, 34, 36-45, 51-56, 59, 91, 94, 95, 99, 103, 104, 110, 111, 113, 117, 120-124, 126-128, 134, 135, 152, 153, 156-158, 165-168, 170-173, 174.
8. Chaplin, T. Eastaugh, N. Siddall, R. Walsh, V. “The pigment compendium: A dictionary of historical pigments”. Elsevier. Great Britain: 2004. pp. 4, 33, 37, 49, 50, 65, 66, 74, 75, 82, 86, 105, 118, 119, 121, 129, 174, 175, 178, 183, 194, 195, 204, 210, 211, 244, 245, 248, 264, 279, 285, 286, 318-320, 336, 339, 376, 377, 390, 394, 395.
9. Feller, R. L. “Artists’ pigments: A handbook of their history and characteristics. Volume 1”. Oxford University Press. Great Britain: 1986. pp. 109-168.
10. Roy, A. “Artists’ pigments: A handbook of their history and characteristics. Volume 2”. Oxford University Press. Great Britain: 1993. pp. 23-27, 83-215.





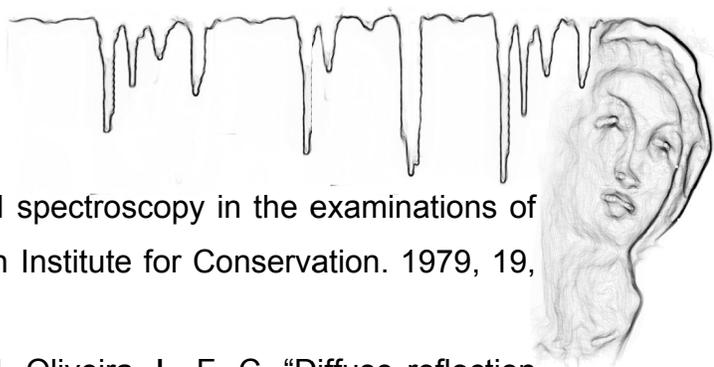
11. FitzHugh E. W. "Artists' pigments: A handbook of their history and characteristics. Volume 3". Oxford University Press. Canada: 1997. pp. 47-156.
12. Berrie, B. H. "Artists' pigments: A handbook of their history and characteristics. Volume 4". National Gallery of Art. Singapore: 2007. pp. 1-150.
13. Van Eikema Hommes, M. "Changing Pictures: discoloration in 15th-17th century oil paintings. Archetype Books. London: 2006. pp. 91-156.
14. Becuccia, M. Castellucci, E. Gil, F. P. S. C. Mendes, N.F.C. Nevin, A. Osticioli, I. "Analysis of natural and artificial ultramarine blue pigments using laser induced breakdown and pulsed Raman spectroscopy, statistical analysis and light microscopy". *Spectrochimica Acta Part A*. 2009, 73. pp. 525–531.
15. Arbizzani, R. Casellato U. Fiorin, E. Nodari, L. Russo, U. Vigato, P.A. "Decay markers for the preventative conservation and maintenance of paintings" *Journal of Cultural Heritage* 2004, 5. pp. 167–182.
16. Skoog, D. A. Holler, F. J. Nieman, T. A. "Principios de análisis instrumental". 5a Edición. McGraw-Hill. España: 2001. pp. 153, 177, 188, 409-415, 419, 420, 423-427, 435, 439, 441, 450-455.
17. Pérez, C. Ortiz, P. "Técnicas espectroscópicas para la determinación y análisis de estructuras químicas". Facultad de Química. Universidad de la Habana. Cuba: 2011. pp. 85, 86, 90-94.
18. Settle, F. A. "Handbook of instrumental techniques for analytical chemistry". Prentice-Hall. USA: 1997. p. 256.
19. Stuart, B. "Modern infrared spectroscopy". John Wiley & Sons. UK: 1996. p. 32.
20. Derrik, M. R. Stulik, D. Landry J. M. "Infrared spectroscopy in conservation science". The Getty Conservation Institute. Los Angeles: 1999. pp. VII, 2, 11, 16, 17, 29, 43.
21. Pinna, D. Galeotti, M. Mazzeo, R. Scientific Examination for Investigation of Paintings. A Handbook for Conservator-restorers. Centro Di, Italia, 2009. pp. 92, 151-155.
22. Baran, A. Fiedler, A. Schulzb, H. Baranska, H. "In situ Raman and IR spectroscopic analysis of indigo dye". *Anal. Methods*. 2010, 2. pp. 1372-1376.





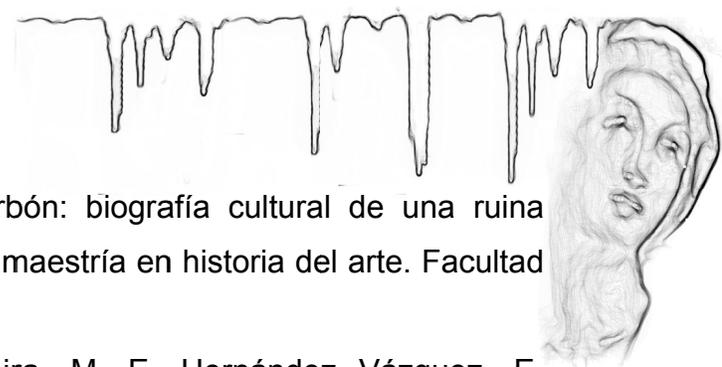
23. Doménech-Carbó, A. Doménech-Carbó, M.T. Saúri-Peris, M.C. "Electrochemical identification of flavonoid dyes in solid work of art samples by abrasive voltammetry at paraffin-impregnated graphite electrodes". *Talanta*. 2005, 66. pp. 769-782.
24. Doménech-Carbó, M.T. "Novel analytical methods for characterizing binding media and protective coatings in artworks". *Analytica Chimica Acta*. 2008, 621. pp. 109-139.
25. Doménech-Carbó, M.T. Bosch Reigb, F. Gimeno Adelantado, J.V. Periz Martínez, V. "Fourier transform infrared spectroscopy and the analytical study of works of art for purposes of diagnosis and conservation". *Analytica Chimica Acta*. 1996, 330. pp. 207-215.
26. Genestar, C. Pons, C. "Earth pigments in painting: characterisation and differentiation by means of FTIR spectroscopy and SEM-EDS microanalysis". *Anal. Bioanal. Chem.* 2005, 382. pp. 269-274.
27. Higgitt, C. Kirby, J. Spring, M. "Red lake pigments linking analytical results to the recipes". *Looking Forward to the Past: Science and Heritage*. 2006, London, U.K.
28. Jonynaite, D. Senvaitiene, J. Beganskiene, A. Kareiva, A. "Spectroscopic analysis of blue cobalt smalt pigment". *Vibrational Spectroscopy*. 2010, 52. pp. 158-162.
29. Kolmas, J. Jaklewicz A. Zima, A. Bućko, M. Paszkiewicz, Z. Lis, J. Ślósarczyk, A. Kolodziejki, W. "Incorporation of carbonate and magnesium ions into synthetic hydroxyapatite: The effect on physicochemical properties". *Journal of Molecular Structure* 2011, 987. pp. 40-50.
30. Liu, Y. Wang, A. Freeman, J. J. "Raman, MIR, and NIR spectroscopic study of calcium sulfates: gypsum, bassanite, and anhydrite". *40th Lunar and Planetary Science Conference*. 2009.
31. Mateo, M.P. Ctvrtnickova, T. Nicolas, G. "Characterization of pigments used in painting by means of laser-induced plasma and attenuated total reflectance FTIR spectroscopy". *Applied Surface Science*. 2009, 255. pp. 5172-5176.





32. Newman, R. "Some applications of infrared spectroscopy in the examinations of painting materials". *Journal of the American Institute for Conservation*. 1979, 19, 1. pp. 42-62.
33. Silva, C. E. Silva, L. P. Edwards, H. G. M. Oliveira, L. F. C. "Diffuse reflection FTIR spectral database of dyes and pigments". *Anal. Bioanal. Chem.* 2006, 386. pp. 2183-2191.
34. Vahur, S. Knuutinen, U. Leito, I. "ATR-FT-IR spectroscopy in the region of 500-230cm⁻¹ for identification of inorganic red pigments". *Spectrochimica Acta Part A*. 2009, 73. pp. 764-771.
35. van der Weerd, J. M.A. Heeren, R. J. Boon, J. "FTIR studies of the effects of pigments of the aging of oil". *Studies in Conservation*. 2005, 50, 1. pp. 3-22.
36. van der Weerd, J. M.A. Heeren, R. J. Boon, J. "Preparation methods and accessories for the infrared spectroscopic analysis of multi-layer paint films". *Studies in Conservation*. 2004, 49, 3. pp. 193-210.
37. Balardi, P. Capelli, S. Joseph, E. Kendix, E. Mazzeo, R. Moscardi, G. Prati, S. "Far infrared and Raman spectroscopy analysis of inorganic pigments". *Journal of Raman Spectroscopy*. 2008, 39. pp. 1104-1112.
38. Boon, J. J. Carlyle, L. Holčapek, M. van den Berg, J. D. J. Vermist, N. D. "Effects of traditional processing methods of linseed oil on the composition of its triacylglycerols". *Journal of Separation Science*. 2004, 27. pp. 181-199.
39. Brereton, P. Crews, C. Godward, J. Guet, S. Hough, P. Lees, M. Winkelmann, W. "Study of the Main Constituents of Some Authentic Walnut Oils". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2005, 53. pp. 4853-4860.
40. Novitskaya, G. V. Vereshchagin, A. G. "The Triglyceride Composition of Linseed Oil". *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 1965, 42. pp. 970-974.
41. Nakanishi, K. Solomon, P. H. "Infrared Absorption Spectroscopy" Emerson-Adams Press. USA: 1977. pp. 20-57.
42. Nakamoto, K. "Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds: Applications in coordination, organometallic, and bioinorganic chemistry". John Wiley & Sons. New Jersey: 2009.





43. Arroyo Lemus, E. M. "Del perdón al carbón: biografía cultural de una ruina prematura". Tesis para obtener el título de maestría en historia del arte. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. 2008.
44. Arroyo Lemus, E. M. Espinosa Pesqueira, M. E. Hernández Vázquez, E. Quintanar Isaías, A. Ruvalcaba Sil, J. L. Santos Vázquez, V. Torre Blanco, A. Zetina Ocaña, S. "Efectos del fuego en la Virgen del Perdón, tabla novohispana del siglo XVI". Ge-Conservación. 2009, 0. pp. 79-98.
45. Amador, P. Ángeles, P. Arroyo, E. M. Falcón, T. Hernández, E. "Y hablaron de pintores famosos de Italia. Estudio interdisciplinario de una nueva pintura novohispana". Anales del Instituto de Investigaciones Estéticas. No. 92, 2008. UNAM. pp. 49-83.
46. Hermens, E. "Looking through paintings. The study of painting techniques and materials in support of art historical research". Archetype Books. London. 1998. p. 12.
47. Spring, M. "Raphael's materials: Some new discovers and their context within early sixteenth – century painting". Raphael's painting technique: Working practice before Rome. Proceedings of the Eu-ARTECH workshop. Italia. 2004. pp. 84, 85.

