

PROCESOS DE BIODETERIORO EN PINTURAS SOBRE LIENZO DEL MUSEO DE BELLAS ARTES DE GRANADA: EXAMEN VISUAL Y GRÁFICO



TESIS DOCTORAL

FERNANDO POYATOS JIMÉNEZ



Universidad de Granada

Editor: Editorial de la Universidad de Granada
Autor: Fernando Poyatos Jiménez
D.L.: GR 1856-2007
ISBN: 978-84-338-4436-1



**PROCESOS DE BIODETERIORO EN
PINTURAS SOBRE LIENZO DEL MUSEO DE
BELLAS ARTES DE GRANADA:
EXAMEN VISUAL Y GRÁFICO**

TESIS DOCTORAL

LDO: FERNANDO POYATOS JIMÉNEZ

DIRECTORES:

DR. FERNANDO BOLÍVAR GALIANO (TUTOR)
DPTO. DE PINTURA. FACULTAD DE BELLAS ARTES.

DRA. INÉS MARTÍN SÁNCHEZ
DPTO. DE MICROBIOLOGÍA.
FACULTAD DE CIENCIAS.

DRA. M^a ANTONIA FERNÁNDEZ VIVAS
DPTO. DE MICROBIOLOGÍA.
FACULTAD DE CIENCIAS.

Parte de los resultados de esta tesis han sido publicados en los libros de actas presentados en los siguientes congresos nacionales e internacionales:

“El biodeterioro de barnices y aglutinantes tradicionales utilizados en bienes culturales muebles”. Revisión bibliográfica.

XIV CONGRESO DE CONSERVACIÓN DE BBCC.

Valladolid.
Septiembre 2002.

“Formas de alteración en materiales filmógenos constituyentes de obras de arte españolas (siglos XVI-XIX)”.

II CONGRESO IBEROAMERICANO DEL PATRIMONIO CULTURAL.

Madrid.
Octubre 2003.

“Formas de biodeterioro en obras pictóricas del Museo de Bellas Artes de Granada”.

XV CONGRESO DE CONSERVACIÓN DE BB CC.

Murcia.
Noviembre 2004

“Análisis of biodeterioration in pictorial works of art using electronic microscopy” (FESEM).

IBBS-13 INTERNATIONAL BIODETERIORATION AND BIODEGRADATION SYMPOSIUM.

Madrid.
Septiembre 2005.

“Análisis del microbiodeterioro en obras pictóricas del Museo de Bellas Artes de Granada mediante FESEM (Microscopía Electrónica de Alta Resolución)”.

XVI CONGRESO DE CONSERVACIÓN DE BBCC.

Valencia.
Octubre 2006.

INDICE

I. INTRODUCCIÓN Pag 10

1. BIODETERIORO EN PINTURA SOBRE LIENZO Pag 13

1.1 LAS CONDICIONES AMBIENTALES Pag 15

1.2 BIODETERIORO EN SOPORTES TEXTILES DE OBRAS PICTÓRICAS Pag 16

1.3 BIODETERIORO EN LOS MATERIALES FILMÓGENOS Pag 17

1.3.1 AGLUTINANTES Pag 18

1.3.2 BARNICES Pag 18

1.4 LOS MÉTODOS ANALÍTICOS Pag 19

1.5 LOS TRATAMIENTOS Pag 20

2. INTRODUCCIÓN HISTÓRICO-ARTÍSTICA Pag 22

2.1 MATERIALES PICTÓRICOS DESDE EL PUNTO DE VISTA ARTÍSTICO Pag 23

3. INTRODUCCIÓN CIENTÍFICO-TÉCNICA Pag 27

3.1 AGENTES DE BIODETERIORO Pag 27

3.1.1 BACTERIAS Pag 27

3.1.2 HONGOS Pag 29

3.2 MATERIAL ARTÍSTICO Pag 30

3.2.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA Pag 30

3.2.2 TELAS Pag 30

3.2.3 AGLUTINANTES Pag 31

3.2.4 ADHESIVOS Pag 32

3.2.5 BARNICES Pag 32

3.3 ALTERACIONES Pag 33

3.3.1 ALTERACIONES DEL LIENZO Pag 35

3.3.2 ALTERACIONES DEL AGLUTINANTE Pag 36

3.3.3 ALTERACIONES DEL BARNIZ Pag 37

II. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS Pag 40

III. MATERIAL Y MÉTODOS Pag 43

3.1 OBRAS PICTÓRICAS Pag 44

A. LIENZOS DEL MUSEO DE BELLAS ARTES DE GRANADA Pag 44

A1 ESTUDIO HISTÓRICO-ARTÍSTICO Pag 48

A2 ESTADO DE CONSERVACIÓN Pag 48

A3 DOCUMENTACIÓN GRÁFICA Pag 48

B. LIENZOS DE LA *ABAZZÍA BENEDEITTINA DI SAN MARTINO DELLE SCALE*, PALERMO, ITALIA Pag 49

3.2 MÉTODOS CIENTÍFICOS Pag 51

3.2.1 TOMA DE MUESTRAS Pag 51

A) PUNTOS DEL MUESTREO Pag 52

B) PROTOCOLO DEL MUESTREO Pag 52

3.2.2 TÉCNICAS ANALÍTICAS Pag 57

3.2.2.1 TÉCNICAS MICROBIOLÓGICAS Pag 57

A) AISLAMIENTO Y CULTIVO DE MICROORGANISMOS Pag 57

A.1) TOMA DE MUESTRAS Pag 57

A.2) SOLUCIONES Y MEDIOS DE CULTIVO Pag 58

A.3) AISLAMIENTO Y CONSERVACIÓN DE LOS MICROORGANISMOS Pag 60

A.4) IDENTIFICACIÓN DE LOS MICROORGANISMOS Pag 60

3.2.2.2 TÉCNICAS MICROSCÓPICAS Pag 61

A) MICROSCOPIA ÓPTICA Pag 61

B) MICROSCOPIA ÓPTICA POR EMISIÓN DE CAMPO (FESEM) Pag 62

C) MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (MEB/EDX) Pag 63

3.2.2.3 TÉCNICAS QUÍMICO-ANALÍTICAS Pag 64

A) CROMATOGRAFÍA Pag 64

B) ESPECTROSCOPIA INFRAROJA Pag 66

3.2.3 ESTUDIO EXPERIMENTAL Pag 66

3.2.3.1 ENSAYO POR INOCULACIÓN DE MICROORGANISMOS TIPO EN DISTINTOS SOPORTES Y MATERIALES FILMÓGENOS DE REFERENCIA Pag 66

A) MICROORGANISMOS UTILIZADOS Pag 66

B) OBTENCIÓN DE SUSPENSIONES FÚNGICAS Pag 67

C) OBTENCIÓN DE SUSPENSIONES BACTERIANAS Pag 67

D) PREPARACIÓN DE PROBETAS DE REFERENCIA Pag 67

E) INOCULACIÓN DE LAS PROBETAS Pag 68

F) OBSERVACIÓN Y DOCUMENTACIÓN Pag 69

IV. RESULTADOS Pag 70

4.1 ESTUDIO EXPERIMENTAL Pag 72

4.1.1 EVOLUCIÓN DE LOS SOPORTES Pag 72

4.2 ESTUDIO DE DOCE LIENZOS DEL MUSEO DE BELLAS ARTES DE GRANADA Pag 75

4.2.1 ESTUDIO HISTÓRICO-ARTÍSTICO Pag 75

4.2.2 ESTUDIO DE LOS MATERIALES Y TÉCNICAS ARTÍSTICAS Pag 76

4.2.3 ESTUDIO ESTILÍSTICO Pag 77

4.2.4 ESTUDIO ICONOGRÁFICO Pag 78

4.2.5 ESTUDIO DE CONSERVACIÓN Pag 80

4.2.5.1 ALTERACIONES FÍSICO-MECÁNICAS Pag 81

4.2.5.2 ALTERACIONES ESTÉTICAS Pag 81

4.2.5.3 ALTERACIONES QUÍMICAS Pag 83

4.2.5.4 LOCALIZACIÓN DE LAS FORMAS DE ALTERACIÓN Pag 84

4.2.6 ANÁLISIS DE LAS FIBRAS TEXTILES DE LOS LIENZOS Pag 90

4.2.7 ESTUDIO MEDIANTE MEB/EDX Pag 92

4.2.8 ESTUDIO MICROBIOLÓGICO Pag 93

4.2.9 ESTUDIO MEDIANTE FESEM Pag 95

4.2.10 ANÁLISIS CROMATOGRÁFICOS, ESTRATIGRÁFICOS Y ELEMENTALES DE LAS MUESTRAS Pag 96

4.2.11 LÁMINAS RECOPILOTARIAS DE LOS ANÁLISIS REALIZADOS Pag 96

4.3 ESTUDIO DE CINCO LIENZOS DE LA *ABAZZIA BENEDEITTINA DI SAN MARTINO DELLE SCALE*, PALERMO, ITALIA Pag 122

V. DISCUSIÓN Pag 125

VI. CONCLUSIONES Pag 138

VII. BIBLIOGRAFÍA Pag 141

VIII. ANEXO Pag 151

I. INTRODUCCIÓN

El biodeterioro de obras pictóricas es un fenómeno complejo, todavía bastante desconocido. Indagar en los agentes de deterioro y en las principales causas que lo provocan requiere de nuevos estudios que se encaminen en este sentido con el fin de identificar que alteraciones se producen y que tratamientos se necesitan.

El interés de este tema contrasta con la escasez de bibliografía, en especial, aquella que se refiere en exclusiva al biodeterioro de materiales artísticos tradicionales en la pintura sobre lienzo. Ya que la mayoría de los trabajos consultados se refieren a sustancias inorgánicas (Petushkova, 1985; Gorbushina *et al.*, 1993; Groth *et al.*, 1999; Krumbein *et al.*, 1992; Sarró *et al.*, 2006) y a obras de arte contemporáneas, dejando casi sin explorar sustancias orgánicas usadas tradicionalmente en obras pictóricas más antiguas. De ahí la necesidad de establecer nuevas metodologías analíticas dedicadas al control de los procesos de biodeterioro y de las causas específicas que los provocan.

Más recientemente, se ha suscitado mayor interés sobre este tema, apareciendo trabajos que explican los procesos de biodeterioro de materiales artísticos tradicionales, y que distinguen las alteraciones que tienen lugar en los diferentes estratos de una obra pictórica y en los distintos materiales orgánicos que la componen.

Son pocos los estudios que se dedican de forma directa a analizar las especies de microorganismos, los materiales que deterioran y el tipo de daño que provocan. Por otro lado, son interesantes los trabajos que se han dedicado al empleo de determinados métodos analíticos de estudio e identificación del efecto ejercido por estos agentes de deterioro (SEM, cromatografía, electroforesis, pirolisis).

Hay que resaltar también la importancia de los trabajos que exponen las condiciones ambientales como elemento imprescindible para que tengan lugar los procesos de biodeterioro.

Aunque se alejen de nuestro campo son diversos y muy numerosos los estudios sobre deterioro microbiológico en pinturas murales. Estos trabajos pueden proporcionarnos algunas pistas para su aplicación en obras de arte constituidas principalmente por materiales orgánicos y para acercar metodologías analíticas al estudio de estas obras.

Esta revisión aporta datos sobre trabajos dedicados al análisis de las causas de biodeterioro que afectan a obras de arte pictóricas y de manera explícita a los soportes textiles -que suministran el mayor porcentaje de materia orgánica a una pintura-, a las sustancias naturales empleadas como aglutinantes (resinas, aceites, emulsiones y colas), así como a los agentes que afectan a los materiales filmógenos que cumplen una función estética y de protección (barnices).

INTRODUZIONE

Il biodeterioramento delle opere pittoriche è un fenomeno complesso, ancora abbastanza sconosciuto. L'indagine sugli agenti di deterioramento e sulle principali cause che lo provocano richiede nuovi studi che compiano un percorso in questo senso e che abbiano per scopo l'identificazione delle alterazioni che si producono e la definizione dei trattamenti necessari.

L'interesse di questo tema contrasta con la scarsità di bibliografia disponibile, in particolar modo quella che si riferisce esclusivamente al biodeterioramento di beni artistici tradizionali della pittura su tela. Dato che la maggioranza dei lavori consultati si riferisce a sostanze inorganiche e a opere di arte contemporanea, il campo concernente le sostanze organiche tradizionalmente usate per le opere pittoriche più antiche rimane quasi inesplorato. Ne deriva la necessità di stabilire nuove metodologie analitiche dedicate al controllo dei processi di biodeterioramento e delle cause specifiche che lo provocano.

In tempi più recenti, la pubblicazione di lavori che spiegano i processi di biodeterioramento microbico dei beni artistici tradizionali e che distinguono le alterazioni che avvengono nei differenti strati di un'opera pittorica e nei distinti materiali organici che la compongono, ha suscitato un maggiore interesse per questo tema.

Sono pochi gli studi che si dedicano in forma diretta ad analizzare le specie di microrganismi, i materiali che deteriorano e il tipo di danno che provocano. D'altra parte sono senz'altro interessanti i lavori che sono stati dedicati all'uso di determinati metodi analitici di studio e all'identificazione dell'effetto esercitato da questi agenti di deterioramento (SEM, cromatografia, elettroforesi, pirolisi).

Bisogna anche mettere in risalto l'importanza dei lavori in cui le condizioni ambientali vengono esposte come elemento imprescindibile per far in modo che avvengano i processi di biodeterioramento microbico.

Anche se si allontanano dal nostro campo, sono diversi e molto numerosi gli studi sul deterioramento microbiologico in pitture murarie. Questi lavori possono aprirci alcune strade applicabili nel caso di opere d'arte costituite principalmente da materiali organici e per l'approssimazione di metodologie analitiche nello studio di queste opere.

Questa revisione apporta dati importanti su lavori dedicati all'analisi delle cause del biodeterioramento che colpisce le opere d'arte pittoriche e, in modo esplicito, tratta dei supporti tessili – nei quali si concentra la maggiore percentuale di materia organica di un quadro- delle sostanze naturali usate come agglutinanti (resine, oli, emulsioni e colle) e anche degli agenti che colpiscono i materiali filmogeni che svolgono una funzione estetica e di protezione (vernici).

1. BIODETERIORO EN PINTURA SOBRE LIENZO

Una primera distinción fundamental de los materiales tiene en cuenta su eventual composición a base de carbono y así se definen como materiales orgánicos aquellos que contienen carbono en forma más o menos hidrogenada, y como inorgánicos los que no lo contienen.

Uno de los estudios más lejanos en el tiempo es el que describe Marijnissen (1967) que dedica un apartado a la acción de los microorganismos como causantes de biodeterioro en obras de arte, atendiendo a las condiciones ambientales y a la naturaleza de los materiales que componen las obras enumerando cuales son algunas de las consecuencias de la degradación.

Sobre la actividad de agentes de biodeterioro en obras de arte pictóricas, existen estudios que reúnen datos sobre la alteración de soportes artísticos en lienzo y sobre los componentes filmógenos, delimitando cada uno de los materiales orgánicos que componen estas obras así como los tipos de organismos vivos más frecuentes en este tipo de soportes (Ross, 1963; Strzelczyk, 1981; Bravery, 1988; Agraval *et al.*, 1989; Evans, 1992; Bolívar, 1995^a; Gaylarde y Moreno, 2006).

Otros estudios tratan directamente sobre la naturaleza y composición de materiales orgánicos que forman parte de las pinturas sobre lienzo, diferenciando claramente por un lado, aglutinantes, pigmentos y las capas de protección como componentes orgánicos del sustrato pictórico, y por otro lado la composición del soporte textil. Se indica además que entre ambas superficies la fenomenología de las alteraciones se presenta extremadamente variada por lo que los estudios e indagaciones se deben de reducir a tres fases del biodeterioro, causado en mayor parte por ataques de hongos. Estos estudios aportan importantes datos sobre los métodos analíticos empleados, utilizando pruebas no destructivas, siendo por esto un importante referente para el estudio y adecuación de una metodología aplicada mucho más precisa (Giacobini *et al.*, 1983, Mc Carthy 1987; Klrgarg *et al.* 1994).

Por su parte, Vázquez y Alonso, (1990) nos ofrecen un estudio de biodeterioro por hongos en pintura de caballete española del siglo XVIII que diferencia entre los efectos mecánicos y químicos que puede producir la actividad de estos microorganismos perjudiciales, proponiendo determinados tratamientos fungicidas y fungiestáticos.

Caneva *et al.* (2000) llevan a cabo un exhaustivo estudio científico sobre el biodeterioro de los materiales de naturaleza orgánica y de los factores ambientales en el biodeterioro dedicando un epígrafe a las pinturas de caballete en donde se detallan las sustancias orgánicas presentes en las pinturas que pueden representar una fuente de nutrición para los microorganismos.

Venegas y Pardo (1995) también dedican un apartado a la acción de bacterias y hongos destacando que estos últimos se identifican por la aparición de manchas de color y cambios de textura que alteran gravemente las capas pictóricas.

La colonización microbiológica de las pinturas al óleo es estudiada por Seves *et al.* (1996) mediante la preparación en el laboratorio de una determinada serie de soportes pictóricos con materiales tradicionales tales como tela de lino, preparados con capas ricas en colas animales y aceite de linaza que son inoculados con suspensiones de hongos y bacterias, identificando posteriormente las especies que crecen y deterioran estos materiales. Las especies de bacterias citadas son *Bacillus pumilus*, *Bacillus circulans*, *Bacillus cereus* y *Micrococcus luteus* y de hongos *Aspergillus niger* y *Penicillium chrysogenum*.

Otro estudio dedicado al origen biológico del deterioro en obras pictóricas sobre lienzo, concretamente en pintura española del siglo XVII, es el que se dedica a la acción realizada por *Pipistrellus pipistrellus* (Microchiroptera) debida a los productos de excreción que estos producen en el reverso y que afecta a la totalidad de la materia orgánica de estas obras, (Rubio y Bolívar, 1997).

En cuanto a las alteraciones originadas por biodeterioro en pinturas, otros estudios se aproximan a valorar las características que presentan este tipo de obras, realizando una detallada relación del grado de biodeterioro de cada material tanto orgánico como inorgánico, así como los tratamientos que se pueden llevar a cabo, (Guillaume-Chavannes, 1998 y Cortet, 1998).

Nicolaus (1998) realiza un estudio bastante completo del microbiodeterioro en cuadros explicando las condiciones de desarrollo, como comienza la colonización y las fatales consecuencias de su efecto alterando la estructura física y química de las obras. Para ello, en su manual se sirve de una serie de interesantes imágenes sobre los daños causados a nivel macroscópico.

También trata las alteraciones microbiológicas en pinturas de caballete en otro trabajo dedicado a la acción de deterioro bacteriano en donde como nota más novedosa se establecen aquellas especies de bacterias que pueden provocar daños, *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Flavobacterium*, muchas de las cuales estimulan la posterior colonización de hongos. Se identifican también las distintas especies de hongos más comunes en estos materiales, considerando el *Aureobasidium (Pullularia) pullullans* como el agente biológico principal en deterioro pictórico (Ciferri, 1999).

1.1 LAS CONDICIONES AMBIENTALES

Al hablar de biodeterioro y de las causas que lo provocan hay que hacer especial hincapié en el estudio de las relaciones entre los organismos y el medioambiente. Un estudio de biodeterioro ha de interrelacionar las distintas poblaciones biológicas y los factores físico-químicos del medio ambiente circundante.

En este sentido destacaríamos en primer lugar el trabajo expuesto por Caneva *et al.* (2000), que explica los factores limitantes que condicionan o inhiben la presencia de una determinada especie biológica (leyes de Liebig y de Shelford). También se estudian los factores de los que depende el crecimiento y el dinamismo de las poblaciones y comunidades de microorganismos, esto son los factores edáficos (materiales que componen el sustrato) y factores ambientales tales como el agua, la composición química del aire, el clima, la temperatura, la luz y los efectos de la contaminación.

Dornieden *e tal.* (2000), evalúa el biodeterioro en cuanto a la relación espacio/tiempo por la situación ecológica en donde se encuentran las obras. Y por su parte García (1996) interpreta las condiciones adecuadas para el desarrollo de organismos vivos y los factores que actúan en el deterioro de los materiales.

Para Villarquide (2005b) hay factores que inhiben la aparición del ataque y muestra las condiciones o rangos propicios para el desarrollo de cada especie biológica. Normalmente uno de estos factores es suficiente para controlar la aparición del biodeterioro.

Los factores determinantes para el desarrollo de microorganismos y otros agentes de biodeterioro son:

El *agua*. Todos los organismos tienen agua y la precisan para su metabolismo y reacciones enzimáticas, obteniéndola de las superficies sobre las que se encuentran (según la higroscopicidad y porosidad de éstas) o del ambiente. Cada especie necesitará más o menos agua, pero en general la humedad debe ser alta, superior al 60-70% de HR. Las bacterias precisan al menos un 80%, por lo que, en condiciones normales, es difícil su ataque, aunque se pueden desplazar a capas interiores y húmedas de la obra.

El *pH*. Cuando es elevado o bajo, las condiciones serán desfavorables para el crecimiento biológico, a pesar de que existen microorganismos, bacterias y hongos, que prefieren un medio ácido (Acidófilos) y otros que lo prefieren alcalino (Alcalófilos).

El *oxígeno*. Es imprescindible para la vida de los microorganismos aerobios, si bien existen procariotas capaces de vivir a tensiones bajas de oxígeno (microaerofilos, anaerobios y anaerobios facultativos).

La *temperatura*. Influye sobre la velocidad de crecimiento de los microorganismos, aunque son capaces de crecer en rangos muy amplios. La temperatura de crecimiento óptima para los microorganismos mesófilos, que son mayoritarios, oscila entre los 25-35°C, a bajas temperaturas inferiores la velocidad de las reacciones químicas disminuye, salvo para los microorganismos psicrófilos. Los termófilos e hipertermófilos admiten temperaturas de crecimiento muy superiores.

La *luz*. Es fuente de energía para la fotosíntesis de las cianobacterias, los líquenes, las algas, los musgos y las plantas. Para otros organismos la oscuridad es beneficiosa (mohos, insectos xilófagos y termitas).

La *contaminación*. Puede afectar a los organismos inhibiendo (es lo más frecuente) o potenciando su desarrollo. Por eso algunos microorganismos sirven como indicadores del grado de contaminación (líquenes).

Todos estos agentes biológicos incidirán en mayor o menor medida y de forma más o menos gradual según las condiciones en las que se encuentre la pieza, alterando los distintos materiales hasta provocar fragilidad, descohesión, cambio de color e incluso su destrucción completa.

1.2 BIODETERIORO EN SOPORTES TEXTILES DE OBRAS PICTÓRICAS

Vigo (1980) en Caneva *et al.* (2000) explica que el carácter biodeteriorable de las telas está condicionado además por otras características de las fibras de celulosa como el grado de polimerización, la longitud de sus cadenas, su cristalinidad y su orientación. De este modo se deduce que daños de tipo mecánico, químico o fotoquímico pueden aumentar la susceptibilidad al biodeterioro, al modificar estas características estructurales.

Otro estudio dedicado al origen biológico del deterioro de soportes pictóricos textiles, Schlegelb y Jannasch (1981) en Caneva *et al.* (2000) se refieren a la degradación de las fibras de celulosa por bacterias como *Cytophaga* y *Sporocytophaga*.

Nicolaus (1998) explica como el moho y las bacterias desintegran la celulosa y la importancia de las características climáticas de los edificios que albergan las obras. Para ello expone que se requiere una humedad relativa del aire alta o agua de condensación, condiciones que, afortunadamente hoy, apenas se dan en las galerías públicas y privadas. La descomposición de la celulosa provocada por los microorganismos determina la aparición en el soporte de fenómenos de decadencia similares a los de la oxidación. También en este caso la fibra del tejido pierde consistencia y elasticidad. Se vuelve quebradiza y se deshace.

Caneva *et al.* (2000) defiende que, como sucede con otros materiales de origen vegetal, la susceptibilidad al ataque biológico depende del contenido porcentual de celulosa, de lignina y de otros componentes orgánicos. Cuanto más pura sea la celulosa, más difícilmente podrá ser atacada. En orden de mayor a menor contenido en lignina (y, por tanto, más o menos resistentes al ataque biológico) encontramos el yute, el cáñamo, el algodón y el lino. El carácter biodegradable está condicionado, además, por otras características de las fibras de celulosa como el grado de polimerización, la longitud de sus cadenas, su cristalinidad y su orientación. De esto se deduce que daños de tipo mecánico, químico o fotoquímico puedan aumentar la susceptibilidad al biodeterioro, al modificar estas características estructurales. Algunos de los microorganismos que identifica como más importantes son: de hongos, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Memnoniella*, *Myrothecium*, *Neurospora*, *Penicillium*, *Scopulariopsis*, *Stachybotrys*, *Stemphylium*, *Chaetomium*, etc... y de bacterias celulolíticas: *Cellvibrio*, *Sporocytophaga*, *Myxococcoides*, *Cellfalcicula*, *Microspora* o especies anaerobias como el *Clostridium* sp.

Sobre biodeterioro en textiles citaremos también el trabajo de Sánchez-Piñero y Bolívar (2003) y Szostak-Kotowa (2004) sobre la acción de agentes biológicos como determinados insectos y como estos favorecen la aparición posterior de microorganismos que producen coloraciones en las fibras.

Uno de los trabajos más completos y recientes es el descrito por Villarquide (2005b) que expone los factores de alteración de la celulosa como principal componente del soporte textil. Hace especial mención de los factores ambientales y los cambios físico-químicos que experimenta el soporte en relación a los procesos de biodeterioro por microorganismos describiendo los procesos de degradación enzimática, los daños mecánicos, las alteraciones ópticas y la acción de los ácidos o álcalis en el proceso metabólico.

1.3 BIODETERIORO EN LOS MATERIALES FILMÓGENOS

MATERIALES FILMÓGENOS NATURALES	PROTEÍNAS	Colas y gelatinas animales, proteínas vegetales, caseína huevo y albúmina.
	POLISACÁRIDOS	Harinas, gomas y mucílagos vegetales, celulosa, amidas.
	LÍPIDOS	Aceites, ceras.
	TERPENOS	Resinas naturales, goma laca.

Tabla 1. Composición de los materiales filmógenos naturales empleados en pintura sobre lienzo. Basada en Cremonesi, en Fuster (2004).

1.3.1 Los aglutinantes

Pueden ser de gran utilidad aquellos trabajos que tratan el biodeterioro de estos materiales en otros ámbitos, como su empleo en productos cosméticos y materias puras (Flores *et al.*, 1997).

En Villarquide (2005b) se exponen las consecuencias del proceso de biodegradación que sufren las colas y aceites especialmente cuando el polvo se acumula y las condiciones de humedad lo permiten hasta el punto que estos materiales pierden por completo sus capacidades adhesivas y aglutinantes.

Sobre el efecto de determinadas bacterias en la decoloración de pinturas al óleo destaca el trabajo de investigación en laboratorio de Khijniak *et al.* (2005). Su experimento evidencia los efectos cromáticos y la degradación de los aceites así como que la intensidad de los procesos de oscurecimiento depende de la especie de bacteria y del tiempo de incubación.

1.3.2 Los barnices

Otras investigaciones recientes sólo se han centrado en el microbiodeterioro de resinas y polímeros sintéticos, propios del siglo XX como Gu *et al.* (1998).

Caneva *et al.* (2000), estudia la pigmentación de los micelios, como es el caso de las Dematiaceae, que producen daños estéticos superficiales mucho más evidentes que las veladuras blanquecinas que producen otras especies.

Sobre el estudio de la biodegradación bacteriana citamos un trabajo dedicado a los ácidos resinosos, en concreto la resina colofonia, que se encuentran en la pulpa del papel y a sus tratamientos biocidas, que sirve como revisión bibliográfica en este tema (Thoms, 2000).

En otro trabajo dedicado al conjunto de alteraciones que pueden sufrir los barnices encontramos citados a los hongos como causantes de cierto tipo de blanqueamientos y debilitación de la capa de protección (Calvo, 2002).

Las resinas muestran una alta resistencia al ataque biológico que, si se produce, es sobre la suciedad superpuesta. Se dividen así en aquellas de resistencia alta (terpénicas, acrílicas) y resistencia media (vinílicas, alquídicas). Los *mohos* tienen un aspecto similar a los pasmados, por lo que se pueden confundir con estos: una limpieza los diferenciará pues los mohos se eliminan fácilmente con agua, (Villarquide, 2005b; Weirich, 1998).

1.4 LOS MÉTODOS ANALÍTICOS

Las primeras propuestas presentaban el SEM como método analítico adecuado para la observación de este tipo de alteración microbiológica en pinturas sobre lienzo, (Bassi y Giacobini, 1973). Estos autores proporcionan además interesantes datos sobre el origen de estos agentes y sobre la importancia que tiene la naturaleza del soporte artístico en relación al deterioro que se pueda producir destacando que la naturaleza de la degradación biológica en un lienzo se diferencia bastante de cualquier otra forma de degradación físico-química de carácter genérico.

Propuestas posteriores más avanzadas proporcionan datos sobre metodología aplicada y sobre los efectos de la acción microbiológica en capas pictóricas, concretamente el deterioro producido por hongos y bacterias, destacando la importancia de especificar los grupos causantes de estas alteraciones, (Giacobini *et al.*, 1991a-b). Se requiere de un reconocimiento previo de las condiciones ambientales y de un muestreo adecuado, empleando posteriormente técnicas tales como la observación por microscopía óptica, TEM y SEM así como la importancia de cuantificar la “carga microbiana” o cantidad de microorganismos existentes.

Otros autores dedican sus trabajos a casos más concretos como puede ser el biodeterioro producido por el hongo *Fusarium*, en el que se exponen todos los métodos analíticos empleados en su estudio, experimentos, cultivos, y observaciones en SEM (Gu *et al.*, 1998).

Se ha estudiado el protocolo de análisis de los materiales pictóricos realizado por Alonso (1997) en obras de fray Juan Sánchez Cotán pertenecientes al Museo de Bellas Artes de Granada. Este es un claro ejemplo de trabajo multidisciplinar en donde se han realizado estudios históricos y materiales junto a análisis químicos y de microscopía óptica y electrónica para el estudio de fibras textiles y análisis elemental de capas pictóricas.

Sobre el empleo de técnicas espectroscópicas y concretamente la espectrometría infrarroja por transformada de Fourier en el análisis químico de los bienes culturales hacemos referencia al trabajo de Gutiérrez (1998a) aplicada a la identificación de materiales orgánicos como adhesivos, consolidantes, aglutinantes, barnices y colorantes.

En caracterización de barnices pictóricos destaca el estudio que propone métodos como la cromatografía de masas y la pirólisis en resinas, gomas y barnices triterpénicos, (Colombini *et al.*, 2000). En la aplicación de técnicas cromatográficas a la identificación de aglutinantes y barnices en capas pictóricas destaca el trabajo propuesto por Gutiérrez (1998b).

Otro estudio específico es el referente a la oxidación sobre pinturas producida por hongos en la que se pueden extraer interesantes indicaciones sobre metodología analítica empleada en estos casos (SEM y cromatografía) y sobre compuestos orgánicos que pueden formar parte de sustancias filmógenas (Arai, 2000).

Sobre la contaminación microbiológica en soportes pictóricos textiles son diversos los estudios que proponen el empleo del SEM como método analítico es el descrito por Maifreni *et al.*, 1991.

También en cuanto a degradación microbiana en patrimonio cultural destaca el estudio de Seves *et al.* (2000), para la identificación de los microorganismos causantes del biodeterioro, además de las técnicas clásicas, destaca el uso de técnicas de biología molecular como la extracción de ADN, PCR, TGGE y análisis de secuencia de rRNA 16S (Schabereiter-Gurtner *et al.*, 2001 y Helms *et al.*, 2004).

Carmona *et al.* (2006) nos sirve como un reciente ejemplo de visualización de la acción de los microorganismos mediante microfotografías FESEM en materiales inorgánicos como son piezas históricas de cristal. En su trabajo podemos observar la acción físico-mecánica que se produce por el crecimiento de las hifas dentro de una estructura sólida.

1.5 LOS TRATAMIENTOS

Los primeros estudios tratan el control de los hongos que proliferan sobre los bienes culturales y tratan sobre los aspectos de conservación que deben reunir los edificios que albergan las colecciones, así como los tratamientos y las medidas preventivas que se deben tomar para evitar la aparición de estos microorganismos, (Heim *et al.*, 1969).

Sobre microbicidas otro estudio propone las sustancias adecuadas para erradicar cada tipo de ataque dependiendo del material a tratar (Paulus y Genth, 1990).

En cuanto al control medioambiental y la contaminación microbiológica que afecta a aglutinantes orgánicos destacaremos un estudio que determina la degradación producida por hongos (*Penicillium*, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Fusarium*, *Cladosporium*, *Stemphylium*, etc...) además de varias especies de levaduras. Los resultados de la acción de estos microorganismos se aprecia por la decoloración de pigmentos, pérdida de brillo, coloraciones diversas, degradación de engrudos y colas animales, etc... Se proponen dos métodos para la prevención del desarrollo de estos microorganismos, por un lado la conservación de la obra en ambientes de baja humedad y temperatura controlada y por otro el tratamiento con agentes fungicidas o bactericidas. En este estudio se expone además la metodología empleada en cultivos con muestras aisladas de pinturas de caballete, (Montes Estellés, 1994).

Como propuesta de sistemas de erradicación y tratamientos biocidas podemos encontrar el trabajo dedicado al control integrado de plagas en bienes culturales (Valentín, 1990; Valentín *et al.*, 1996), que se centra especialmente en colecciones museísticas y en materiales de archivo y bibliotecas. También como control del degrado biológico destaca el trabajo de Caneva *et al.* (1996) aunque esté aplicado a materiales pétreos.

En cuanto a control del biodeterioro y seguimiento de tratamientos biocidas existen numerosos estudios aplicados a la conservación de material textil que, aunque se alejan de nuestros objetivos, si pueden servir como listado de sustancias aplicadas y microorganismos sobre los que se llevan a cabo estos tratamientos (Evans, 1996).

Guillaume-Chauvannes, (1998) expone los criterios que determinan el carácter de un fungicida ideal tales como que no produzca compuestos secundarios perjudiciales o que tenga una buena durabilidad en el tiempo.

Sobre los problemas de desinfección en esculturas policromadas otro trabajo destaca métodos curativos y preventivos de acción, tales como la irradiación con rayos gamma y pulverización de fungicidas, (Gerard, 1998). Sobre el mismo tipo de obras también se destacan otros tratamientos fungicidas en Bougrain-Dubourg (1998).

Como tratamientos empleados en la antigüedad contra hongos y bacterias Nicolaus (1998) explica como ya ha finales del siglo XVIII se sabía que los cuadros con humedad alta eran colonizados por *mohos* y se pensaba en remedios desde el momento en que se utilizaban sustancias oleosas y resinosas para reducir la sensibilidad a la humedad. Cuando los cuadros debían conservarse necesariamente en espacios muy húmedos se recurría a una mezcla adhesiva de colofonia y de aceite de linaza hervido o a la adición de trementina de Venecia.

En España podemos encontrar un análisis sobre métodos de control biológico aplicados a escultura en madera en donde se cita el género *Alternaria* como causante de graves daños así como los biocidas que deben utilizarse dependiendo de las condiciones materiales y climáticas que reúnen las obras, (Sameño y Rubio, 1998).

Gérard (1998), expone los problemas que se plantean en la desinfección de distintos tipos de policromías.

Valentín y García (1999) desarrollan una pormenorizada lista de fungicidas así como sus ventajas e inconvenientes en todos los factores a tener en cuenta, como son la propia eliminación de los microorganismos, la integridad de los materiales que forman parte de la obra, el modo de aplicación y la toxicidad. Recomiendan nuevos métodos de ventilación pasiva como alternativa a los sistemas tradicionales empleados en archivos y museos.

2. INTRODUCCIÓN HISTÓRICO-ARTÍSTICA

El biodeterioro de obras pictóricas se encuentra directamente ligado a la composición material de las mismas y a la exposición o almacenamiento en unas específicas condiciones ambientales. Para llevar a cabo este estudio tenemos entonces que analizar las técnicas artísticas empleadas y relacionarlas con el tipo de deterioro producido por un determinado agente microbiológico. Se establece de esta manera una intersección de estudios artísticos con aquellos estudios más ligados al campo científico en especial al químico-analítico y al microbiológico.

En referencia a la pintura al óleo no se puede hablar de invención ya que actualmente se ha desacreditado la leyenda según la cual se consideraba a los hermanos *Van Eyck* inventores de la pintura al óleo; los romanos ya conocían esta técnica y la utilizaban, principalmente, para pintar escudos y armas. Se trataría de una prolongada y laboriosa evolución de aglutinantes óleo-resinosos, aplicados en la Alta Edad Media a la pintura decorativa, de armas, piedras, muros y, posteriormente, el arte puro. Una de las razones de que se impusiera y difundiera rápidamente este particular procedimiento pictórico es su gran facilidad de ejecución y su multiplicidad de efectos cromáticos.

Desde el principio de la historia son muchos los escritos que comentan los efectos del biodeterioro en obras de arte. Más escasos son los que se refieren a las alteraciones provocadas por hongos y menos aún por bacterias. La composición de sustancias orgánicas e inorgánicas que conforman las obras producía grandes daños que eran entonces denunciados por los artistas.

Una obra pictórica sobre tela está realizada por una superposición de estratos aplicados sobre el soporte seleccionado por el artista.

En el siguiente gráfico analizamos por capas un caso genérico de pintura sobre tela:

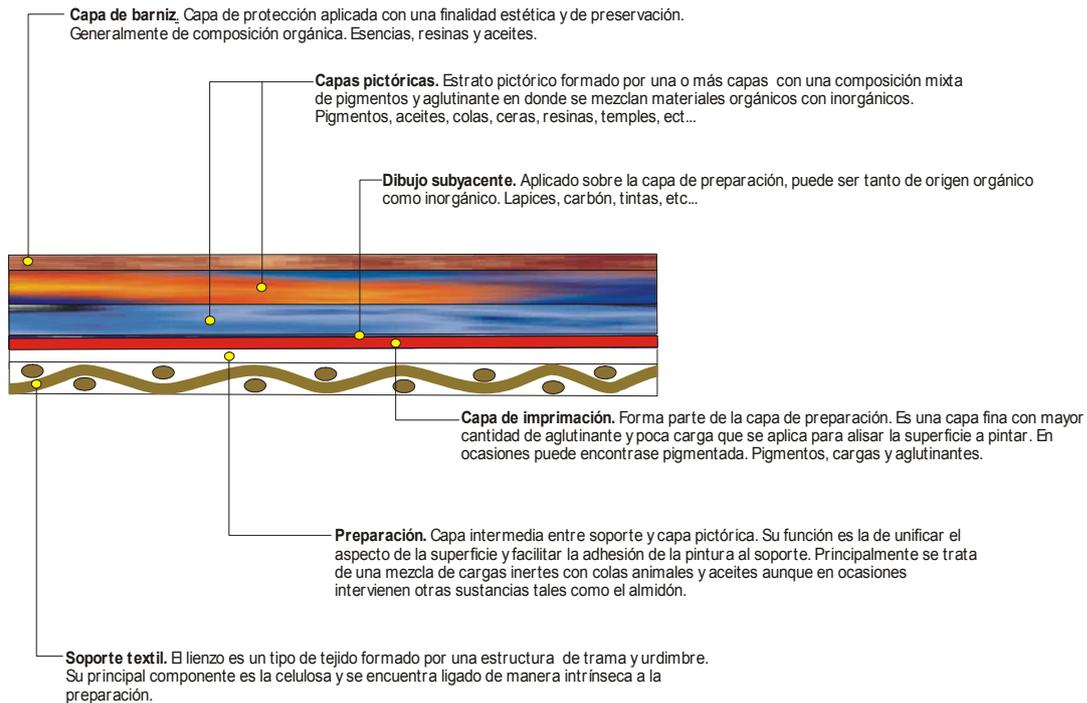


Figura 1. Esquema estratigráfico de la estructura pictórica en una pintura sobre lienzo.

2.1 MATERIALES PICTÓRICOS DESDE EL PUNTO DE VISTA ARTÍSTICO

Dada la gran variedad de materiales existentes en las obras de arte realizadas en el periodo estudiado trataremos de hacer referencia a los más comunes especialmente a aquellos que por su uso más extendido han sido referentes de los propios artistas para llevar a cabo sus creaciones.

Trataremos de establecer cuáles han sido las principales técnicas y materiales que se han empleado en el arte español desde el siglo XVI hasta el siglo XVIII coincidiendo con el desarrollo de la pintura al óleo. Anterior a esta etapa destacan principalmente aquellos tratados que describen las técnicas artísticas que se llevan a cabo en Europa, especialmente en Italia y Flandes recogidas en las obras de *Vasari*, *Cennini*, *Leonardo*, etc... Se pueden determinar cuáles han sido los materiales más empleados y como condiciona la naturaleza de una técnica pictórica su composición o la del soporte.

La implantación de la tela como soporte único reemplazando a la tabla comienza en el siglo XV y mayoritariamente en el XVI, aunque se empleará desde la antigüedad. Esto respondía a aspectos estrictamente pictóricos como la comodidad en la de preparación, su ligereza, su flexibilidad y resistencia, posibilitando conseguir tamaños mayores sin exceso de peso. En los siglos XVII y XVIII el tejido manufacturado es de trama algo abierta, e irregular. Palomino cita como lienzos de calidad los de Castilla, Andalucía y Coruña. A partir del siglo XVIII comienza la producción de paños en telares mecánicos que elaboran tejidos finos, apretados y uniformes. En general el tipo de fibra y tejido dependerán más del lugar de producción que de la época, a pesar de que a veces es frecuente durante un periodo una fibra determinada, como sucede en el siglo XIX con el algodón (Villarquide, 2005a).

Calvo (2002) explica cómo según el tipo de fibra empleada en la fabricación del lienzo su sensibilidad en ciertos procesos de degradación variará. El algodón es prácticamente celulosa pura y el lino presenta una mayor resistencia por su orientación molecular, absorbiendo menos humedad y con movimientos menos violentos. El cáñamo es similar al lino, aunque con mayor contenido en lignina, y es el más resistente a la intemperie y a la humedad teniendo en cuenta que el aumento de humedad relativa del aire provoca un aumento de su sensibilidad química.

En cuanto a la capa de preparación González (1997), clasifica los principales tipos de preparaciones en tres categorías según la naturaleza del aglutinante que interviene en su composición: preparación magra, imprimación oleosa y fondo mixto.

La preparación magra es aquella que está constituida por una sustancia de carga y/o pigmento cubriente aglutinada en un medio acuoso. A igual que ocurre con las técnicas pictóricas, el aglutinante empleado es el que condiciona su composición. Son las más antiguas y después de desarrollarse en Italia en el siglo XIV y Flandes en el siglo XV pasó a España para emplearla como base en soportes de madera con la técnica al temple durante la primera mitad del siglo XVI.

La imprimación oleosa es aquella preparación compuesta por un aglutinante de naturaleza grasa, generalmente aceites secativos o emulsiones, y por pigmentos cubrientes. Este tipo de fondo es característico del soporte textil ya que su desarrollo está estrechamente relacionado con la técnica del óleo. En general son coloreadas y se aplican sobre el soporte previamente aislado, normalmente con un aislante de naturaleza proteica, para evitar interacciones negativas en la conservación de la obra acabada.

El fondo mixto está constituido por la superposición de los dos tipos de fondos anteriores aplicando una preparación magra e imprimación oleosa, con o sin capa aislante intermedia. Se introduce en los soportes de madera a partir del siglo XV, como una adaptación de los fondos magros tradicionales para la técnica del temple a las nuevas exigencias de la pintura al óleo, intentando reunir en su conjunto las ventajas que pueden aportar ambas técnicas. Este tipo de fondo ha sido recomendado desde Vasari hasta prácticamente el siglo XVIII.

En la composición de estos estratos intervienen una serie de materiales básicos con mayor o menor número de aditivos.

Los aceites secantes, siguiendo a Calvo (1997), se emplearon entonces como vehículos o aglutinantes en pintura. En el Tratado *de Lucca*, del siglo VIII, se detalla el uso del aceite como barniz, disolviendo resinas en un aceite secativo; y en el Tratado de *Teófilo* figura la obtención del aceite de lino en la Edad Media, que era llamado también aceite graso, aceite de linaza cocido, sólo o con secantes, que para purificarlo se exponía al sol durante un tiempo.

González (1997), también define los aglutinantes como, aquellas sustancias empleadas con fines pictóricos para unir los granos del pigmento o de la carga entre sí y permitir que estos permanezcan adheridos al soporte sobre el que es aplicado.

Su elección está unida a varios factores como el soporte seleccionado, pigmento o carga que aglutina, empleo a que se destina (aislante, impermeabilizante) y técnica pictórica escogida por el artista. Los aglutinantes magros se pueden clasificar en aquellos derivados de una sustancia orgánica, básicamente colas animales, albúmina y caseína, y los compuestos por proteínas (carbono, hidrógeno y oxígeno) provenientes del reino animal. Los colágenos son proteínas generalmente contenidas en las colas animales. Las albúminas se encuentran principalmente en los aglutinantes a base de huevo. La caseína se localiza en derivados de productos lácteos. Dentro de este grupo las sustancias más empleadas como aglutinante en preparaciones magras han sido las colas animales. En los tratados de Pacheco y Palomino se recomienda la piel de carnero para la extracción de la cola así como la cola de ajo en soportes de madera al temple.

Los derivados vegetales empleados en estas capas son los compuestos básicamente por almidón y dextrina. El almidón se encuentra presente en la naturaleza en los granos, semillas y tallos de las plantas, mientras que la dextrina se extrae del calentamiento en seco del almidón. De estos los más utilizados han sido el almidón y la harina en soportes de tela al temple y al óleo.

Los aglutinantes grasos se han utilizado en la composición de la capa de imprimación. Tradicionalmente se han empleado aquellos que se obtienen de las semillas, granos y frutos de ciertas plantas: aceite de lino y nueces. Su empleo masivo se debe a la propiedad que tienen de formar una película homogénea trascurridos unos días desde su aplicación en capa delgada. El más empleado y casi unánimemente descrito en las fuentes ha sido el aceite de linaza.

En España son varios los tratados de pintura que dedican algunas anotaciones al uso del barniz en donde se recogen los principales materiales que tradicionalmente se utilizaban para su preparación.

Francisco Pacheco, en Calvo (2002), dedica unas notas a los diversos tipos de barnices y las recetas para su preparación. Comienza por el barniz más común que usaban los guadamecileros. También habla de otro barniz de almáciga molida en polvo, calentada hasta que se deshace con aceite de nueces y añadiendo después un poco de aceite de alhucema. Por lo que se refiere a las resinas cita, además de la sandárica y la almáciga, la colofonia que llama goma de pino, la trementina de veta de Francia y el menjuí, un bálsamo aromático. Y en cuanto a los vehículos, además del aceite de linaza y el de nueces, se refiere al aceite del espliego, aguardiente, aceite de sapo, *petrolio* y *aguaraz*. En barnices más recientes se pueden encontrar otras materias añadidas como productos secativos y ceras.

Palomino, en León Tello y Sanz Sanz (1995), define el barniz como “un licor compuesto de gomas; y aguas espiritosas, liquidado todo a fuego lento, o al sol, para bañar, y dar lustre y esplendor a las pinturas”. Al primer barniz lo denomina barniz de aguarrás, preparado con trementina y pez griega derretidas que se van añadiendo al mismo, El segundo barniz es el de almáciga con aceite de nueces derretidos al fuego. Un tercer barniz es el formado por copal y aguarrás. También se refiere al de grasilla y aguardiente de abanicos o espíritu de vino, al que se le puede añadir aceite de espliego o mejor aguarrás para evitar el “anieblamiento”; o el menjuí con aguardiente de abanicos. Y para la pintura también recomienda el acabado con clara de huevo aplicándolo siempre en tiempo fresco.

3. INTRODUCCIÓN CIENTÍFICO-TÉCNICA.

3.1 AGENTES DE BIODETERIORO

Se conocen muchos microorganismos capaces de deteriorar o alterar la obra de arte al utilizar como nutrientes algunos de sus materiales constitutivos. Los autótrofos, bacterias y algas, se nutren de materiales inorgánicos atacando sobre todo frescos, objetos arqueológicos y monumentos; se pueden desarrollar en superficie o penetrar en profundidad, cubren los materiales y los mantienen constantemente húmedos, y además, producen ácidos orgánicos capaces de solubilizar las sales minerales necesarias para su nutrición. Por otro lado, los heterótrofos, bacterias y hongos, se alimentan de materia orgánica destruyendo, por ejemplo, la celulosa. Los hongos, son los microorganismos quizás más dañinos y frecuentes, atacando desde frescos hasta tablas y lienzos. Algunos producen manchas blanquecinas o azuladas, y otros llegan a degradar la madera ocasionando lo que se llama la “pudrición parda o blanca”. Como describen Matteini y Moles (2001), las proteínas son descompuestas fácilmente por las enzimas y por la acción de algunos microorganismos. De manera similar a las proteínas, los polisacáridos son sensibles a la agresión de numerosos microorganismos, mientras que, a diferencia de ellas, presentan una reactividad química mucho mayor.

Para el tratamiento contra los microorganismos se pueden eliminar los ya existentes, pero sobre todo se deben implantar las condiciones ambientales que impidan su desarrollo, (Calvo 1997).

3.1.1 Bacterias

Las bacterias son células procariotas formadas, salvo excepciones, por una pared celular y un **protoplasto** que incluye la membrana plasmática y el citoplasma, que contiene al nucleóide, ribosomas, inclusiones, membranas intracitoplasmáticas y plásmidos; otras estructuras externas, como la **cápsula o la capa S**, pueden o no estar presentes. Lo mismo ocurre con las **fimbrias y los flagelos**, sólo presentes en células móviles.

En cuanto a la forma, las bacterias pueden ser esféricas (**cocos**), en forma de bastón (**bacilos**), espirales (**espirilos**) o filamentosas, presentar yemas o pedúnculos o no tener forma determinada (**pleomórficas**).

Desde el punto de vista nutricional, las bacterias exhiben una amplísima gama de modalidades metabólicas pudiendo utilizar como fuentes de carbono y energía una gran variedad de compuestos orgánicos e inorgánicos, así como la energía luminosa.

Se definen como **autótrofos** aquellos que pueden usar el CO₂ como fuente única o principal de carbono y como **heterótrofos** a los que emplean moléculas orgánicas preformadas y reducidas, como fuente de carbono. Si atendemos también a la fuente de energía utilizada por estos organismos, nos encontramos con cuatro tipos nutricionales:

Autótrofos fotolitotrofos (fotoautótrofos), utilizan energía luminosa y CO₂.

Autótrofos quimiolitotrofos, oxidan compuestos inorgánicos para obtener energía y CO₂.

Heterótrofos fotoorganotrofos, Energía luminosa y materia orgánica.

Heterótrofos quimiorganotrofos, compuestos orgánicos para obtener energía y como fuente de carbono.

Algunas bacterias como los géneros *Pseudomonas*, *Burkholderia*, *Bacillus*, *Arthrobacter*, *Streptomyces* y *Nocardia* entre otras, se caracterizan por ser capaces de producir enzimas hidrolíticas extracelulares que les permiten utilizar y por ello degradar gran variedad de compuestos orgánicos, más de 100 en el caso de *Burkholderia*, siendo responsables de los procesos de mineralización de restos de animales y plantas, e incluso compuestos xenobióticos y recalcitrantes como pesticidas, herbicidas, tolueno, xilol, alcanfor y diversos derivados del petróleo.

Para el estudio de las bacterias, los medios de cultivo son imprescindibles dado que nos permiten mantener los microorganismos en el laboratorio, aislarlos, identificarlos y conocer sus capacidades fisiológicas y metabólicas.

Un medio de cultivo es una solución acuosa, líquida o en estado de gel que contiene todas las sustancias necesarias para el crecimiento de un o unos determinados microorganismos. Todos los microorganismos necesitan fuentes de energía, de carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y otros minerales, pero la composición precisa de un medio adecuado depende de la especie que se quiera cultivar, pues las necesidades nutricionales varían considerablemente.

3.1.2 Hongos

Constituyen un grupo muy diverso de organismos eucariotas unicelulares y pluricelulares. Se han descrito unas 90.000 especies, aunque se sospecha que su número real podría ascender a 1.5 millones.

Las células de los hongos se caracterizan por poseer una pared celular semejante a la de las plantas en estructura, pero de diferente composición química, ya que está constituida por quitina en lugar de celulosa.

Desde un punto de vista metabólico son todos quimiorganotrofos, y con requerimientos nutritivos muy simples.

Muchas especies pueden crecer en condiciones de acidez, baja temperatura y alto grado de humedad, lo que unido al hecho de que formen esporas hace que se encuentren en gran cantidad de ambientes diferentes y que se aislen de todas las superficies siendo una de las principales causas de contaminación de alimentos, contaminación de medios de cultivo en los laboratorios y del biodeterioro de muy variados materiales. Sus hábitats naturales son muy diversos, y aunque algunos se encuentran en aguas, la mayoría se localizan en suelos o sobre materia orgánica en descomposición contribuyendo a su mineralización.

En cuanto a su clasificación, dejando a un lado la filogenia, los hongos se han dividido en dos grandes grupos: los llamados hongos verdaderos donde se incluyen los Ascomicetos, Basidiomicetos, Zigomicetos y Deuteromicetos, y los llamados *mohos* mucosos que incluyen Myxomicetos y Acrasiomicetos, un grupo aparte es el constituido por los Oomicetos o *mohos* acuáticos. Los hongos verdaderos se reproducen asexualmente y en algunos casos presentan también ciclos de reproducción sexual. En ambas modalidades se forman esporas de diferentes tipos que por sus características especiales de resistencia a los agentes medioambientales explican la ubicuidad de estos organismos.

Los principales agentes de contaminación son los hongos filamentosos que incluyen géneros de Ascomicetos, Zigomicetos y Deuteromicetos. Crecen formando hifas cuyo conjunto se denomina micelio. Los micelios suelen ser pigmentados mostrando diversas tonalidades.

Dentro de este grupo se encuentran hongos de gran interés como son los géneros *Penicillium* y *Cephalosporium*, los cuales producen las penicilinas y las cefalosporinas, respectivamente, que son dos de los antibióticos naturales más utilizados en clínica, *Rhizopus* que es utilizado en bioconversiones, y *Aspergillus*, principal responsables del deterioro de los alimentos, tanto a temperatura ambiente como en frío, los hongos de la podredumbre blanca de la madera capaces de degradar la lignina y los hongos de la podredumbre marrón que degradan la celulosa. Estos hongos producen enzimas inespecíficos, por lo que también pueden degradar otros compuestos recalcitrantes. Por ello se utilizan para decolorar los efluentes de las papeleras y de las industrias textiles que vierten colorantes, o para la producción de compost.

3.2 MATERIAL ARTÍSTICO

Cualquier obra de arte está sometida a una progresiva destrucción dependiendo de la materia de la que está formada y de las condiciones en las que ha sido conservada. No se puede pasar por alto que muchos de estos objetos están constituidos por celulosa y lignina, o bien se someten a tratamientos con proteínas, ceras, barnices, etc. Todos estos compuestos orgánicos pueden ser utilizados como elementos nutritivos por una gran variedad de microorganismos. Por lo tanto la presencia de organismos depende de las condiciones climáticas (humedad y temperatura), especialmente las microclimáticas, así como de la presencia de un sustrato nutritivo y de su naturaleza -textura, pH, etc...-, (Sameño, 1998; Matteini y Moles, 2001).

A continuación se detallan los principales materiales orgánicos (soportes textiles y materiales filmógenos) utilizados en pintura sobre lienzo empleando la técnica al óleo.

3.2.1 Composición química

En este trabajo nos vamos a encargar de aquellos de origen natural y de naturaleza química orgánica.

Los compuestos orgánicos que pueden aparecer en obras pictóricas sobre lienzo son: las telas como soportes textiles y aquellos materiales que en las capas pictóricas y de preparación deben su uso a sus propiedades filmógenas (son sustancias que se aplican en estado líquido y al secar son capaces de formar capas o películas) utilizándose para la preparación de aglutinantes, adhesivos, consolidantes y barnices. Corresponden a los siguientes grupos de sustancias: proteínas, polisacáridos, ceras, aceites secantes, resinas naturales y materiales bituminosos (Gutiérrez, 1998b).

3.2.2 Telas

Las fibras de los tejidos que son objeto de nuestro estudio están compuestas principalmente por celulosa. De la elección del tipo de fibra de un soporte pictórico dependerá el comportamiento y las características del mismo. Las fibras formadas por celulosa (vegetales) están constituidas por polímeros que les confieren unas cualidades excelentes. Como estas fibras forman tejidos fibrosos o leñosos, han de ser elásticas y resistentes mecánicamente. Están compuestas de celulosa, que es un polisacárido lineal formado por polimerización mediante condensación de unidades de B-glucosa (monómero). Estructuralmente las cadenas de celulosa están dispuestas de forma pseudocristalina formando cadenas compactas en disposición paralela (Villarquide, 2005a).

Son textiles realizados mediante el entrecruzamiento de hilos procedentes de diferentes fibras vegetales (cáñamo, lino, algodón), animales (seda, lana), o sintéticas. Los tejidos simples están formados por el entretejido de la urdimbre con la trama. Pueden tener formas paralelas, diagonales, en espiguilla, etc (Calvo, 1997).

El lino se obtiene del tallo de la planta del mismo nombre. El número de manojos de fibras en el tallo varía de 15 a 40; cada manojito contiene de 12 a 40 fibras útiles. Las fibras primarias están constituidas por células muy puntiagudas, de paredes muy gruesas y con un lumen muy pequeño. Una peculiaridad de la fibra de lino, es la presencia de dislocaciones transversales o nódulos normalmente en forma de X, que se observa con facilidad cuando las fibras se introducen en parafina líquida.

El cáñamo tiene fibras elementales semejantes a las del lino en sus dimensiones y apariencia general. Las fibrillas externas de la pared de la célula siguen con toda una dirección que corresponde a una vuelta en Z, en sentido contrario a las agujas del reloj. La presencia de cristales en las cenizas del cáñamo es otro hecho distintivo (Hall & Davis, 1968; Bolívar 1997 y 1998).

3.2.3 Aglutinantes

Las sustancias filmógenas y aglomerantes se denominaban tradicionalmente medios o vehículos. Las primeras son sustancias orgánicas que se aplican en forma de líquidos viscosos sobre una superficie, de modo que al secar solidifican y forman una película dura y flexible y pueden clasificarse a su vez en aglutinantes, barnices y adhesivos, según la función que desempeñen. Los aglomerantes o aglutinantes inorgánicos en suspensión acuosa son capaces de fraguar, tanto a temperatura ambiente como mediante cocción, formando capas cubrientes.

Estos materiales filmógenos se aplican sobre una superficie en estado líquido y al secar son capaces de formar capas o películas, utilizándose para preparar aglutinantes, adhesivos, consolidantes y barnices.

Son sustancias que mantienen las partículas tanto de los pigmentos como de las cargas inertes, unidas entre sí, cohesionadas, y con el soporte o la capa anterior. El tipo de medio determina la técnica pictórica o artística. Los aglutinantes centro de nuestro estudio son aquellos compuestos complejos, como las sustancias orgánicas naturales. Estos últimos pueden ser proteínicos, azúcares y oleaginosos. Muchos artistas han empleado técnicas mixtas para los aglutinantes, o han pintado con diferentes aglutinantes según zonas y colores, o según capas. Los aglutinantes pueden perder, con el tiempo y ciertas condiciones adversas, su propiedad de cohesionar los pigmentos, causando superficies pulverulentas, o separándose las capas (Calvo, 1997).

3.2.4 Adhesivos

Siguiendo a Gómez (2000), se pueden clasificar principalmente en almidón, colas animales, goma arábica y caseína.

El almidón es un polisacárido natural, de origen vegetal, que constituye la principal reserva hidrocarbonada de las plantas superiores. Es soluble en agua fría, pero en caliente se disuelve bien y al enfriarse da lugar al engrudo de almidón, que actúa como una cola o adhesivo. Es atacable por microorganismos y con el tiempo puede cristalizar.

Las colas animales están formadas por gelatina, que se obtiene a partir del colágeno, proteína existente en la piel y cartílagos. Por su origen puede ser de conejo, ovinos, bovinos y se obtienen de la cocción de pieles, huesos o residuos de los animales. Por otro lado están las de pescado. Presentan algunos inconvenientes como la putrefacción, el endurecimiento y cristalización. Estas desventajas se intentan paliar en parte con aditivos como fungicidas y plastificantes.

La goma arábica es una secreción de la acacia y se emplea en solución acuosa como aglutinante de los colores de acuarela y *gouache*. Es un excelente coloide protector y se utiliza como estabilizador de emulsiones o dispersiones, y también como espesante.

La caseína es la principal proteína de la leche. Es una fosfoproteína (con fósforo y azufre). Es un sólido amorfo, blanco o incoloro, higroscópico, estable cuando se mantiene seco, pero se deteriora rápidamente cuando está húmedo. Se emplea como aglutinante en pinturas al temple, revestimientos de papel, adhesivo, etc...

3.2.5 Barnices

En cuanto a la composición de los barnices, Masschelein-Kleiner (1992) explica que, el principal componente es la resina. Existen varios tipos de resinas atendiendo a su compleja composición. Según el nombre de las unidades de isopreno que contienen las moléculas las sustancias terpénicas se clasifican en monoterpenos, sesquiterpenos, diterpenos, y triterpenos. Estas últimas son las que configuran la composición de los principales barnices tradicionales usados en obras de arte. Los grandes productores de diterpenos son las coníferas y las caesalpiniáceas. Los triterpenos provienen sobretodo de las angiospermas.

Las resinas naturales se han empleado sobre todo como barnices pero también como ligantes y adhesivos. Se han usado sobre todo en mezclas con aceites y ceras para aumentar la durabilidad, el punto de fusión o la adhesividad (Massa y Scicolone, 1991).

En el trabajo de Gómez (2000) se explica cómo las resinas naturales o terpénicas se emplean en la formulación de barnices, especialmente las resinas blandas, ya que las duras son muy ácidas, oscurecen, pierden su flexibilidad y se hacen muy solubles con el tiempo. Forman películas transparentes bastante duras e impermeables.

Los diterpenos son los componentes mayoritarios de las resinas duras. Las resinas blandas se extraen de especies de angiospermas, están formadas fundamentalmente por triterpenos, con 30 carbonos y seis unidades de isopreno. La película de barniz compuesto que forman las resinas naturales se produce al evaporarse la mayor parte del disolvente existente en la superficie, hasta llegar a un valor aproximado del 5% de su concentración inicial. (Gómez, 2000).

Sobre el tipo y preparación de barnices, Boutcé (1980) los divide en cuatro grupos: barnices de aceite, barnices de resinas duras, barnices de alcohol, esencias o resinas blandas y barnices mezclados.

3.3 ALTERACIONES

A continuación se analizan las morfologías de alteración que aparecen en las obras de arte españolas (siglos XVI-XVIII), concretamente los procesos de biodeterioro y biodegradación que sufren los materiales orgánicos que componen un cuadro tales como el soporte textil, los aglutinantes de los pigmentos, las sustancias de carga y los barnices que cumplen una función estética y de protección. Con los datos obtenidos pretendemos caracterizar los tipos de alteraciones con una terminología precisa ya que para el biodeterioro pictórico no existen propuestas específicas como para el biodeterioro en materiales pétreos y pintura mural en donde se emplean términos mucho más establecidos y consolidados (Alcalde, 1990; Bolívar 1995 c).

Evans (1996) realiza un estudio sobre el biodeterioro de la celulosa en textiles en donde analiza la degradación por la hidrólisis enzimática produciéndose la segmentación y la destratificación de la estructura fibrilar.

Nicolaus (1999) afirma que los deterioros del soporte textil se deben sobre todo a las propiedades desfavorables de la celulosa como son la oxidación, las reacciones fotoquímicas y la higroscopicidad.

Sobre los mecanismos y fenomenología del biodeterioro destaca por su importancia el estudio de Caneva, Nugari y Salvadori (2000) que expone los procesos físicos y mecánicos así como los procesos químicos según la diferente composición de los materiales. También describen la fenomenología o aspecto morfológico a través del cual se manifiesta el biodeterioro.

Nugari en Sonnino (1997) analiza las coloraciones que se producen en la superficie pictórica indicando que las zonas más higroscópicas de las obras y aquellas en las que hay más cola son las más adecuadas para el crecimiento de hongos.

Otra referencia reciente es la tratada por Calvo (2002) que, en el capítulo de alteraciones, hace mención a las causas biológicas describiendo resumidamente las condiciones climáticas y los procesos químicos con los que se desarrollan los microorganismos en una pintura sobre lienzo.

Las obras están expuestas en un ecosistema o entorno con unas características ambientales y con unas condiciones de conservación como son humedad, temperatura, gases, etc. Sus cambios dependen de la contaminación atmosférica variable (gases), la humedad, la temperatura, la luz y los ataques biológicos (Villarquide, 2005b).

Los materiales orgánicos pueden sufrir la acción de hongos y bacterias que en muchas ocasiones no son apreciables a simple vista. Esta degradación afecta especialmente a la cola y a la tela, sustancias que les sirven de alimento, o en materiales que, como el yeso, muestran una textura irregular, con burbujas y huecos formados durante su preparación. Este tipo de materia no completamente compacta permite el alojamiento de hongos en dichos espacios vacíos. La infección, en condiciones propicias, puede llegar a extenderse sobre todos los estratos de la pintura, especialmente con suciedad acumulada en superficie, grietas, craquelados, etc., a pesar de que los aceites en principio no son favorables a desarrollar hongos, sobre todo si están protegidos por barniz. Es importante determinar si el ataque está sobre la superficie con suciedad del cuadro, o bien afecta a capas internas, caso en el que el aglutinante atacado quedará pulverulento. Los hongos dejarán el material microfisurado, degradado, sin cumplir correctamente las funciones de adhesividad o aglutinación. Pueden distinguirse como manchas claras u oscuras sobre la pintura, normalmente en zonas craqueladas. (Villarquide, 2005b).

Teniendo en cuenta el tipo de alteraciones analizadas en los estudios y trabajos llevados a cabo en muestras de laboratorio y en obra real a continuación se precisan distintos términos usados en la terminología de la bibliografía consultada referente a las alteraciones de soportes textiles, barnices y aglutinantes orgánicos (Poyatos *et al.*, 2003).

3.3.1 ALTERACIONES DEL LIENZO

Hidrólisis

En cuanto a las alteraciones de origen microbiológico en el lienzo Calvo (2002) habla de la hidrólisis como la degradación química de una materia orgánica por el agua, que produce la ruptura de las cadenas macromoleculares y favorece la presencia de *mohos* y microorganismos, dando lugar a la fragilidad y pudrición de la tela. La humedad, la temperatura y el oxígeno favorecen el crecimiento de organismos vivos que constituyen los elementos biológicos de degradación. Microorganismos, hongos y bacterias pueden alimentarse de la celulosa, almidones y colas, transformando la materia orgánica. Las alteraciones de tipo biológico se pueden manifestar en los soportes de tela de diferentes formas, como manchas blanquecinas o de distintos colores (pardos, grises o negros) en las que, si se aprecian filamentos o *micelium*, corresponden a mohos y hongos que provocan la hidrólisis de la celulosa y la pérdida de resistencia mecánica.

La hidrólisis de la celulosa crea también situaciones de distinta adhesión entre la película pictórica y el lienzo (Caneva *et al.*, 2000).

Coloraciones

Calvo (2002) describe la aparición de manchas blanquecinas o de distintos colores (pardos, grises o negros) en las que, si se aprecian los filamentos o *micelium*, corresponden a *mohos* y hongos que provocan la hidrólisis de la celulosa y la pérdida de resistencia mecánica.

Pérdida de resistencia

Los materiales orgánicos que componen la tela son sensibles a las reacciones de oxidación, hidrólisis y alteraciones fotoquímicas, que contribuyen al complejo proceso denominado “envejecimiento”. El componente fundamental de las fibras vegetales es la celulosa, que es sensible a la luz y a los microorganismos. La celulosa es higroscópica y sensible a la oxidación (Calvo, 2002).

Pérdida de soporte

Básicamente se produce por fenómenos de transformación y biodegradación a consecuencia de la oxidación, de la hidrólisis y por la acción enzimática de los microorganismos.

3.3.2 ALTERACIONES DEL AGLUTINANTE

Degradación enzimática

Alteración producida por las células vivas que producen enzimas o catalizadores orgánicos (proteínas) para acelerar las reacciones químicas descomponiendo materia orgánica (Calvo, 1997).

Coloraciones

Emisión de exopigmentos, normalmente muy coloreados (rojos en su mayoría) causa manchas indelebles que, aunque estén extendidas sólo por la parte posterior, son absorbidas por la superficie pintada, que queda así alterada irremediablemente (Caneva *et al.*,2000).

Disgregación

Separación o desunión de las partículas, o de los compuestos de un material. Se manifiesta mediante un aspecto pulverulento, y el tratamiento correspondiente es la consolidación, (Calvo, 1997).

Pulverulencia

En capas pictóricas, es la alteración como consecuencia de la descomposición o migración del aglutinante que deja de cumplir su misión cohesionadora de los pigmentos, (Calvo, 1997).

Para Nicolaus (1999), este proceso se denomina también fallo del aglutinante. La causa está en un aglutinante desintegrado por influjos mecánicos, químicos o biológicos, de modo que desaparecen la cohesión entre carga/pigmento y aglutinante y la adhesión a la capa situada debajo. Este deterioro se da sobre todo en las capas de pintura y de imprimación de aglutinantes acuosos. Una causa muy frecuente es posiblemente la desintegración biológica. Cuando la humedad es alta los componentes orgánicos de la estructura del cuadro constituyen un campo de cultivo ideal para los microorganismos.

3.3.3 ALTERACIONES DEL BARNIZ

Amarilleamiento

Alteración propia de los barnices antiguos aplicados sobre las pinturas, sobre todo los de almáciga, pero también los de resina damar. Se producen como efecto del envejecimiento, en el que la luz y la humedad son factores determinantes. Sin embargo el sol elimina el amarilleamiento de estos barnices, aunque no modifica su envejecimiento químico por lo que simplemente, cambia su efecto estético (Calvo, 1997).

Según Nicolaus (1999) si un barniz claro y transparente pierde al cabo del tiempo su aspecto original y se vuelve de amarillo a parduzco se habla de amarilleamiento. Todos los barnices utilizados hasta ahora en la pintura y la restauración amarillean con mayor o menor intensidad. La magnitud del amarilleamiento depende de la composición del barniz. El proceso se puede comparar con el amarilleamiento del óleo. También las resina naturales son compuestos no saturados que al absorber oxígeno forman productos amarillos de oxidación. Los barnices amarilleados alteran el efecto lumínico y las estructuras de una capa pictórica.

La resina fresca no absorbe en el visible y es completamente transparente. Al envejecer, la absorción va aumentando con el tiempo en la zona que va del violeta al azul y por ello el color transmitido es el complementario, el amarillo. Se observa un rápido envejecimiento que luego se mantiene prácticamente constante. Si se somete la película a un posterior envejecimiento por calor, el amarilleo aumenta de nuevo de una manera más rápida. Al ir aumentando los grupos carboxilos e hidroxilos, la capa se hace cada vez más sensible al agua, pasando a ser mate en presencia de humedad (Gómez, 2000).

Azuleamiento.

Siguiendo a Calvo (1997), es el aspecto azulado opaco que presentan algunos barnices, principalmente por efecto de la humedad. Se puede eliminar, si la superficie se encuentra en buenas condiciones, con el frotado de un paño seco de lana, seda o algodón. En otros casos se recurre a la esencia de trementina, o a un barnizado superpuesto frotando ligeramente.

Se denomina azulado (“bloom”) a una capa extendida sobre un barniz, que es primero pardusca y después, al volverse más gruesa, de tonos azules o grises. En general aparece sólo parcialmente en superficies barnizadas brillantes y llama sobre todo la atención en capas pictóricas oscuras. Tienden al azulado sobre todo las capas gruesas y brillantes de barniz, y su origen todavía no se conoce exactamente. La capa lechosa y turbia se produce sobretodo en cuadros que han estado expuestos a una atmósfera urbana.

Por lo general el fenómeno se produce sólo en los “barnices recientes”, y a menudo ya aparece cuando todavía hay disolvente en la capa de barniz. El azulado es provocado por la luz, y cuanto más intensa sea ésta, más fuerte será el azulado. Sobre la formación de azulado hay dos teorías. La primera afirma que se ha comprobado que sobre la superficie del cuadro se encuentran cristales de sulfato de amonio que se han formado en la atmósfera o en la superficie del cuadro. Los sedimentos de esta sal provocan por sus propiedades higroscópicas una creciente condensación. Hasta ahora no está claro si en los cristales se encuentran presentes otras sustancias y por qué sólo determinados barnices o determinadas zonas de un barniz experimentan el azulado. La segunda teoría explica el azulado como una secreción de sustancias procedentes de la capa de barniz en proceso de secado, como componentes del disolvente, de impurezas del barniz o de productos de disgregación. Sin embargo, esta teoría sólo se podría sostener si se pudiera comprobar la presencia de otras sustancias en los cristales, lo cual hasta ahora no se ha producido. Posiblemente tanto la contaminación atmosférica como las secreciones son responsables del azulado parcial de la superficie de un barniz. Se ha demostrado que un barniz con más grupos ácidos experimenta un azulado más intenso. El azulado se puede provocar artificialmente soplando sobre la superficie de un barniz o tocándolo. Esta primera condensación de la humedad desaparece muy deprisa, pero se ha probado en experimentos que más tarde puede producirse en el mismo lugar azulado “natural” más intenso (Nicolaus, 1999).

Para Doerner (1994), es siempre un inconveniente el azulado de muchos barnices, que causa efecto perjudicial sobre los tonos oscuros y brillantes y que hay que atribuir, probablemente, a la proporción de humedad que contienen.

Blanqueamiento

Para Calvo (1997), se trataría de la alteración de los barnices en forma de manchas blanquecinas opacas o blanco azuladas, “como una neblina”, que puede llegar a afectar a la capa pictórica (también “pasmado”). No se deben confundir con manchas de hongos ni eflorescencias salinas aunque el aspecto sea semejante. Se producen por efectos de humedad, o de humedad seguida de sequedad como en la evaporación rápida de productos de limpieza. En algunos casos, la causa parece ser una precipitación de cristales de sulfato amónico, favorecida por la polaridad de la superficie de la capa de barniz. Se tratan frotando con un paño suave muy seco, o con disolventes como dimetilformamida, en vapores o por contacto, regenerando el barniz o la pintura en su caso.

Descamación

Alteración en forma de escamas de la superficie de un objeto. Pueden producirse en el vidriado de piezas cerámicas, en pinturas y barnices, o en la propia superficie de materiales como piedra. Es necesario conocer la causa de la alteración para poder tratarla y proceder a su fijación, (Calvo, 1997).

II. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

Este Proyecto de Tesis doctoral ha estado englobado en el subproyecto 3 del proyecto Plan Nacional I+D+I coordinado y financiado titulado "Desarrollo de métodos analíticos de caracterización de materiales filmógenos constituyentes de barnices, aglutinantes y consolidantes utilizados en obras de arte españolas (siglos XVI-XIX) y seguimiento de tratamientos biocidas " y en un nuevo proyecto coordinado y financiado, titulado "Estudio del biodeterioro en resinas sintéticas utilizadas en arte contemporáneo, tratamientos biocidas y desarrollo de métodos de taxonomía molecular" (ref CTQ 2005-09339-CO3-O3) actualmente en curso.

Se trata de un estudio multidisciplinar en el que se conjugan la pintura, la microbiología, la química analítica, la conservación-restauración y la historia del arte con el fin de clarificar cuales son los procesos de microbiodeterioro que internamente se llevan a cabo en obras pictóricas sobre lienzo aportando nuevos datos para la conservación preventiva en cuanto al control climático y ambiental de los edificios que albergan las obras.

El presente trabajo muestra el estudio realizado sobre los procesos de microbiodeterioro de unas obras de arte pictóricas realizadas desde el siglo XVI hasta la primera mitad del siglo XVIII, en un intento de abrir nuevas vías de investigación sobre los procesos de alteración que se producen en cada uno de los materiales que las constituyen y comprobar el papel que juegan hongos y bacterias como agentes de biodeterioro. Para ello se ha llevado a cabo el aislamiento de microorganismos, y se han utilizado técnicas microscópicas (FESEM) y de análisis que han permitido visualizar las alteraciones producidas. Igualmente hemos planteado un estudio experimental para reproducir en el laboratorio las condiciones ambientales mediante la inoculación de microorganismos sobre soportes de referencia.

Todo ello con los siguientes objetivos:

- Obtener datos precisos acerca del estado de conservación de los materiales que constituyen los lienzos objeto de estudio (soportes, aglutinantes, material de carga, pigmentos y barnices).
- Caracterizar las alteraciones producidas por la acción conjunta de microorganismos y condiciones ambientales en los materiales constituyentes de estas obras pictóricas (telas, cargas, aglutinantes, pigmentos y barnices).
- Identificar, mediante técnicas tradicionales, los microorganismos (hongos y bacterias), presentes en los lienzos.
- Realizar un estudio del biodeterioro a nivel microscópico (FESEM) con una doble finalidad: de un lado aportar nuevas imágenes que ayuden a la comprensión del proceso de microbiodeterioro y del papel que juegan los microorganismos, y de otra, poner de manifiesto las alteraciones estéticas y/o estructurales de los materiales así como los cambios que pueden llevar a la pérdida de amplias zonas de las obras pictóricas.

GIUSTIFICAZIONE E OBIETTIVI

Questo progetto di Tesi Dottorale è stato incluso nel sottoprogetto 3 del progetto del Piano Nazionale I+D+I coordinato e finanziato, dal titolo "Sviluppi di metodi analitici di caratterizzazione di materiali filmogeni costituenti le vernici, gli agglutinanti e i consolidanti usati in opere d'arte spagnole (nei secoli XVI-XIX) e seguimiento di trattamenti biocidi " nonché in un nuovo progetto coordinato e finanziato, intitolato "Studio del biodeterioramento in resine sintetiche usate nell'arte contemporanea, trattamenti biocidi e sviluppo di metodi di tassonomia molecolare" (rif. CTQ 2005-09339-CO3-O3) attualmente in corso.

Si tratta di uno studio multidisciplinare nel quale si coniugano la pittura, la microbiologia, la chimica analitica, la conservazione-restauro e la storia dell'arte e che ha lo scopo di chiarire quali sono i processi di biodeterioramento microbico che si verificano internamente in opere pittoriche su tela, oltre che di apportare dati nuovi per la conservazione preventiva per quel che concerne controllo climatico e ambientale degli edifici che ospitano le opere.

Il presente lavoro espone lo studio realizzato sui processi di deterioramento microbico di alcune opere pittoriche realizzate a partire dal XVI secolo fino alla prima metà del XVIII, in un tentativo di aprire nuove vie di ricerca sui processi di alterazione che si producono in ciascuno dei materiali che le costituiscono e di controllare il ruolo svolto da funghi e batteri in quanto agenti di biodeterioramento. Per farlo si è proceduto a isolare dei microrganismi e quindi sono state impiegate tecniche microscopiche (FESEM) e di analisi che hanno permesso di visualizzare le alterazioni prodotte. Allo stesso tempo è stato impostato uno studio sperimentale per riprodurre in laboratorio le condizioni ambientali mediante inoculazione di microrganismi su supporti di riferimento.

Il tutto con i seguenti obiettivi:

- Ottenere dati precisi in merito allo stato di conservazione dei materiali che costituiscono le tele oggetto di studio (supporti, agglutinanti, materiale di carica, pigmenti e vernici)*
- Caratterizzare le alterazioni prodotte dall'azione congiunta di microrganismi e condizioni ambientali nei materiali costituenti di queste opere pittoriche (tela, cariche, agglutinanti, pigmenti e vernici).*
- Identificare, mediante tecniche tradizionali, i microrganismi (funghi e batteri) presenti nelle tele.*
- Realizzare uno studio del biodeterioramento a livello microscopico (FESEM) con una doppia finalità: da un lato apportare nuove immagini che aiutino a comprendere il processo di biodeterioramento microbico e il ruolo svolto dai microrganismi e, dall'altro, mettere in evidenza le alterazioni estetiche e/o strutturali dei materiali così come i cambiamenti che possono portare alla perdita di ampie zone di opere pittoriche.*

III. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 OBRAS PICTÓRICAS

El material artístico utilizado ha sido el siguiente:

A. OBRAS DEL MUSEO DE BELLAS ARTES DE GRANADA.

Se trata de 12 lienzos que forman parte de un grupo más o menos homogéneo atendiendo a la temática, datación y procedencia. Sin embargo en cuanto a su estilo y calidad pictórica podemos encontrar grandes diferencias. En primer lugar, se lleva a cabo una datación, se revisan los títulos y se toman medidas para determinar sus dimensiones aproximadas pese al mal estado de conservación en el que se encuentran. El estudio histórico artístico de las obras se expone en la publicación de Villafranca (1998). Para determinar la temática e iconografía nos apoyamos en los trabajos de Réau (1997a y 1997b) y Revilla (1999).

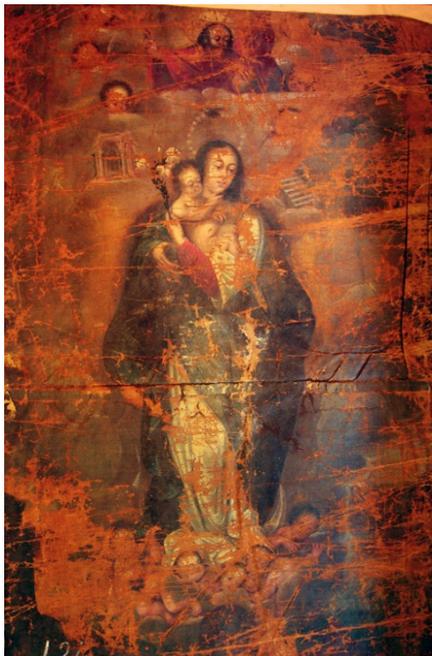
Las obras son las siguientes:



C1. Martirio de San Pedro de Verona.
Óleo sobre lienzo, s XVII.
Dimensiones: 173x132 cm



C2. Despedida de San Francisco Javier.
Óleo sobre lienzo, s XVII.
Dimensiones: 154x135cm



C3. Inmaculada con niño.
Óleo sobre lienzo, s XVI-XVII.
Dimensiones: 122x96cm



C4. El árbol de Jessé.
Óleo sobre lienzo, s XVI-XVII.
Dimensiones: 128x90cm



C5. San Agustín
Óleo sobre lienzo, s XVI-XVII.
Dimensiones: 194x128cm



C6. San Antonio de Padua y el niño
Óleo sobre lienzo, s XVI-XVII.
Dimensiones: 98x82cm



C7. Inmaculada
Óleo sobre lienzo, s XVI-XVII.
Dimensiones: 122x196cm



C8. Estigmatización de San Francisco
Óleo sobre lienzo, s XVI-XVII.
Dimensiones: 140x92cm

Lámina 2. Obras pictóricas objeto de estudio.



C9. Virgen de La Candelaria
Óleo sobre lienzo, s. XVI-XVII.
Dimensiones: 154x104cm



C10. Cristo de La Paciencia
Óleo sobre lienzo, s. XVI-XVII.
Dimensiones: 125x87cm



C11. Cristo atado a la columna
Óleo sobre lienzo, s. XVII-XVIII
Dimensiones: 120x85cm



C12. *Noli me tangere*
Óleo sobre lienzo, s. XVII
Dimensiones: 166x210cm

A.1 ESTUDIO HISTÓRICO-ARTÍSTICO

Se llevó a cabo la revisión de los archivos, -documentos y catálogos de los fondos del Museo de Bellas Artes de Granada- así como la consulta con los profesionales que se encuentran al frente del servicio de museología, con el fin de aportar datos de la existencia o no de fichas de las obras en donde se reflejara la procedencia. Con todo ello se realizó una catalogación y un examen visual de los lienzos.

En base a esto se procedió a la selección de doce obras que por su estado de conservación y por el tipo de deterioro que sufrían se consideró que pudieran ser las más idóneas para nuestro estudio.

Los procedimientos llevados a cabo directamente con los lienzos se vieron en ocasiones limitados por el estado de conservación de los mismos ya que todo tipo de manipulación conllevaba un riesgo añadido. Estos fueron, el examen visual (estado de conservación), la documentación fotográfica (sólo del anverso) y la toma de muestras. Para el estudio técnico se consultaron los manuales de Mayer (1985), La Fuente (1987), Doerner (1994), Pedrola (1998) y Bazzi (2001).

A.2 ESTADO DE CONSERVACIÓN

Para entender el estado de conservación de las doce obras seleccionadas se procedió a la recopilación de fotografías antiguas de los cuadros, fichas museográficas y cualquier noticia relacionada con ellos o el lugar donde estuvieron ubicados desde que se realizaron hasta nuestros días. Para llevar a cabo el análisis del estado de conservación de las obras se realizó un estudio descriptivo organoléptico del soporte y estratos pictóricos, así como la medida de las dimensiones realizando una ficha técnica de cada una de las obras.

A.3 DOCUMENTACIÓN GRÁFICA

Mediante la recopilación y realización de material fotográfico podremos controlar el estado de conservación de las obras para su aplicación a los futuros tratamientos que se le puedan realizar. Las fotografías tomadas a las obras fueron con luz visible en color y en película de diapositivas 100 asa Kodak Chrome, realizando tomas generales y de detalle mediante macrofotografías.

El estado de conservación no permitió en ningún momento hacer tomas frontales de las obras por lo que estas se hicieron en posición horizontal y posteriormente tratadas digitalmente para permitir una correcta visualización.

B. LIENZOS DE LA ABAZZÍA BENEDEITTINA DI SAN MARTINO DELLE SCALE, PALERMO, ITALIA.

Se han estudiado 5 lienzos ubicados en la nave central del Templo de La Abazzia *Benedeittina di San Martino delle Scale*, Palermo (Italia).



1. *Caduta di Cristo sotto la Croce. Óleo su tela. S XVII*
1727. G. Borremans.
Missure: 240x185 cm



2. *San Benedetto in adorazione del Cristo deposto. Óleo su tela. S XVII.*
Missure: 210x170 cm



3. *Veduta fantástica con santi Benedettini. Óleo sul tela. S XVII.*
Missure: 180x115 cm



4. San Domenico di Silos libera gli schiavi.
Inizi S. XVII. Óleo sul tela. Mario Minniti.
Missure: 280x225 cm



5. Madonna con Sant' Anna e i santi Benedittini.
Óleo sul tela. S XVII.
Missure: 275x195 cm

Lámina 5. Obras objeto de estudio..

3.2 MÉTODOS CIENTÍFICOS

3.2.1 TOMA DE MUESTRAS

Para el estudio científico cualitativo de los componentes, se llevó a cabo una toma de muestras de las capas pictóricas y de fibras textiles con la ayuda de bisturí. El avanzado estado de alteración de las obras permitió realizar la toma de muestra sin tener que realizar perforaciones traumáticas y destructivas. Para ello, se requiere una observación cuidadosa de la superficie; se toman en el borde de las lagunas de la policromía o bien aprovechando una grieta o craquelado de la pintura. Se extraen uno o dos fragmentos del tamaño de un milímetro, aproximadamente, para poder realizar los diferentes análisis. La muestra se recoge y se introduce en un tubo Eppendorf etiquetado con unas siglas y un número de referencia señalando el número del cuadro con las siglas MBA (Museo de Bellas Artes). Sobre una fotografía o gráfico se localiza la muestra y se anota una descripción de la misma y de cualquier incidencia que haya ocurrido durante la toma de muestra. Resulta fundamental escoger cuidadosamente el punto del muestreo, tratando de compaginar el hecho de que la muestra ha de ser representativa y por otro lado tiene que estar situada en un lugar poco visible e importante.

Se realizaron además tomas de muestras en húmedo de depósitos y manchas con la ayuda de hisopos estériles, para la búsqueda de los microorganismos presentes.

El análisis de la composición química elemental de las muestras se realizó en los laboratorios Larco Química y Arte S.L.

Los estudios microbiológicos y el análisis de las fibras textiles en los departamentos de Microbiología y Botánica de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Granada.

Los estudios ultramicroscópicos en el C.I.C, Centro de Instrumentación Científica de la Universidad de Granada.

A) Puntos del muestreo.

- **Análisis microbiológicos**
(Cultivos y microscopía óptica).
- **Análisis físicos (FESEM).**
- **Análisis químicos (Cromatografía, espectroscopía infraroja y estratigrafías).**
- **Identificación de fibras textiles.**



Figura 2. Toma de muestras.

B) Protocolo del muestreo.

Para realizar una toma de muestra representativa de cada obra, que aportara la mayor información posible y que a su vez fuera lo menos destructiva, se llevó a cabo un protocolo selectivo para cada tipo de análisis mediante tres muestras por cada cuadro.

La primera muestra (a ●) iba a ser destinada al análisis microbiológico y no era destructiva ya que se realizaba con métodos húmedos de remoción mediante hisopos y se llevaba a cabo en zonas colonizadas superficialmente.

La segunda (b ●) de carácter destructivo, se iba a emplear para el análisis de tipo físico y visual mediante métodos microscópicos con el fin de observar el estado de conservación de los distintos estratos, su composición y la presencia de microorganismos.

La tercera (c ●) de carácter destructivo, para el análisis químico elemental, se toma de la misma zona o capa que la muestra segunda (b) escogiendo puntos que conservaran al máximo la estructura estratigráfica original, y por lo tanto mejor conservados.

Finalmente y para realizar un análisis de identificación textil con carácter genérico se extrajeron muestras de fibras de los bordes de cuatro de las doce obras (d ●)

El debilitamiento sufrido por los soportes permitió llevar a cabo la extracción por medio de pinzas sin ejercer acción mecánica alguna.



C1. Martirio de San Pedro de Verona.

- a) Túnica blanca
- b) Interior capucha blanca.
- c) Interior capucha blanca.



C2. Despedida de San Francisco Javier.

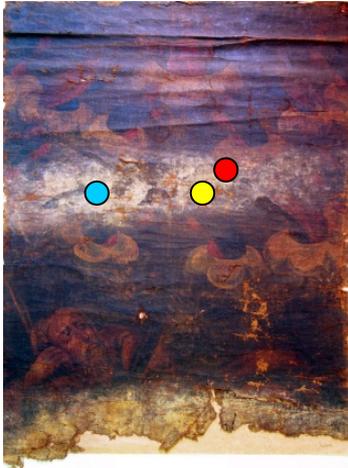
- a) Borde inferior derecho.
- b) Rojo. Figura derecha.
- c) Rojo. Figura derecha.
- d) Borde izquierdo.



C3. Inmaculada con niño.

- a) Fondo inferior.
- b) Manto blanco azulado.
- c) Manto blanco azulado.

Lámina 6. Localización de los puntos de muestreo en las obras C1, C2 y C3.



C4. El árbol de Jessé.

- a) Colonización central.
- b) Colonización central.
- c) Colonización central.



C5. San Agustín.

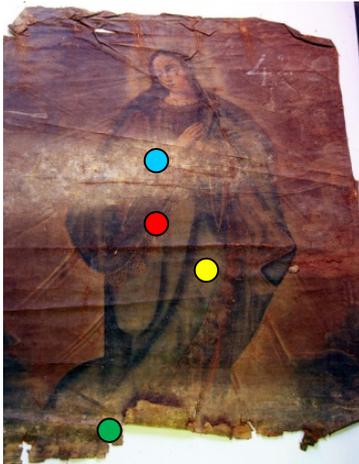
- a) Borde inferior.
- b) Manto rojo.
- c) Manto rojo.



C6. San Antonio de Padua y el niño.

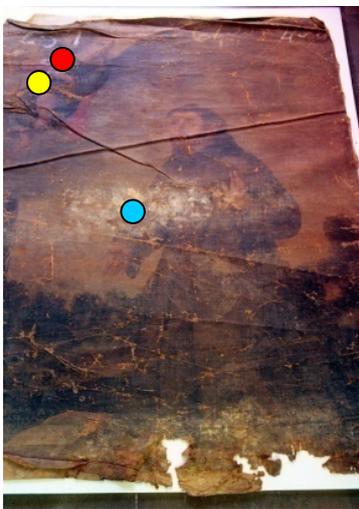
- a) Colonia inferior.
- b) Carnación del niño.
- c) Carnación del niño.

Lámina 7. Localización de los puntos de muestreo en las obras C4, C5 y C6.



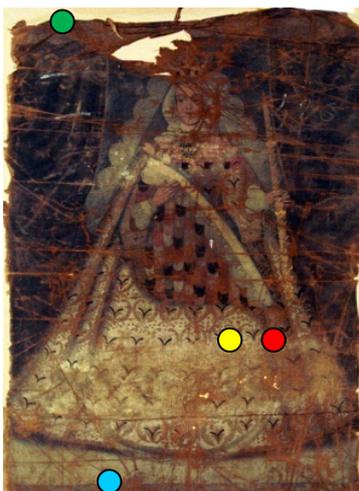
C7. Inmaculada.

- a) Colonización central.
- b) Manto azul de la virgen.
- c) Manto azul de la Virgen.
- d) Borde inferior izquierdo.



C8. Estigmatización de San Francisco.

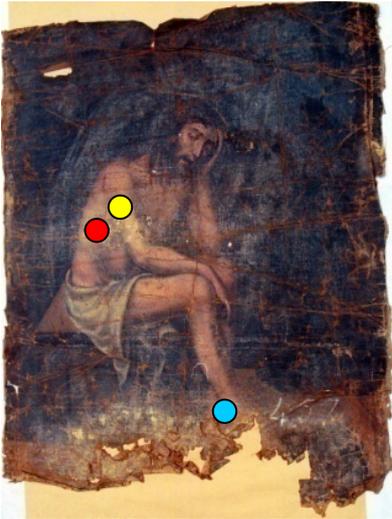
- a) Colonización central.
- b) Manto del ángel.
- c) Manto del ángel.



C9. Virgen peregrina.

- a) Borde inferior.
- b) Manto blanco.
- c) Manto blanco.
- d) Borde superior izquierdo.

Lámina 8. Localización de los puntos de muestreo en las obras C7, C8 y C9.



C10. Cristo de La Paciencia.

- a) Tobillo. Colonia inferior.
- b) Carnación.
- c) Carnación.



C11. Cristo atado a la columna.

- a) Colonización borde izquierdo.
- b) Carnación.
- c) Carnación.
- d) Borde derecho.



C12. *Noli me tangere.*

- a) Fondo.
- b) Manto azul.
- c) Manto azul.

Lámina 9. Localización de los puntos de muestreo en las obras C10, C11 y C12.

3.2.2 TÉCNICAS ANALÍTICAS

Para el estudio de los procesos de biodeterioro de estas obras, se plantea la necesidad de llevar a cabo análisis microbiológicos, físicos y químicos (Petrucci, 1993; Turner, 1998). Pretendemos conocer, por lo tanto:

- Los microorganismos presentes (hongos y bacterias).
- Los materiales de la preparación haciendo referencia a los componentes inorgánicos y los aglutinantes orgánicos.
- Los pigmentos y aglutinantes de cada capa pictórica, así como su disposición relativa.
- La identidad de recubrimientos originales o de restauración, tanto barnices, como veladuras y/o repintes.
- La visualización de los efectos del biodeterioro en los materiales que componen una pintura sobre tela.
- Las fibras textiles, identificación y estado de conservación.

Las técnicas utilizadas han sido las siguientes:

3.2.2.1 TÉCNICAS MICROBIOLÓGICAS

A) AISLAMIENTO Y CULTIVO DE MICROORGANISMOS

A.1 TOMA DE MUESTRAS

La recogida de muestras se realizó sobre las zonas más deterioradas de las pinturas seleccionadas, siguiendo el siguiente procedimiento: un hisopo estéril humedecido en solución salina se frotó suavemente sobre cada una de las zonas seleccionadas. Cada hisopo se introdujo inmediatamente en un tubo estéril y fue llevado al laboratorio.

A.2 SOLUCIONES Y MEDIOS DE CULTIVO

Solución de Tween 20

Se ha utilizado para disgregar los micelios de los hongos. Su composición es la siguiente:

Tween 20 al 0,01% en agua destilada.

La esterilización se realizó en autoclave a 121°C durante 15 minutos.

Solución salina

Se ha utilizado para obtener suspensiones de los microorganismos. Su composición es la siguiente:

Na Cl al 0,8 ‰ en agua destilada.

Medio TSB (Tryptona-Soja, Caldo)

Medio universalmente utilizado para el crecimiento de bacterias. Su composición en g/l es la siguiente:

Peptona de caseína (15g).

Peptona de soja (5g).

Cloruro sódico (5g).

pH 7,2.

La esterilización se realizó en autoclave a 121°C durante 15 minutos.

Medio TSA (Tryptona-soja Agar)

Se ha utilizado como medio de mantenimiento de los cultivos bacterianos.

Su composición es igual a la del TSB adicionado de agar al 2%.

La esterilización se realizó en autoclave a 121° C durante 15 minutos.

Sabouraud Cloranfenicol Agar

Es un medio de cultivo sólido que al llevar cloranfenicol, antibiótico termoestable de amplio espectro antibacteriano, permite el aislamiento selectivo de hongos.

Su composición en g/l es la siguiente:

Peptona micológica (10g).
Glucosa (40g).
Cloranfenicol (0,55g).
Agar (20g).

pH: 6,8.

La esterilización se realizó en autoclave a 121°C durante 15 minutos.

Extracto de malta, Agar

Medio sólido utilizado para el mantenimiento, aislamiento e identificación de hongos. Su composición en g/l es la siguiente:

Extracto de malta (13,0g).
Dextrina (2,5g).
Peptona de gelatina (5,0g).
Agar-aga (15,0g).

pH final 5,5.

La esterilización se realizó en autoclave a 121°C durante 15 minutos.

Extracto de patata, Agar

Medio sólido utilizado para el mantenimiento, aislamiento e identificación de hongos. Su composición en g/l es la siguiente:

Extracto de patata (4g).
Glucosa (20g).
Agar (20g).

pH final 5,6.

La esterilización se realizó en autoclave a 121°C durante 15 minutos.

Los medios fueron proporcionados por la empresa Scharlau.

A.3 AISLAMIENTO Y CONSERVACIÓN DE LOS MICROORGANISMOS

Con cada uno de los hisopos y mediante la técnica de siembra en estría, se sembraron una placa de medio Sabouraud para el aislamiento selectivo de hongos y una placa de TSA para el aislamiento de bacterias.

Las placas se incubaron a 28°C, haciendo un seguimiento diario hasta la visualización de colonias de microorganismos.

La obtención de cultivos puros de los distintos microorganismos se consiguió mediante resiembras en agar malta y agar patata para los hongos y TSA para las bacterias. Una vez obtenidos, los microorganismos se sembraron en los mismos medios pero en tubos inclinados adecuados para su almacenamiento y conservación a 4°C hasta su posterior identificación.

A.4 IDENTIFICACIÓN DE LOS MICROORGANISMOS

HONGOS

La identificación y clasificación taxonómica a nivel de género se realizó mediante la observación al microscopio óptico de las estructuras vegetativas y reproductivas, caracteres morfológicos, y con la ayuda de diversas fuentes bibliográficas (Barnett et al, 1972; Heim et al, 1969; Hawsworth, D. L et al, 1983).

BACTERIAS

La identificación y clasificación taxonómica de las bacterias se realizó mediante técnicas clásicas: morfología de las colonias, tinción de Gram, pruebas fisiológicas y bioquímicas y con la consulta de la bibliografía adecuada (Prokaryotes, 1992).

3.2.2.2 TÉCNICAS MICROSCÓPICAS

A. MICROSCOPIA ÓPTICA (MO).

En nuestro estudio la microscopía óptica ha sido empleada para la observación de microorganismos, para el estudio de las fibras textiles y para el análisis estratigráfico de las capas pictóricas.

Para la identificación de fibras textiles se utiliza la microscopía óptica por reflexión y por transmisión con luz polarizada (aumentos de 100X, 200X, 400X y 1000X). También se ha utilizado para la visualización de cortes estratigráficos, así como para el análisis preliminar de pigmentos, aglutinantes y barnices, empleando ensayos microquímicos y de coloración selectiva de capas de temple y óleo. Las microfotografías obtenidas se realizaron con luz reflejada a un aumento de 300 X y con nicols cruzados. Como consulta metodológica se ha seguido a Arcos *et al.* (1992).

Esencialmente un microscopio óptico está constituido por sistemas de lentes (objetivos y oculares) y un sistema de iluminación. Sus partes esenciales son las siguientes:

La fuente de iluminación, en general, es interna y por ello las muestras, en el caso de especies microbiológicas, han de ser transparentes y permitir la transmisión de la luz.

Los rayos luminosos se concentran por medio de una lente condensadora, antes de atravesar la muestra situada en la platina, con lo cual la profundidad de campo es muy reducida y la muestra tiene que ser plana y minúscula. Esto exige a veces manipular las muestras antes de su observación y por ello se denominan de forma genérica "preparaciones microscópicas".

Cuando la preparación microscópica es incolora y transparente, pueden teñirse específicamente determinadas partes de ésta para desvelar su estructura. En general, presenta diversas variantes en cada caso, según la materia a estudiar y el dato que se desee conocer.

La aplicación de la microscopía óptica al estudio de obras de arte, permite desvelar la estructura interna de numerosos objetos, capas de pintura, pigmentos, soportes de madera y tela en pintura de caballete, pintura mural y escultura policromada, morfología microscópica de materiales pétreos, cerámicas y metales; histología de marfil y hueso, identificación de microorganismos que afectan a las piezas, etc...

La microscopía óptica se aplica a la observación de objetos o muestras de dimensiones muy pequeñas: la morfología de las secciones y láminas delgadas de capas pictóricas, materiales pétreos y metales, la subestructura celular, microorganismos, la disposición espacial de estructuras, efectos del uso de disolventes y otros productos utilizados en los tratamientos sobre la superficie de los objetos.

B) MICROSCOPIA ELECTRÓNICA POR EMISIÓN DE CAMPO (FESEM).

El SEM se ha empleado para el estudio visual del crecimiento de microorganismos -permitiendo la identificación de esporas- y los efectos de estos en los estratos pictóricos ofreciendo imágenes del estado de conservación de los materiales.

Se utiliza para obtener aumentos mayores que los alcanzados por medio de sistemas ópticos, que emplean radiaciones luminosas como fuente de iluminación, ya que su poder de resolución es muy elevado. Para ello se requiere como fuente de iluminación un emisor adecuado (filamento de wolframio o hexaboruro de lantano, etc.) que sometido a tensiones entre 1 y 50 KeV, en alto vacío, es capaz de generar un haz de electrones.

Los electrones emitidos por el cátodo son acelerados por el campo eléctrico existente entre el filamento cargado negativamente y el ánodo, pasan a través de sistemas de lentes condensadoras y objetivos a modo de campos "electro magnéticos", hasta formar un haz muy fino y carente de aberraciones enfocado sobre la muestra. Los aumentos son muy superiores a los obtenidos en microscopia óptica (hasta 400.000 frente a los 1000 del microscopio óptico).

Los electrones secundarios y retrodispersados generados al interaccionar el haz con la muestra, son los responsables del contraste de imágenes, que aportan además una información complementaria a la observación hecha por microscopia óptica. Éstas se registran finalmente en una pantalla fluorescente o una placa fotográfica, o se almacenan en un ordenador.

Sólo parte de los electrones que inciden sobre la muestra forman una señal, y si esta no es conductora, actúa como un condensador, acumulándole resto de dichos electrones, por lo que hay que metalizar dicha muestra; con oro, cuando se desean conocer datos de su morfología, y preferentemente con carbono, si se quieren analizar los elementos que la componen.



Figura 3. Interior del microscopio electrónico de alta resolución con los tambores que contienen una muestra del anverso y otra del reverso de cada una de las obras seleccionadas. C.I.C, U.G.R.

C) MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (MEB/EDX).

Microscopía electrónica de barrido con análisis elemental por energía dispersiva de rayos X (MEB/EDX). Se emplea para el análisis elemental de granos de pigmentos, con el fin de determinar de forma puntual los elementos químicos que los constituyen.

3.2.2.3 TÉCNICAS QUÍMICO-ANALÍTICAS

A) CROMATOGRAFÍA.

Técnica de análisis químico utilizada para separar sustancias puras de mezclas complejas. Esta técnica depende del principio de adsorción selectiva (no confundir con absorción). La cromatografía fue descubierta por el botánico ruso, de origen italiano, Mijaíl Tswett en 1906, pero su uso no se generalizó hasta la década de 1930. Tswett separó los pigmentos de las plantas (clorofila) vertiendo extracto de hojas verdes en éter de petróleo sobre una columna de carbonato de calcio en polvo en el interior de una probeta. A medida que la solución va filtrándose por la columna, cada componente de la mezcla precipita a diferente velocidad, quedando la columna marcada por bandas horizontales de colores, denominadas cromatogramas. Cada banda corresponde a un pigmento diferente.

La cromatografía en columna utiliza un amplio espectro de adsorbentes sólidos, incluidas la sílice, la alúmina y la sílice gelatinosa. También los líquidos pueden ser adsorbidos en estos sólidos y a su vez sirven como adsorbentes (un proceso denominado partición cromatográfica) permitiendo al químico elaborar columnas de diferentes propiedades para diversas aplicaciones. En la cromatografía con líquidos de alto rendimiento, una variante de esta técnica de uso frecuente hoy en día, se utilizan líquidos adsorbidos en partículas muy pequeñas y uniformes, lo cual proporciona una sensibilidad bastante alta. Para llevar la mezcla a través de la columna se precisa una bomba. La cromatografía de capas finas es otra forma de cromatografía en columna en la cual el material adsorbente reposa en un cristal o en una película de plástico. En la cromatografía en papel, una muestra líquida fluye por una tira vertical de papel adsorbente, sobre la cual se van depositando los componentes en lugares específicos.

Otra técnica conocida como cromatografía gas-líquido permite la separación de mezclas de compuestos gaseosos o de sustancias susceptibles de vaporizarse por calor. La mezcla vaporizada es conducida mediante un gas inerte a través de un estrecho tubo en espiral que contiene una sustancia, por la que los componentes fluyen en diferentes proporciones, siendo detectados al final del tubo.

La cromatografía de gases es un método muy sensible de separación de componentes orgánicos gaseosos o volatilizables (Calvo, 1997). Se basa en la separación de los compuestos de una mezcla por su movilidad entre una fase débil y otra estacionaria e identificación posterior de cada uno de ellos. De esta forma se separan progresivamente los diferentes compuestos existentes, (Gómez, 2000).



Figura 4. Cromatógrafo de gases. C.I.C. de U.G.R.

La cromatografía en fase gaseosa también tiene aplicación en la identificación de las resinas naturales empleadas en la formulación de barnices. Estas resinas están constituidas por polímeros derivados del isopreno. En su composición aparecen ácidos e hidrocarburos terpénicos. El procedimiento analítico empleado para la identificación de estas resinas es similar al descrito para la identificación de aceites secantes, Protocolo en PH24, (Gutiérrez, 1998b).

En nuestro estudio empleamos la cromatografía en fase gaseosa que se emplea en la determinación de sustancias lipófilas, como aceites secantes, resinas y ceras; y de sustancias hidrófilas, como las colas animales y productos afines (Osete,2004; Doménech y Yusá, 2006).

Las muestras se tratan con el reactivo de mutilación Meth-prep II y en el caso de sustancias de tipo cer u óleo-resinosas. Para los hidratos de Carbono y proteínas se lleva a cabo una hidrólisis y una derivatización mediante sililación con TBDMSTFA en piridina.

B) ESPECTROSCOPIA IR.

Se trata de una técnica de espectroscopía molecular, que utiliza como fuente energética las radiaciones IR (dispersiva, o transformada de Fourier), que facilita la identificación de moléculas orgánicas como adhesivos, consolidantes, barnices, aglutinantes, colorantes, disolventes, humectantes y fibras; también varios aniones inorgánicos, como sulfatos, carbonatos, silicatos, nitratos y cromatos.

Reconoce los elementos o compuestos químicos por el conjunto de longitudes de onda características emitidas o absorbidas. Se emplea para pigmentos, sustancias inertes aglutinantes, etc. En la espectroscopia de emisión el material a analizar se convierte en vapor incandescente en un arco eléctrico, y el espectrógrafo fotografía la distribución del espectro de la luz que produce. Se utiliza para confirmar las identificaciones microquímicas (Calvo, 1997; Gutiérrez, 1998^a; López *et al.*; Gómez, 2000).

Los análisis se realizan entre 4400 cm⁻¹ y 370 cm⁻¹, en pastillas de KBr o mediante análisis de superficie entre 4000 y 550 cm⁻¹ con un accesorio UATR.

3.2.3 ESTUDIO EXPERIMENTAL

3.2.3.1 Ensayo por inoculación de microorganismos tipo en distintos soportes y materiales filmógenos de referencia.

A) MICROORGANISMOS UTILIZADOS.

Para la realización de este ensayo experimental de biodeterioro se han utilizado los siguientes microorganismos:

HONGOS

Aspergillus niger, CECT 2088.
Cladosporium cladosporoides, CECT 2110.
Penicillium chrysogenum, CECT 2306.
Rhizopus oryzae, CECT 2339.
Trichoderma pseudokoningii, CECT 2937 .

BACTERIAS

Arthrobacter oxidans, CECT 386.
Bacillus amyloliquefaciens, CECT 493.
Burkholderia cepacia, CECT 4091.
Streptomyces celluloflavus CECT 3242.

Los microorganismos fueron suministrados por la Colección Española de Cultivos Tipo (C.E.C.T) en ampollas de liofilización. Para la obtención de cultivos frescos se realizaron suspensiones en solución salina estéril, y se inocularon en medios de cultivo adecuados, líquidos y sólidos incubándolos a las temperaturas adecuadas hasta la aparición de crecimiento.

B) OBTENCIÓN DE SUSPENSIONES FÚNGICAS.

Se obtuvieron a partir de cultivos sólidos en “pico de flauta” de 48-72 horas añadiendo 2 ml de solución de Tween 20.

Tras agitación la suspensión obtenida se centrifugó y el pellet se lavó tres veces con agua destilada estéril para eliminar los restos de medio de cultivo.

Finalmente se suspendieron en agua destilada estéril.

C) OBTENCIÓN DE SUSPENSIONES BACTERIANAS.

Se partió de cultivos en TSB en fase exponencial de crecimiento que contienen aproximadamente 10^8 - 10^9 c/ml.

Los cultivos se centrifugaron para recoger las células y se lavaron tres veces con agua destilada estéril para eliminar todo resto del medio de cultivo. Finalmente se suspendieron en agua destilada estéril.

D) PREPARACIÓN DE SOPORTES DE REFERENCIA.

Se han elaborado dos tipos de soportes, lúneo y textil:

Soporte lúneo de madera de conífera (pino), preparado con varias capas de estuco (sulfato cálcico, Ca SO_4 y cola animal). Utilizado en obras pictóricas y escultóricas.

Soporte textil de fibra de lino, preparado igualmente con estuco. Utilizado en obras pictóricas. Su composición en celulosa es de un 76-88%, altamente cristalina (orientación molecular paralela al eje de la fibra); 19% de hemicelulosa, 6% de pectina y 3% de cera.

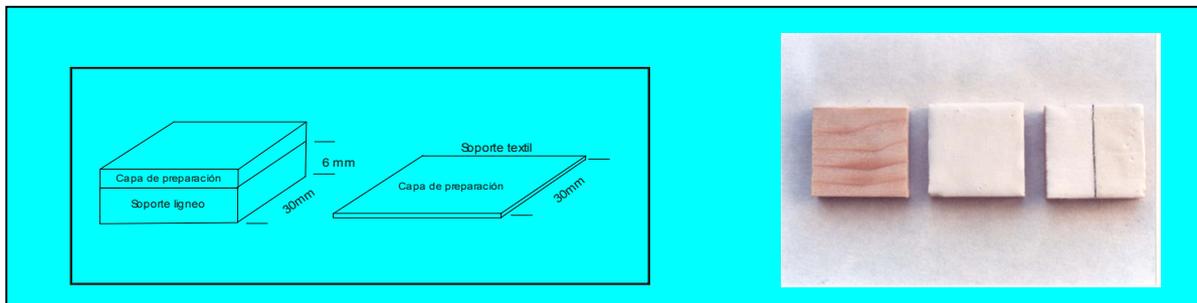


Figura 5. Diseño de los soportes ligneos y textiles.

Las sustancias aglutinantes y filmógenas presentes son:

Cola de conejo: adhesivo animal fabricado mediante la cocción de residuos de piel y cartílagos por lo tanto en su composición hay principalmente sustancias proteicas.

Barniz de colofonia: resina natural diterpénica, dura, ácida, que se extrae del pino, *Protium obtusifolium*. Es muy oscura, de color amarillo rojizo, transparente, fácilmente fusible. Soluble en alcoholes, ésteres, cetonas, hidrocarburos aromáticos y clorados, y aceites.

Barniz de almáciga: resina natural, blanda, compuesta por triterpenos, que se extrae del árbol Angiospermo, del *Pistacia lentiscus*. Es translúcida, de color amarillento y ligeramente aromática. El exudado se produce espontáneamente (lágrimas de almáciga) o por incisión en el tronco. Contiene una gran proporción de hidrocarburos, y una pequeña de cetoácidos. Es la más flexible de las resinas. Soluble en hidrocarburos aromáticos, en esencia de trementina, *white spirit*, y en alcohol.

E) INOCULACIÓN DE LAS PROBETAS

Fueron preparados 80 probetas (40 de tabla y 40 de tela). Y se dividieron en dos mitades, La mitad izquierda se inoculó con 100 µl de las correspondientes suspensiones de los microorganismos seleccionados sobre la capa de barniz aplicada y la mitad derecha se utilizó también inoculada como control del crecimiento sin barniz.

Las muestras se ordenaron de la siguiente manera:

Dos probetas de madera y dos probetas textiles, uno para cada tipo de sustancia filmógena. Posteriormente fueron introducidos en placas de Petri y se incubaron en una cámara húmeda a 25° C y al 75 % de humedad, en ausencia total de luz.

F) OBSERVACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

El seguimiento y documentación fotográfica de la evolución de las placas se realizó mediante cámara reflex con película de diapositivas Kodak-Chrome. Se realizaron dos tomas, una a las dos semanas y otra a las cuatro semanas.

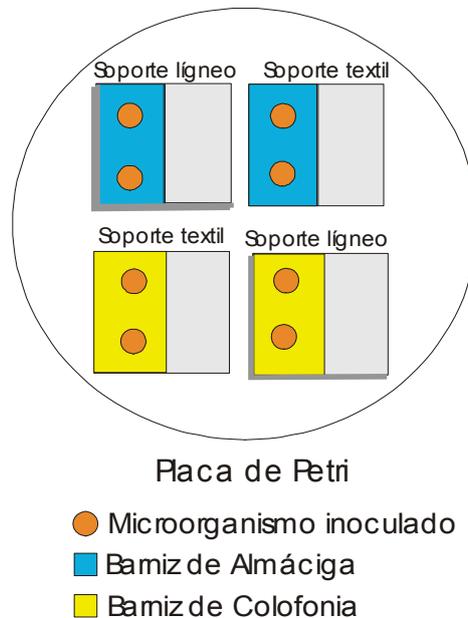


Figura 6. Esquema de la disposición de los soportes inoculados en el interior de una placa de Petri.
Poyatos *et al.* (2003)

IV. RESULTADOS

4.1 ESTUDIO EXPERIMENTAL

De forma preliminar antes de abordar el estudio en obra real hemos planteado un ensayo de laboratorio mediante la inoculación de microorganismos en los soportes de referencia que reproducen los estratos que constituyen una obra pictórica. La elaboración de los soportes, los microorganismos utilizados y la inoculación de los mismos se llevaron a cabo como se describe en el apartado 2.2.3 A, B, C y D de Material y Métodos.

Para este ensayo se han utilizado algunos de los microorganismos más citados en las fuentes bibliográficas como agentes de biodeterioro.

4.1.1 EVOLUCIÓN DE LOS SOPORTES

1) Alteraciones físicas:

La alteración de los soportes se manifestó en primer lugar por el cambio de coloración del barniz provocado por una oxidación del mismo volviéndose en un tono amarillento. Los cambios se manifiestan tanto en los controles como en los soportes inoculados con los microorganismos.

2) Alteraciones debidas a los microorganismos:

En las tablas 3 y 4 se muestra la evolución del crecimiento de los microorganismos sobre los soportes. El crecimiento se evaluó según un índice numérico del 1 al 5 siendo el 1=1-10%, el 2= 10-25%, el 3=25-50%, EL 4=50-75% y el 5=75-100% de cobertura.

Durante el periodo de incubación comenzó la aparición de colonias de los microorganismos así como microfisuras y microdescamaciones dependiendo del tipo de material y del microorganismo. Encontramos colonias de *Aspergillus*, *Trichoderma* y *Penicillium* claramente visibles.

Especialmente evidente fue el crecimiento de *Aspergillus*, tanto en barniz de almáciga como en colofonia y sobre todo en soportes textiles.

Tabla1. Hongos	ALMÁCIGA		COLOFONIA	
	Madera	Tela	Madera	Tela
<i>Aspergillus niger</i>	1	5	1	5
<i>Cladosporium cladosporoides</i>	0	0	0	0
<i>Penicillium crysogenum</i>	0	1	0	0
<i>Rhizopus orizae</i>	0	0	0	0
<i>Trichoderma pseudokoningii</i>	0	2	2	1

Tabla 2. Crecimiento de hongos sobre los soportes de madera y tela con dos tipos de barniz tradicional.

Tabla 2. Bacterias	ALMÁCIGA		COLOFONIA	
	Madera	Tela	Madera	Tela
<i>Artrobacter oxidans</i>	0	0	0	0
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	0	0	0	0
<i>Burkholderia cepacia</i>	0	1	0	0
<i>Streptomyces celluloflavus</i>	0	0	0	1

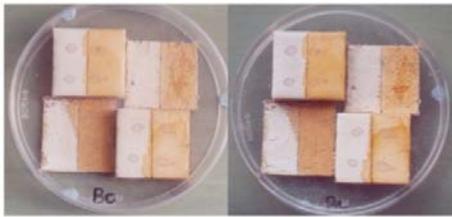
Tabla 3. Crecimiento de bacterias sobre los soportes de madera y tela con dos tipos de barniz tradicional.

2 Semanas

4 Semanas



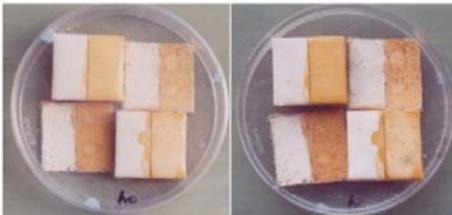
Bacillus amyloliquefaciens.



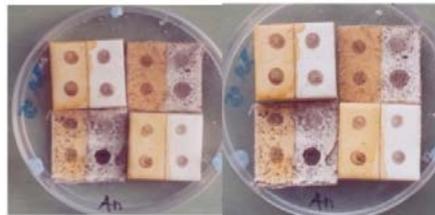
Burkholderia cepacia



Penicillium crysogenum



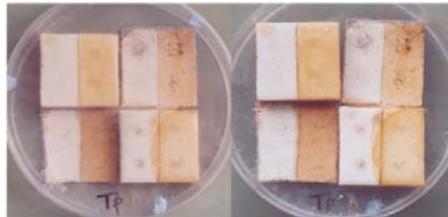
Artrobacter oxidan



Aspergillus niger



Rhizopus orizae



Trichoderma p.



Cladosporium c.



Streptomyces c.

Lámina 10. Imágenes fotográficas de la evolución del crecimiento de los microorganismos en los soportes de referencia tras dos y cuatro semanas de incubación.

4.2 ESTUDIO DE 12 LIENZOS DEL MUSEO DE BELLAS ARTES DE GRANADA

En este apartado se exponen los resultados obtenidos de los estudios realizados en las 12 obras pictóricas del Museo de Bellas Artes de Granada. El estudio realizado abarca diversos aspectos, tanto artísticos como microbiológicos.

4.2.1 ESTUDIO HISTÓRICO Y ARTÍSTICO

Hay que señalar en primer lugar cuales han sido los distintos condicionantes que hacen de las obras seleccionadas un material idóneo para realizar este trabajo.

Como resultado de los inicios de lo que más tarde pasó a llamarse Museo de Bellas Artes de Granada, la colección que lo compone sufrió numerosos y desafortunados modos de almacenaje, cambios de ubicación, traslados, etc...

En cuanto a la procedencia de las obras, se trata de un conjunto de doce lienzos pertenecientes a un grupo más amplio de sesenta y siete obras, encontradas en unos viejos depósitos en donde se almacenaron tras la desamortización de 1835-37.

La desamortización fue la causa del surgimiento en nuestro país de instituciones culturales periféricas que, con mayor o menor fortuna, quedaron convertidas en almacenes del patrimonio artístico incautado a las órdenes religiosas.

Las circunstancias en que se desarrollaron los trabajos terminaron por condicionar lo que hubiera podido convertirse en una más aceptable y óptima realización. Existía una gran falta de recursos materiales. Asimismo, en los primeros momentos no se disponía de local para ir almacenando las obras intervenidas, ni de dinero para acometer los más indispensables trabajos materiales como descolgar, mover y trasladar las obras. A todo esto hay que añadir que el proceso desamortizador no estaba lo suficientemente controlado por las instancias superiores del poder. Finalmente el museo fue inaugurado el 11 de agosto de 1839.

No se conservan los inventarios realizados por la primera Junta de Amortización ni tampoco los llevados a cabo por la Comisión Científica a partir de 1837 que hubiera posibilitado analizar pormenorizadamente el conjunto museable, tener una idea más exacta del número de piezas que contenía, conocer los criterios empleados en la clasificación de las mismas así como facilitar una razonada comprensión iconográfica de los temas. Hay también que tener en cuenta que todavía no se había asumido la tarea de la conservación del patrimonio como una auténtica razón de estado.

Las distintas siglas que presentan las obras documentan el trasiego y las distintas manipulaciones que debieron soportar con el paso del tiempo. Las obras no aparecen en el inventario de 1854 que es un instrumento de control administrativo y referencia obligada para la documentación y el tratamiento técnico de los depósitos, además de convertirse en el punto de partida de los posteriores catálogos realizados por Ginés Noguera en 1873 y Manuel Gómez Moreno en 1899. Este último sí se refiere a un conjunto de obras desclasificadas, sin catalogar, que se encontraban guardadas en unos viejos arcones y cajas de madera. Noguera por su parte describe que existen un total de 518 cuadros de los cuales 131 se encontraban enrollados. En ningún caso se precisa la datación de las obras y muy ocasionalmente existen referencias a la firma, procedencia y clasificación estilística (Villafranca, 1998).

Son obras de la Escuela Granadina pertenecientes a conventos y edificios de las distintas órdenes religiosas repartidas por la ciudad y la provincia.

El nivel de degradación que había llegado a alcanzar el local del museo en el convento de Santo Domingo y la negativa de las corporaciones provinciales para hacerse cargo de su conservación y mantenimiento era ya en 1887 denunciados. (Villafranca 1998).

El Museo de Bellas Artes de Granada se hizo cargo en su día del hallazgo de estos lienzos y llevó a cabo una ardua tarea de conservación y almacenaje de los mismos para evitar la pérdida total a la que se veían destinados. Se realizó también una labor de catalogación así como informes del estado de conservación de las obras. Actualmente este conjunto de obras se encuentra debidamente almacenado mediante los protocolos técnicos más adecuados en cada caso.

4.2.2 ESTUDIO DE LOS MATERIALES Y LAS TÉCNICAS ARTÍSTICAS

La técnica artística empleada en este conjunto de obras es el óleo sobre lienzo. Tanto la técnica como los materiales utilizados responden a la manera pictórica de los siglos XVI, XVII y XVIII que se llevaba a cabo en España y en ocasiones respondiendo específicamente a escuelas locales.

El tipo de lienzo utilizado es variable, tanto por en cuanto a su composición, como por el tipo de trama empleada. Podemos encontrar en la mayoría de los casos fibra de lino, aunque existen algunas obras que se han confeccionado en fibras más gruesas como el cáñamo o yute.

En cuanto al bastidor tenemos que indicar que aunque haya sido retirado de las obras seguramente sería de tipo fijo ya que el bastidor extensible aparece con posterioridad a la creación de estas pinturas.

La capa de preparación ha sido la tradicional empleando sulfato cálcico y cola animal.

El aglutinante empleado ha sido aceite de linaza, aceite de nueces y clara de huevo, como han reflejado los estudios analíticos. De esta forma, la técnica pictórica contiene una determinada serie de pigmentos orgánicos e inorgánicos aglutinados en la mayoría de los casos por aceite de linaza.

La capa de barniz suele ser de origen resinoso aunque algunos cuadros tienen capas superpuestas de aceites mezclados con resinas o solamente de aceites.

4.2.3 ESTUDIO ESTILÍSTICO

Estilísticamente el conjunto de obras pertenece a la producción andaluza que va desde la segunda mitad del siglo XVI hasta mediados del siglo XVIII. Algunas de ellas podemos encuadrarlas en la tradición de escuelas como la sevillana y granadina. Destacan por su calidad las obras, “Inmaculada con niño”, “San Agustín” y “Martirio de San Pedro de Verona”. El lienzo “San Agustín” presenta un estilo muy cercano a la obra del pintor Juan de Sevilla y la obra de “Martirio de San Pedro de Verona” se asemeja en su representación, en estilo pictórico y composición al lienzo del mismo nombre realizado por Juan de Peñaloza y Sandoval que se encuentra en el Museo de Bellas Artes de Córdoba.

“La Despedida de San Francisco Javier”, es la obra más compleja en cuanto a temática y composición, con una manera de representación más naturalista y de influencia italiana.

En cuanto a las representaciones marianas, podemos establecer que la “Inmaculada” se trata de una representación primitiva del tema, anterior al canon establecido por Alonso Cano acercándose más a la tradición granadina de escuelas pictóricas locales como la de Ambrosio Martínez Bustos (1640-50).

“La Virgen de La Candelaria” es una obra menor que estilísticamente pertenece a creaciones típicas del arte popular.

4.2.4 ESTUDIO ICONOGRÁFICO

Iconográficamente las obras comparten una temática de carácter religioso. Se representan escenas marianas, pasajes de la pasión y muerte de Cristo y representaciones del santoral monástico. La lectura de las obras es complicada en aquellos casos en que el estado de conservación no permite la visión completa de las imágenes representadas, apoyándonos en el diccionario de iconografía y simbología de Revilla (1999), y en Réau (1997 a-b). Se puede describir como sigue:

1. Martirio de San Pedro de Verona (Lámina 1, C1).

San Pedro Mártir, también conocido como San Pedro de Verona, dominico, inquisidor que fue asesinado por unos herejes. Se le representa con el hábito de su orden y el cráneo partido por un hacha.

2. Despedida de San Francisco Javier (Lámina 1, C2).

Jesuita misionero en la India y Japón. Su atributo es el cangrejo con la cruz. También unas llamas saliendo de su corazón. Este pasaje refleja el momento en que el santo se despide de su familia.

3. Inmaculada con niño (Lámina 1, C3).

La España mística se apoderó de este tema creado en Italia y le imprimió la marca de su genio. En este caso se trata de una variación del tema llamada "Inmaculada Apocalíptica".

4. El árbol de Jessé (Lámina 1, C4).

Supuesto árbol genealógico del Mesías, a partir de Jessé o Isaí, padre de David, que recoge la profecía de Isaías. Durante el Barroco, Jessé aparece tendido, a veces dormido, y de su cuerpo sale efectivamente el grueso del tronco, donde María ocupará un lugar cimero.

5. San Agustín (Lámina 2, C5).

Obispo de Hipona y uno de los grandes padres de la iglesia latina. Sus atributos son el cinturón de cuero, la concha, un libro, un templo, una pluma, etc... Algunos pasajes suyos fueron particularmente tratados en la iconografía española. Este santo es figura central en el "Entierro del Conde Orgaz", de "El Greco".

6. San Antonio de Padua y el niño (Lámina 2, C6).

Franciscano, teólogo y predicador. Porta entre sus manos el lirio de la castidad. La presencia del niño Jesús en la iconografía de San Antonio de Padua es posterior al siglo XVI y recuerda la aparición con la que fue favorecido.

7. Inmaculada (Lámina 2, C7).

Se trata de una singular prerrogativa de María, según la teología católica, que la reconoce concebida sin pecado original. La iconografía de la Inmaculada concepción se hace eco de una simbología precristiana muy compleja. Aunque la Inmaculada Concepción ha sido uno de los motivos iconográficos más deturpados por un pseudoarte piadoso-consumístico, registra algunas obras cimeras, como la pequeña talla de Alonso Cano en la sacristía de la catedral de Granada o la rica serie de "Inmaculadas" de Murillo, cuya dulzura, sin embargo, sirvió de base para que sus imitadores estropeasen el tema.

8. Estigmatización de San Francisco (Lámina 2, C8).

Fundador de los Frailes Menores, también llamados franciscanos. La rápida propagación de su espiritualidad conllevó la popularización de la figura del santo.

Ésta se entendió como prototipo de la pobreza, la sencillez, la armoniosa integración del hombre en la naturaleza, rasgo este último que supone un retorno, siquiera parcial, a la situación de sosiego de los orígenes, ante la culpa, y que ha sido añorada comúnmente por la humanidad. Todo ello hizo desde el primer momento a Francisco de Asís enormemente accesible y simpático para la gente llana. La iconografía franciscana se inicia desde los frescos de Cimabue en la basílica inferior de Asís, se continúa con el espléndido ciclo de Giotto en la basílica superior. En España son conocidas las obras de Zurbarán y El Greco.

9. Virgen de la Candelaria (Lámina 3, C9).

Se trata de un tema de fuerte arraigo popular estrechamente ligado a la iconografía de las vírgenes peregrinas y a las fiestas anuales en torno a la purificación de la virgen. El modelo iconográfico de esta obra que nos resulta tan naíf seguramente responde a alguna representación escultórica que se trató de representar a modo de copia de ahí su esquemática frontalidad.

10. Cristo de La Paciencia (Lámina 3, C10).

Tema muy representado en la iconografía granadina del arte barroco por lo que se trata de uno de los temas con mayor arraigo popular y que goza de una enorme tradición iconográfica en esta escuela durante los siglos XVII y XVIII. Representaciones del "Cristo de La Paciencia" se pueden encontrar dispersas en numerosos templos de la ciudad.

11. Cristo atado a la columna (Lámina 3, C11).

Escena perteneciente al ciclo de la Pasión de Jesús iniciada con el prendimiento en el huerto y que finaliza con el santo entierro. Más concretamente se incluye en el ciclo del Ecce Homo Jn, 19, 5, que designa las imágenes de Cristo quebrantado por la flagelación.

12. *Noli me tangere* (Lámina 3, C12).

Con esta frase latina tomada de la Vulgata, se conoce la escena de la aparición de Jesús resucitado a María Magdalena. En la versión más antigua, Cristo ordena a M^a. Magdalena que estira los brazos hacia él, que no le toque. *Noli me tangere* se empleó en el siglo XVI con el significado de *úlceras* que no se puede tocar. La mutilación que presenta la obra no permite descubrir la figura femenina con claridad aunque la caverna y la figura del resucitado remiten claramente a este pasaje de la muerte y resurrección de Cristo.

4.2.5 ESTUDIO DE CONSERVACIÓN

Como ya se ha descrito anteriormente las condiciones ambientales y de almacenaje que sufrieron las obras fueron los factores determinantes para que estas llegaran hasta nosotros en un lamentable estado de conservación. De esta manera se hace muy difícil establecer las alteraciones que podían haber sufrido las obras antes de ser sometidas a estas condiciones. Podemos distinguir entre alteraciones físico-mecánicas y alteraciones químicas que originan alteraciones ópticas que cambian el aspecto visual de la obra.

Los lienzos presentan distintas numeraciones realizadas directamente sobre el anverso. La lectura iconográfica de algunas de ellas es muy complicada debido a las mutilaciones que han sufrido las escenas.

Intentando siempre correlacionar estos fenómenos del biodeterioro con los agentes de deterioro las principales alteraciones son las siguientes:

4.2.5.1 ALTERACIONES FÍSICO-MECÁNICAS

Una primera causa antrópica generó la **ausencia total de bastidor**, seguramente con el fin de facilitar el almacenaje las obras fueron despojadas de sus bastidores.

En muchos casos los desgarros de los bordes fueron provocados al arrancar la tela sin quitar antes los clavos e incluso algunas fueron recortadas en todo su perímetro. En las obras que conservan en sus bordes los orificios de los clavos se aprecian manchas de la oxidación del hierro sobre la superficie textil celulósica.

En algunas de las obras la **pérdida del soporte textil** llega a ser del 30 % al 40%, ya que sufrieron unas condiciones ambientales extremas que llevaron a la descomposición material de la celulosa de las fibras. Se pueden encontrar desgarros, mutilaciones y pérdidas generalizadas de soporte. El resto de la tela conservada no reúne las condiciones mínimas de resistencia y se encuentra muy debilitada. Atendiendo a la naturaleza del lienzo y en relación a la acción de los microorganismos descrita por Caneva (2000) la degradación del soporte es más fuerte y probable cuando está impregnado de otras sustancias (azúcar, almidón, colas, suciedad) propensas a la degradación iniciando un proceso de daños mecánicos en la obra. Los hongos se fijan directamente con las hifas, a modo de raíces iniciando la expansión formando un micelio hasta convertirse en manchas más grandes y desarrolladas (Figuras 7 y 8).

4.2.5.2 ALTERACIONES ESTÉTICAS

Las alteraciones estéticas hacen referencia a las alteraciones ópticas o del aspecto visual de la obra. Existe una gran variedad de colorantes (verde, azul, púrpura, violeta) de naturaleza biológica, que producen alteraciones químicas tales como manchas, aureolas, y decoloraciones. Muchos de ellos, pigmentos orgánicos producidos por microorganismos (bacterias, algas, hongos) durante su desarrollo. Las alteraciones citadas que aparecen en todas las obras objeto de estudio, fueron originadas por el pésimo almacenamiento que sufrieron el cual afectó directamente a la constitución material de las obras.



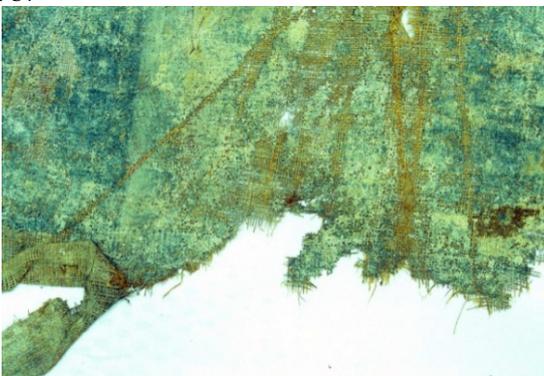
A. C2



B. C12



C. C4



D. C11

Los microorganismos quimiorganótrofos producen gran variedad de enzimas hidrolíticas que llevan a cabo la degradación de moléculas orgánicas, algunas de las cuales constituyen el soporte de las obras pictóricas Evans (1996).

A nivel macroscópico encontramos unos soportes muy debilitados en donde se pueden apreciar los efectos de la humedad e incluso de la humectación directa del lienzo.

Los pliegues, desgarros, y pérdidas de las capas pictóricas son los efectos que se han producido. La acción de los microorganismos se ha producido a nivel microscópico y macroscópico.

A nivel microscópico mediante debilitamiento del soporte y a nivel macroscópico por la aparición de manchas blancas en la superficie.

Las formas de deterioro provocadas por la acción de los agentes biológicos de deterioro sobre las obras textiles pueden ser de *tipo cromático*: manchas, tinciones, oxidaciones, moteados; *depósitos*: suciedad, detritus orgánicos; *pérdidas*: lagunas, disgregaciones, pulverulencias, orificios, grandes faltas e incluso la pérdida total de la obra; *rupturas*: grietas, rajadas; *deformaciones*: alabeos, combamientos, arrugas, abolsados y ampollas (Bolívar 1995c).

4.2.5.3 ALTERACIONES QUÍMICAS

Las principales alteraciones observadas han sido las siguientes:

Falta de adhesión de las capas de preparación y pictórica al soporte. A consecuencia de estas condiciones ambientales los materiales que componen los lienzos sufrieron una desnaturalización creándose unas condiciones específicas para el crecimiento y desarrollo de distintos agentes de biodeterioro.

Falta de cohesión de las capas y **estado pulverulento** por descomposición total o parcial de aglutinantes y capas de protección. Con la aparición del biodeterioro los materiales sufrieron una transformación y posterior desintegración parcial o total. Las colas pueden desintegrarse y volverse pulverulentas. Se produce una descomposición del sustrato que favorece la expansión del micelio.

Coloraciones, pas mados, etc... En la superficie de los lienzos se instalaron distintas colonias de microorganismos produciendo infecciones.



A. C8



B. C10



C. C7

A. La acción de los microorganismos da lugar a la aparición de manchas blanquecinas y a un debilitamiento de la tela.

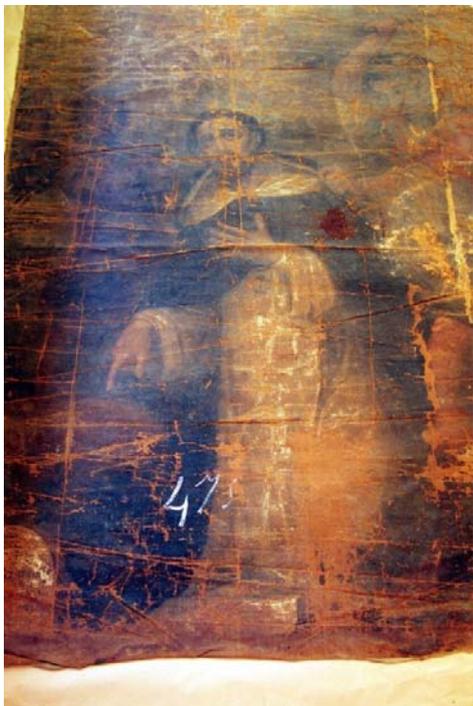
B. Los aglutinantes se han desintegrado y las capas pictóricas han perdido toda su consistencia y adhesión provocando desprendimientos.

C. La aparición de micelio en la superficie produce manchas blanquecinas que en algunos casos son confundidas con eflorescencias salinas.

Lámina 12. Morfología de las alteraciones bioquímicas.

4.2.5.4 LOCALIZACIÓN DE LAS FORMAS DE ALTERACIÓN

A continuación se enumeran las formas de alteración de cada una de las obras:



1. Martirio de San Pedro de Verona.

Dobleces y pliegues, debilitamiento completo del soporte que presenta manchas de humedad y deformaciones.

Pérdidas generalizadas de la capa de preparación y pictórica.

Estado pulverulento de las capas sufriendo un alto grado de abrasión y desgaste.

CuarTEAMIENTO de toda la superficie con peligro de desprendimiento.

Coloraciones y oscurecimiento generalizado. Inscripciones del siglado con el número de inventario "475".



2. Despedida de San Francisco Javier.

Pérdidas del soporte en bordes y pequeñas pérdidas generalizadas.

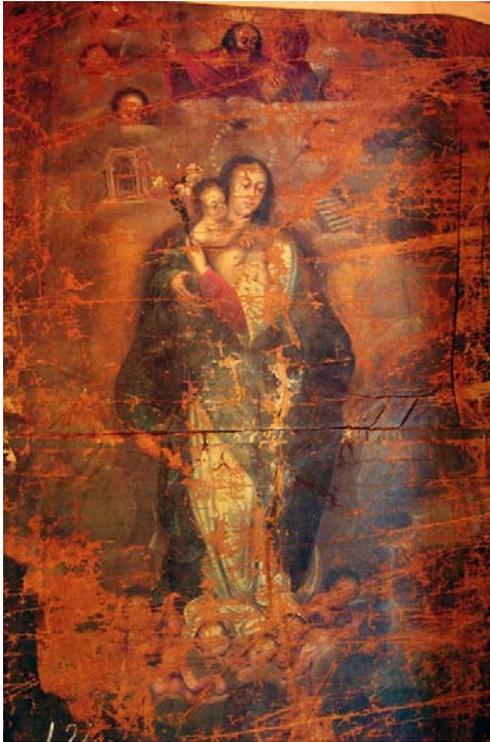
Pliegues y grietas. Recortado de bordes. Pérdidas de capa de pictórica.

Pulverulencias.

Pérdida generalizada del barniz.

Siglado con el número "423".

Lámina 13. Estado de conservación C1 y C2.



3. Inmaculada con niño.

Debilitamiento completo del soporte Dobleces y pliegues.

Deformaciones.

Pérdidas generalizadas de la capa de preparación y pictórica.

Estado pulverulento de las capas sufriendo un alto grado de abrasión y desgaste.

CuarTEAMIENTO de toda la superficie con peligro de desprendimiento.

Coloraciones y oscurecimiento generalizado.

Estado pulverulento de las capas.

Siglado con el número "424".



4. El árbol de Jessé.

Pliegues y pérdida inferior de soporte, grietas y orificios de clavos en bordes y oxidación de las fibras.

Manchas blanquecinas y extensos micelios de hongos.

Pérdida de preparación y capa pictórica.

Oscurecimiento generalizado. Inscripciones.

Inscripciones.



5. San Agustín.

Pérdida de la mitad inferior del soporte y eje vertical. Pliegues.

Manchas blanquecinas y micelio de hongos. Oscurecimiento generalizado.

Estado pulverulento de las capas sufriendo un alto grado de abrasión y desgaste.

CuarTEAMIENTO de toda la superficie con peligro de desprendimiento.

Coloraciones y oscurecimiento generalizado.



6. San Antonio de Padua y el niño.

Pliegues y pérdidas del soporte, desgarros de bordes y oxidación de fibras.

Pérdidas de preparación y capa pictórica.

Estado pulverulento y oscurecimiento generalizado.

Lámina 15. Estado de conservación C5 y C6.



7. Inmaculada.

Pliegues y pérdidas de soporte, grietas y orificios de clavos en bordes y oxidación de las fibras.

Manchas blanquecinas y micelios de hongos.

Oscurecimiento generalizado. Inscripciones en blanco con un siglado numérico "426".



8. Estigmatización de San Francisco

Pérdida inferior de soporte, superficie con pliegues y abolsamientos, contracciones, deformaciones y oxidación de las fibras.

Manchas blanquecinas y micelios de hongos.

Capa de preparación y pictórica pulverulentas y disgregadas.

Pérdida total de la capa de protección.

Alteraciones cromáticas y oscurecimiento generalizado.

Inscripciones. Siglado con los números "4016 431 y 257" en blanco.



9. Virgen de La Candelaria.

Pérdida superior de soporte.

Grandes pliegues, dobleces y combamientos, ampollas y abolsados.

Manchas blanquecinas y micelio de hongos.

Pérdida de las capas de preparación y pictórica.

Pérdida total del barniz.

Siglado con el número "486".



10. Cristo de La Paciencia

Pérdidas de soporte en la zona inferior y superior.

Desgarros, dobleces y pliegues. Deformaciones.

Pérdidas de la capa de preparación y pictórica.

Estado pulverulento de las capas.

Coloraciones y oscurecimiento generalizado.

Blanqueamientos y manchas de humedad.

Siglado con el número 457.

Lámina 17. Estado de conservación C9 y C10.



11. Cristo atado a la columna.

Dobleces y pliegues, debilitamiento completo del soporte que presenta manchas de humedad y deformaciones.

Pérdida lateral del soporte. Pérdidas de bordes, grietas, pliegues y oxidación de las fibras.

Manchas blanquecinas y micelio de hongos.

Pérdidas de capa de preparación y pictórica.

Alteraciones cromáticas y pérdida de la capa de protección. Inscripciones.

Siglado con el número 438.



12. *Noli me tangere.*

Grandes pérdidas del soporte, dobleces, pliegues y extensas grietas.

Pérdidas de preparación y capa pictórica.

Pérdidas del barniz.

Inscripciones. Siglado con el número "484".

4.2.6 ANÁLISIS DE LAS FIBRAS TEXTILES DE LOS LIENZOS.

Este estudio se ha llevado a cabo como se describe en el apartado correspondiente de Material y Métodos.

El análisis de las mismas ha indicado que se trata de fibras de líber, bastas, blandas o de tallos. Cáñamo (*Cannabis sativa*).

C2(d)

Fibra elemental: 17-24 micras.

Distancia internodal: 230-240 micras.

Haz de fibras: 140 micras.

Fibra de cáñamo con torsión en Z, formando trenzados.

C7(d)

Fibra elemental: 12-26 micras.

Distancia internodal: 180 micras.

Haz de fibras: 168 micras.

Fibra de cáñamo.

C9(d)

Fibra elemental: 12-26 micras.

Distancia internodal: 84-91 micras.

Haz de fibras: 84-103 micras.

Fibra de cáñamo, con torsión en Z.

C11(d)

Fibra elemental: 12-22 micras.

Distancia internodal: 60-200 micras.

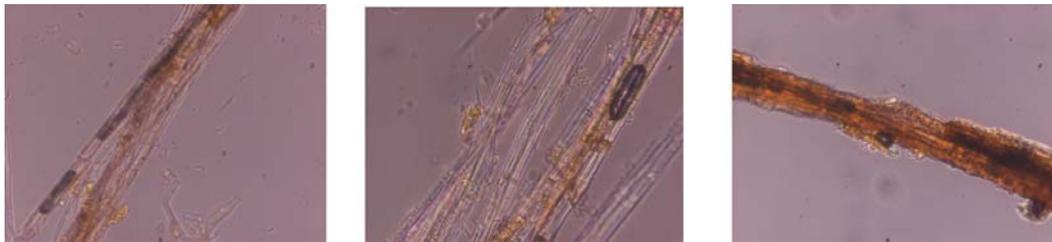
Haz de fibras: 48-60 micras.

Fibras de cáñamo, muy encoladas.

Los resultados obtenidos se muestran en la lámina siguiente:



C2d. Despedida de San Francisco Javier. Fibras de cáñamo.



C7d. Inmaculada. Fibras de cáñamo.



C9d. Virgen de la candelaria. Fibras de cáñamo.



C11d. Cristo atado a la columna. Fibras de cáñamo.

Lámina 19. Fibras textiles muy debilitadas con restos de cola y esporas adheridas.

4.2.7 Estudio mediante microscopia electrónica de barrido (MEB/EDX)

Mediante esta técnica se han encontrado sustancias tales como el sulfato cálcico (yeso), utilizado como carga en las preparaciones, acompañado en ocasiones con hierro con el fin de aplicar una imprimación rojiza. También se han encontrado elementos tales como el plomo formando albayalde, (carbonato básico de plomo $2\text{PbCO}_3\text{Pb}(\text{OH})_2$), silicio, magnesio, aluminio, sodio, potasio y fases cristalinas como la calcita, pertenecientes a las capas pictóricas (Ver anexos).

Muestra nº	Capa/color	Elementos
C-1	Preparación	Si, Ca, Fe, Al (Na, Mg, K, Ti)
C-1	Capa 2	Pb (Si, Ca)
C-1	Capa 3	Pb (Si, Ca)
C-2	Preparación gris	Ca, Si, Al (Na, Mg, P, Cl, K, Fe)
C-2	Preparación roja	Al, Si, Fe, S (Na, Mg, K, Ca, Mn)
C-2	Rojo	Pb, Ca, Fe, Al, S (Na, Mg, Mn)
C-3	Preparación inferior	Ca, Si (Al, Mg, K, Fe)
C-3	Preparación superior	Si, Al, Fe (Mg, K, Ca, Ti)
C-3	Gris	Pb (Ca, Si, Al)
C-3	Grano azul	Pb, Si (Fe, Co, K)
C-4	Verde	Cu, Ca, Pb (Si, K, Cl, Fe)
C-4	Gris repinte	Si, Al, Ca, Pb, As (S, K, Fe, Cu)
C-4	Negro superficial	Si, Ca, Al (Mg, Cl, K, Fe, Cu)
C-5	Rojo inferior	Hg, S (Pb, Al, Mg, Fe, K, Ca)
C-5	Rojo superior	Pb, S (Al, Ca, Hg, Fe)
C-6	Carnación	Pb (Si, Al, K, Na, Fe)
C-7	Preparación gris	Ca (Si, Cl, Fe)
C-7	Preparación ocre	Si, Ca (Al, K, Mg, Fe, Mn)
C-7	Pintura gris azulada	Pb, Ca (Mg, Al, Si, Cl, Fe)
C-8	Preparación roja	Si, Ca (Al, K, Fe, Na, Mg)
C-8	Azul	Si, Pb (K, Ca, Fe, Co)
C-9	Preparación oscura	Si, Al, Fe (Na, Mg, K, Ti)
C-9	Blanco inferior	Pb (Si, Ca, Fe)
C-9	Ocre amarillento	Fe (Mg, Al, Si, Ca)
C-9	Blanco superior	Pb, Si, Ca (Fe, Mg, Al, Cl)
C-10	Preparación roja	Si, Ca, Mg, Al, Fe (Na, Pb, K)
C-10	Marrón oscuro	Al, Si, Fe, Ca (Na, Mg, K)
C-10	Rojo oscuro	Al, Si, Pb, Ca, Fe (Na, Mg, K)
C-11	Preparación ocre	Si, Ca (Mg, Al, K, Fe, Mn)
C-11	Carnación	Pb (Si, Fe, Cl)
C-12	Preparación roja	Al, Si (Ca, Pb, Mg, Na, Ti, K, Fe)
C-12	Azul	Si, Pb (Al, Ca, Fe, As)

Tabla 4. MICROANÁLISIS MEB/EDX.

4.2.8 ESTUDIO MICROBIOLÓGICO

Los microorganismos presentes en obra real fueron aislados e identificados según se describe en el apartado correspondiente del capítulo de material y métodos.

Los microorganismos encontrados fueron:

Hongos: Géneros: *Alternaria*, *Aspergillus*, *Rhizopus*, *Cladosporium*, *Acremonium* y *Mucor*.

Bacterias: Géneros: *Bacillus*, *Micrococcus*, *Staphylococcus*, *Nocardia*, *Sphaerotilus*, *Corynebacterium* y un Actinomiceto.

En la siguiente tabla se detalla los microorganismos encontrados en cada uno de los lienzos:

LIENZOS	MICROORGANISMOS
C1 Martirio de San Pedro de Verona	<i>Micrococcus</i> <i>Bacillus</i> <i>Aspergillus</i>
C2 Despedida de San Francisco Javier.	<i>Bacillus</i>
C3 Inmaculada con niño	<i>Bacillus</i> <i>Mucrococcus</i> <i>Alternaria</i>
C4 Arbol de Jessé	<i>Bacillus</i>
C5 San Agustín	<i>Corynebacterium</i>
C6 San Antonio de Padua y el niño	<i>Bacillus</i> <i>Sphaerotilus</i>
C7 Inmaculada	<i>Micrococcus</i> <i>Bacillus</i> Actinimiceto
C8 Estigmatización de San Francisco	<i>Aspergillus</i> <i>Mucor</i> <i>Alternaria</i>
C9 Virgen de la Candelaria	<i>Penicillium</i> <i>Alternaria</i>
C10 Cristo de la Paciencia	<i>Penicillium</i>
C11 Cristo atado a la columna	<i>Aspergillus</i>
C12 <i>Non li me tangere</i>	<i>Micrococcus</i> <i>Cladosporium</i> <i>Rhizopus</i>

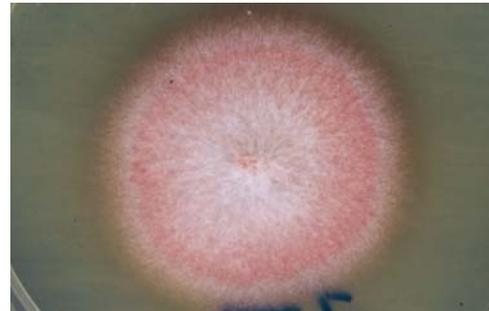
Tabla 5. Lienzos y microorganismos encontrados (ver Láminas 21, 23, 25, 27, 29, 31, 33, 35, 37, 39, 41 y 43).

La Lámina 20 muestra imágenes macroscópicas de algunos de los hongos aislados.

Hay que señalar la fuerte pigmentación que muestran las colonizaciones.



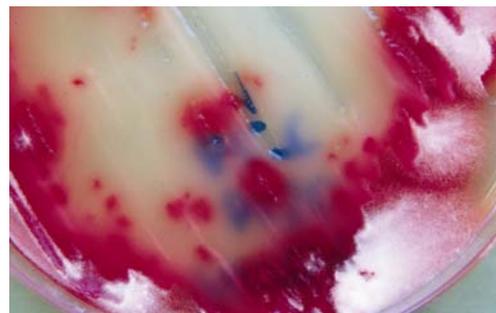
Aspergillus



Alternaria



Penicillium



Alternaria

Lámina 20. Colonizaciones pigmentadas de *Aspergillus*, *Penicillium* y *Alternaria*

4.2.9 ESTUDIO MEDIANTE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA POR EMISIÓN DE CAMPO (FESEM)

Mediante esta técnica se ha llevado a cabo la observación y estudio de las muestras lo que ha permitido describir la acción destructora de los microorganismos a través de los distintos estratos que componen las obras desde el reverso hasta el anverso. El reverso por su estructura abierta e irregular, capaz absorber depósitos superficiales de polvo y suciedad en el soporte textil, supone el estrato que genera una mayor aportación de sustancias orgánicas favorecedoras del crecimiento de microorganismos. Otro factor es la falta de ventilación y la escasa limpieza periódica de los depósitos superficiales que junto a la proximidad de humedad, favorecen la proliferación microbiana. Tras la hidrólisis de la celulosa y la descomposición de las fibras, los aglutinantes de las capas de imprimación y de la preparación compuestos por colas animales ricas en sustancias proteicas, generan un substrato perfecto para el desarrollo del crecimiento de hongos y bacterias favorecido por las condiciones ambientales con alta humedad y ausencia de luz. El sulfato cálcico de la preparación ha sufrido un proceso de hinchamiento y aumento de tamaño fatal para la estructura sólida interna de las obras. Las esporas de hongos se fijan a este sustrato donde inician el proceso de germinación con formación de hifas y micelios que se expanden a través de grietas, atravesando estratos debilitados por procesos de deterioro físico-químicos, alcanzando la superficie. En esta se encuentran con la capa pictórica más sólida que actúa de barrera hacia el exterior y es ahí en donde comienzan a abrirse grietas superficiales y orificios que permiten la llegada al anverso de micelios con la consiguiente aparición de coloraciones blanquecinas (Poyatos *et al.* 2006).

Se han encontrado gran cantidad de hifas y esporas en las superficies de las muestras analizadas. También se ha podido determinar la estructura que desarrollan en las superficies de las capas produciendo una acción físico-química que origina grandes alteraciones. Las hifas surgen de las microfisuras produciendo tracciones mecánicas en los estratos pulverulentos y disgregados.

Los resultados obtenidos se muestran en las láminas 21, 23, 25, 27, 29, 31, 33, 35, 37, 39, 41 y 43.

4.2.10 ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICOS, CROMATOGRAFÍAS Y ANÁLISIS ELEMENTALES DE LAS MUESTRAS

Estos análisis se han realizado según las técnicas descritas en los apartados correspondientes del capítulo de Material y Métodos.

Mediante estos análisis se obtuvieron resultados relacionados con:

- el tipo de sustancias filmógenas empleadas como preparaciones,
- aglutinantes de materiales de carga y de capas pictóricas.
- capas de protección.

Los resultados obtenidos se muestran en las Láminas 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 38, 40, 42 y 44.

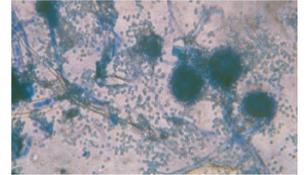
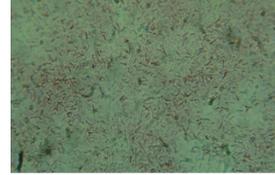
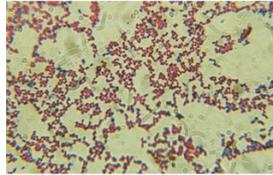
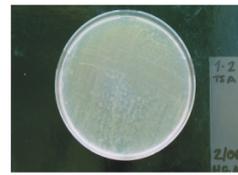
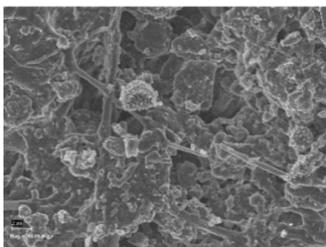
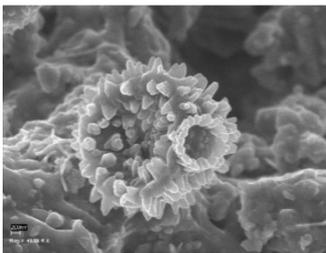
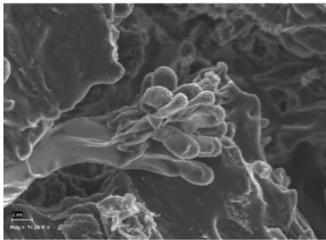
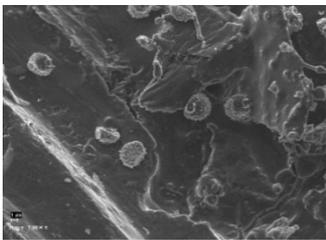
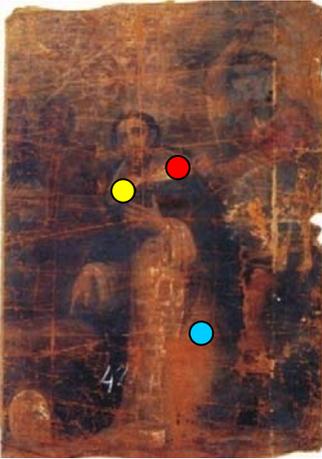
Mediante el análisis químico se han encontrado sustancias tales como Sulfato Cálcico (yeso) utilizado como carga en las preparaciones, acompañado en ocasiones con hierro, con el fin de aplicar una imprimación rojiza. También se han encontrado elementos como el Plomo (Albayalde), Silicio, Magnesio, Aluminio, Sodio, Potasio y fases cristalinas como la Calcita, pertenecientes a las capas pictóricas (Ver Anexo y Tabla 7).

En el caso de los barnices, los cromatogramas reflejan pequeñas trazas de diterpenos de origen resinoso de plantas coníferas, no dando resultados significativos ya que las capas de protección se encontraban prácticamente eliminadas de las obras en los procesos de degradación que estas habían sufrido (Ver anexo y Tabla 7).

4.2.11 LÁMINAS RECOPIULATORIAS DE LOS ANÁLISIS REALIZADOS

Las siguientes Láminas y su descripción corresponden a los análisis efectuados en cada obra mediante microscopía óptica (M.O), espectroscopía IR (EIR), microscopía electrónica de barrido/análisis elemental (MEB-EDX) y cromatografía en fase gaseosa (CFG).

Igualmente se muestran imágenes de los microorganismos aislados:



MC1a ● *Micrococcus*

Bacillus

Aspergillus

Reverso. MC1b ●



Capa de preparación. Podemos observar la impronta del soporte textil sobre la capa de preparación en la que se han depositado diversas esporas.

Los micelios se abren camino entre los estratos pictóricos colonizando las capas y rompiendo los materiales.

Anverso. MC1b ●

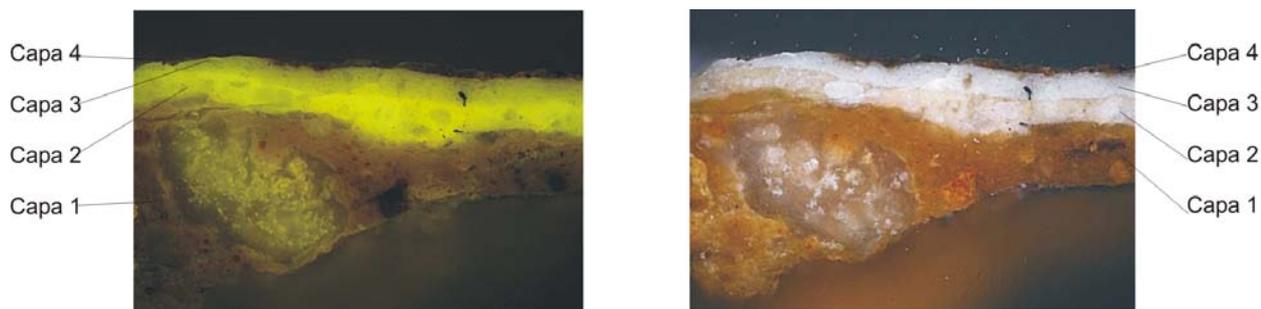


Superficie pictórica.
Espora de *Aspergillus*.

Superficie pictórica con material disgregado. Las hifas y las esporas se reparten por toda la superficie.

El barniz se encuentra totalmente removido y deteriorado.

Lámina 21. Estudio microbiológico de la muestra C1a y ultramicroscópico de la muestra C-1b.



Interior capucha blanca MC1c ●

La preparación es de tierra ocre con arcillas, óxidos de hierro, cuarzo, trazas de rutilo y gruesos granos de calcita CO_3Ca . Contiene aceite de linaza como aglutinante, pero también se detecta cola animal, seguramente del encolado de la tela. La pintura consta de dos capas sucesivas de blanco de plomo, ligeramente matizado con pequeñas cantidades de tierras y negro carbón. La cromatografía de la muestra completa detecta la presencia de aceite de linaza, con mínimas cantidades de otros ácidos grasos. Esto, unido a la falta de fluorescencia del barniz hace pensar que este es como el aglutinante de la pintura, de tipo oleoso. El espectro de IR detecta también la presencia de proteína que podría ser un resto de cola de consolidación, una mezcla de proteínas producto del biodeterioro o ambas cosas al mismo tiempo.

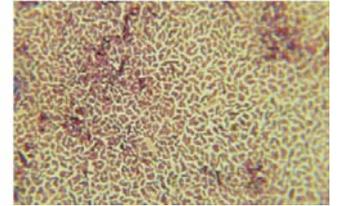
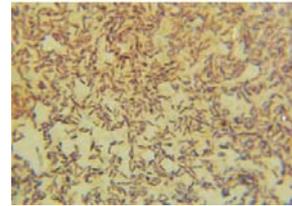
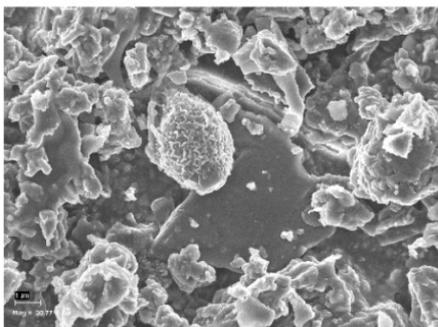
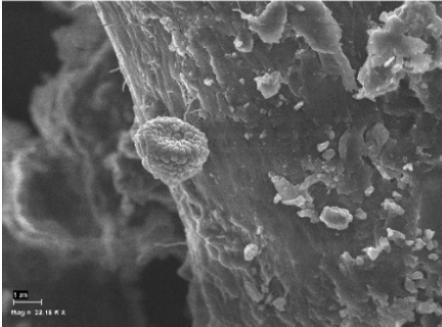
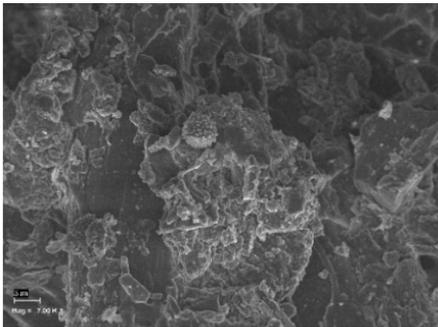
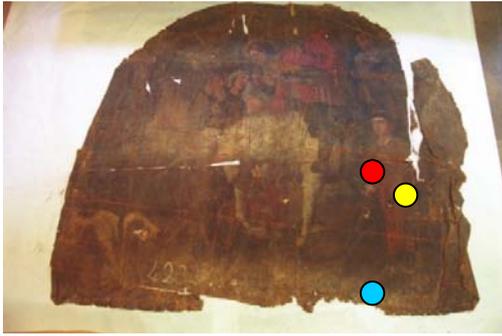
En la capa de albayalde por su alta concentración en plomo (CO_3Pb) no debe haberse detectado microflora por ser este un elemento altamente tóxico.

(Consultar anexo)

Capa N°	Color	Espesor (μ)	Pigmentos	Aglutinantes
1	pardo	250	tierra ocre, calcita	aceite de linaza, cola animal
2	blanco	35	albayalde, calcita (tr.), tierras (tr.), negro carbón vegetal (tr.)	aceite de linaza
3	blanco	35	albayalde, calcita (tr.), tierras (tr.), negro carbón vegetal (tr.)	aceite de linaza
4	pardo translúcido	10	oxalatos	aceite de linaza, proteína

tr.: trazas

Lámina 22. Resultados de los análisis cromatográficos, estratigráficos y elementales de la muestra C1c.



MC2a ●

Bacillus

Bacillus

Reverso. MC2b ●



En las imágenes podemos observar como las esporas se depositan sobre las fibras textiles. En ellas encuentran la celulosa que les sirve como fuente de carbono para nutrirse y comenzar su crecimiento con la ayuda de unas adecuadas condiciones ambientales.

Anverso. MC2b ●



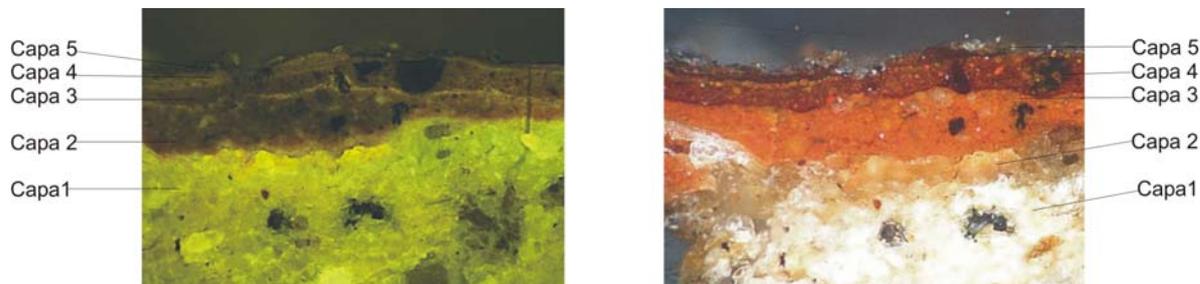
Espora de *Alternaria*.

En la superficie pictórica comienzan a abrirse grietas por donde salen las hifas.

A nivel macroscópico se manifiestan como áreas blanquecinas.

A nivel microscópico observamos cómo además el material superficial se encuentra totalmente disgregado.

Lámina 23. Estudio microbiológico de la muestra C2a y ultramicroscópico de la muestra C2b.



Manto rojo de la figura derecha. MC2c ●

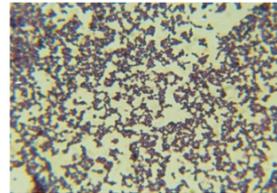
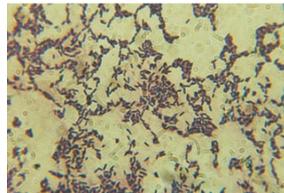
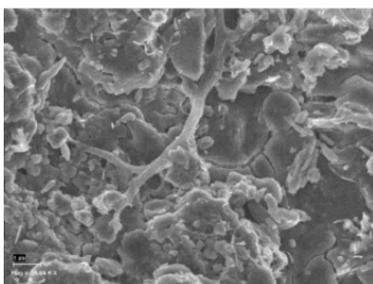
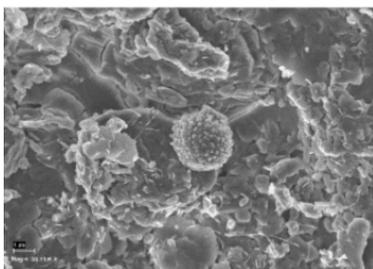
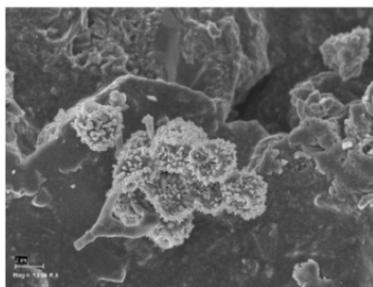
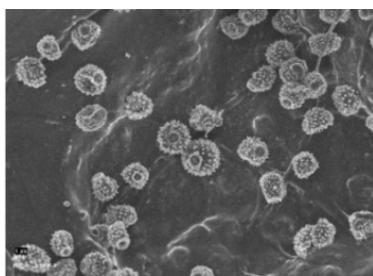
La preparación es gris, del tipo de las cenizas que se usan en la escuela madrileña, pero también habitual en algunas otras escuelas, como la granadina. Contiene calcita principalmente, con tierras, negro de hueso o marfil y algo de yeso. La segunda capa es una imprimación rojiza al óleo también característica de la pintura del s. XVII. Contiene tierra roja que a su vez está compuesta por minerales arcillosos, cuarzo, dolomita, pirolusita, y óxido de hierro. También hay calcita, algo de pirita y negro carbón. La pintura es rica en laca roja, con dos pinceladas de base de laca mezclada con minio y tierras y una veladura en muy mal estado de laca roja pura. El barniz es también de tipo oleoso fundamentalmente, ya que no aparecen más que trazas dudosas de terpenos. El espectro de IR detecta también la presencia de proteínas que podría ser un resto de cola de consolidación, una mezcla de proteínas producto del biodeterioro o ambas cosas al mismo tiempo.

(Consultar anexo)

Capa N°	Color	Espesor (μ)	Pigmentos	Aglutinantes
1	gris	300	calcita, tierras, negro de hueso, yeso	cola animal
2	rojo	50-95	tierra roja, calcita, negro carbón	aceite de linaza
3	rojo oscuro (dos capas)	55	laca roja, minio de plomo, tierras, calcita, negro carbón	aceite de linaza
4	rojo translúcido irregular	0-10	laca roja, calcita	aceite de linaza
6	pardo irregular	0-5	oxalatos	aceite de linaza, proteína

tr.: trazas

Lámina 24. Resultados de los análisis cromatográficos, estratigráficos y elementales de la muestra C2c.



MC3a ●

Bacillus

Micrococcus

Alternaria

Reverso. MC3b ●



Esporas de *Aspergillus*. Sobre la superficie del reverso se encuentran depositadas esporas y micelios que se servirán de las colas que saturan las sustancias de carga de la preparación para nutrirse.

Parte de un esporángio de *Aspergillus*

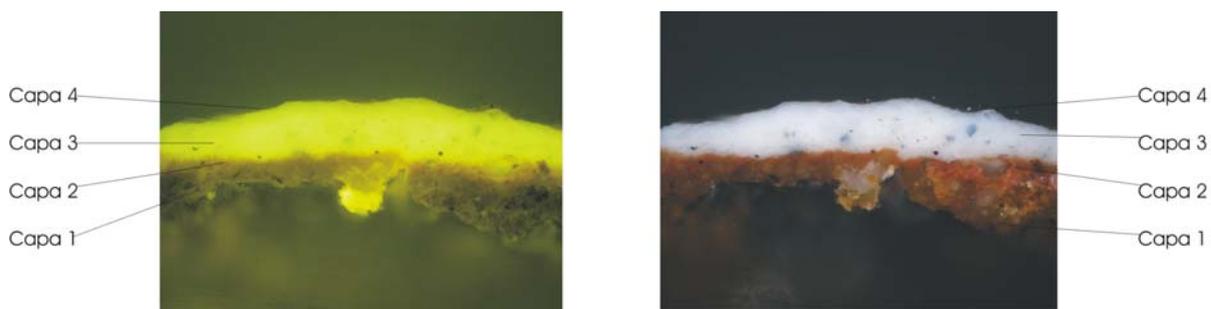
Anverso. MC3b ●



La superficie pictórica sufre distintas fases del biodeterioro, tras la hidrólisis de los materiales tiene lugar el crecimiento de los microorganismos que origina cambios físicos en la estructura del material como son la disgregación, la dilatación, el craquelado, etc...

En esta fase final se producen manchas de varios colores y dimensiones, produciéndose al mismo tiempo un levantamiento del color.

Lámina 25. Estudio microbiológico de la muestra C3a y ultramicroscópico de la muestra C3b.



Manto blanco azulado. MC3c ●

La preparación tiene dos capas. La capa inferior de color más ocre, tiene una mezcla de calcita y tierra ocre-roja rica en minerales arcillosos, albita, cuarzo y óxidos de hierro, con trazas de dolomita. El aglutinante es el aceite de linaza, ya que la cola animal aparece sólo en la cara inferior de la preparación y procede por tanto del encolado de la tela. La capa superior es también de tierras al óleo, pero mucho más fina y contiene tierra roja, rica en minerales arcillosos, cuarzo y óxido férrico, junto con trazas de micas, calcita y dolomita.

El color azul, con esmalte de cobalto, se aplica sobre una base de color gris oleosa como la capa final de color.

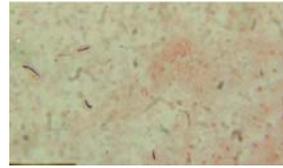
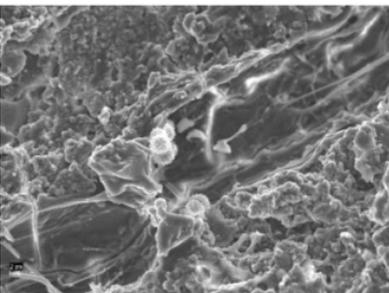
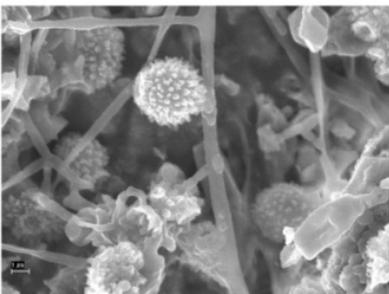
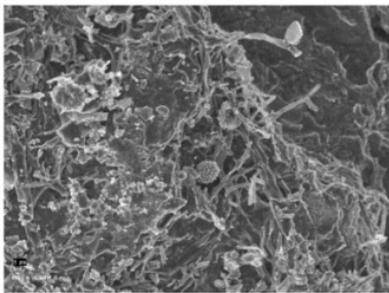
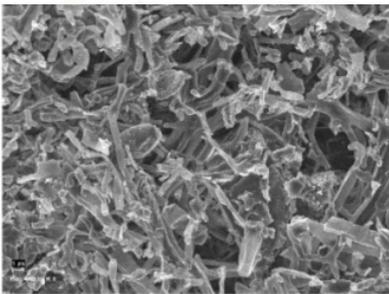
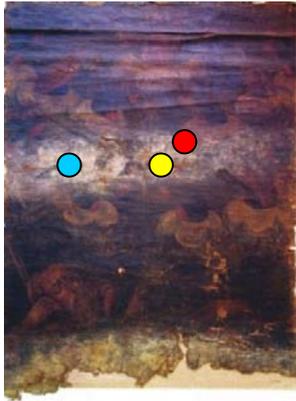
La superficie de la pintura está casi exenta de barniz en la muestra analizada y sólo permanece un resto de material resinoso visible en la estratigrafía. El examen superficial de la pintura con el microscopio electrónico indica también esta falta de barniz que hace que se vea el contraste de los granos de blanco de plomo. El IR además detecta altas proporciones de cola animal, procedentes de antiguas intervenciones de consolidación o protección.

(Consultar anexo)

Capa N°	Color	Espesor (μ)	Pigmentos	Aglutinantes
1	pardo anaranjado	150	tierra ocre – roja, albayalde (tr.), calcita	aceite de linaza, cola animal
2	rojo	50	tierra roja, calcita (tr.)	aceite de linaza
3	gris	15	albayalde, negro carbón, calcita (tr.), tierras (tr.)	aceite de linaza
	translúcido irregular	0-5	-	cola animal, resina de conífera (tr.)

tr.: trazas

Lámina 26. Resultados de los análisis cromatográficos, estratigráficos y elementales de la muestra C3c.



MC4a ●

Bacillus

Reverso. MC4b ●



Toda la superficie del reverso se encuentra colonizada por microorganismos.

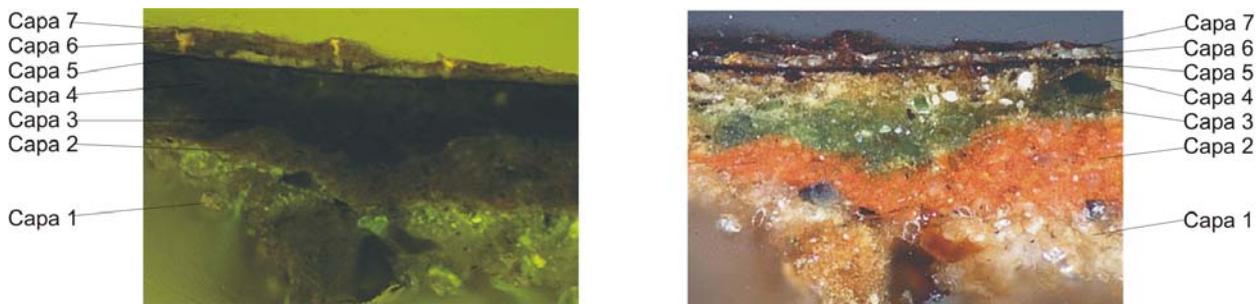
En la mayoría de los casos el crecimiento se inicia entre la tela y la preparación al encontrarse la mayor cantidad de nutrientes orgánicos y los más biodeteriorables.

Anverso. MC4b ●



Espora e hifas de *Aspergillus*. Las hifas emergen desde el interior del cuadro entre las grietas de la superficie a modo de craqueladuras.

Lámina 27. Estudio microbiológico de la muestra C4a y ultramicroscópico de la muestra C4b.



Borde superior derecho MC4c ●

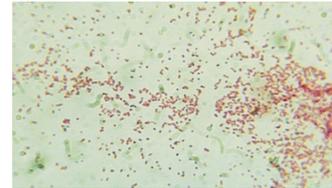
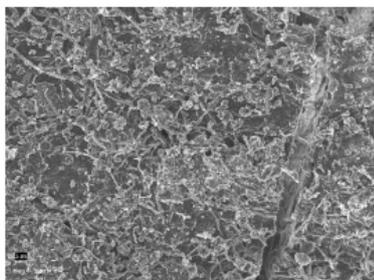
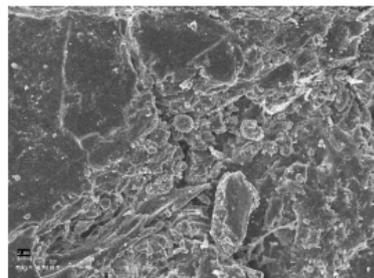
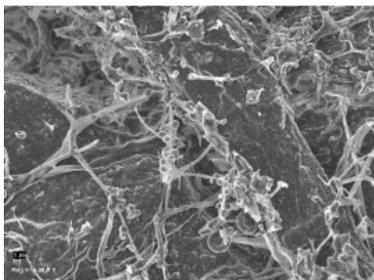
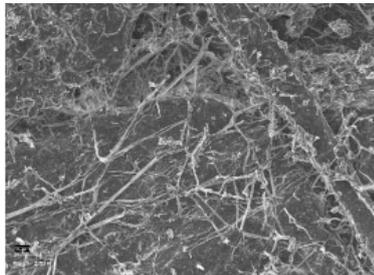
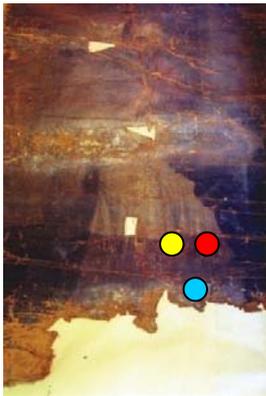
La preparación de la muestra es similar a la C-2. Contiene calcita principalmente, con tierras, negro de hueso o marfil y algo de yeso. La pintura inferior es verde de cardenillo, con una fina pincelada superficial de color gris verdoso. Hay un barniz antiguo, posiblemente original, muy oscurecido por la presencia de cuprita (rojo sucio), procedente de la degradación del pigmento verde de cobre. Hay un repinte antiguo de color gris que incorpora algo de oropimente, que se usó mucho en el siglo XVIII. El barniz superficial está también muy oscurecido y aún en él se detectan restos de cobre y arsénico. El espectro de IR detecta también la presencia de proteína que podría ser un resto de cola de consolidación, una mezcla de proteínas producto del biodeterioro o ambas a la vez

(Consultar anexo)

Capa N°	Color	Espesor (μ)	Pigmentos	Aglutinantes
1	gris	250	calcita, tierras, negro de hueso, yeso	cola animal
2	rojo	15-110	tierra roja, calcita, negro carbón	aceite de linaza
3	verde	15-100	cardenillo, calcita, albayalde, tierras	aceite de linaza
4	pardo claro	0-45	albayalde, calcita, tierra ocre, cardenillo	aceite de linaza
5	pardo oscuro translúcido	5	cuprita	barniz oleoso
6	gris	20	calcita, tierras, oropimente, negro carbón, albayalde (tr.), sales de cobre	aceite de linaza
7	pardo oscuro translúcido	15	tierras (tr.), yeso (tr.), sales de cobre, arsénico, oxalatos	aceite de linaza, resina de conífera, proteína

tr.: trazas

Lámina 28. Resultados de los análisis cromatográficos, estratigráficos y elementales de la muestra C4c.



MC5a ● Corynebacterium

Reverso. MC5b ●



En las imágenes podemos observar esporas de hongos depositadas sobre las fibras textiles. En ellas encuentran la celulosa que les sirve como fuente de carbono para nutrirse y comenzar su crecimiento con la ayuda de unas adecuadas condiciones ambientales.

Fotografía general y detalle de una fibra textil envuelta en hifas.

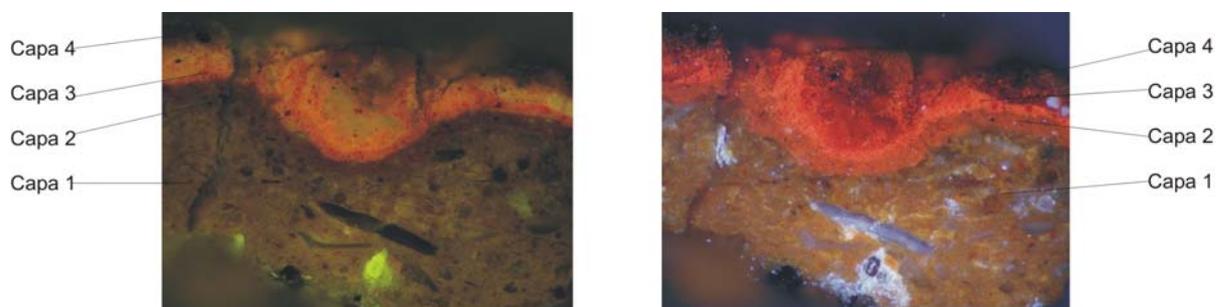
Anverso. MC5b ●



La eclosión que tiene lugar en el anverso produce principalmente alteraciones físico-mecánicas que desencadenan cambios estructurales en los materiales y cambios ópticos en las capas visibles superficialmente.

Las hifas emergen desde el interior del cuadro entre las fracturas y grietas de la superficie.

Lámina 29. Estudio microbiológico de la muestra C5a y ultramicroscópico de la muestra C5b.



Manto rojo. MC5c ●

La preparación tiene dos capas. La capa inferior de color más ocre, tiene una mezcla de calcita y tierra ocre – roja rica en minerales arcillosos, albita, cuarzo y óxidos de hierro, con trazas de dolomita. El aglutinante es el aceite de linaza, ya que la cola animal aparece sólo en la cara inferior de la preparación y procede por tanto del encolado de la tela. La preparación es muy similar a la de la muestra anterior, con la misma composición mineralógica para ambas capas, aunque en esta muestra los espesores sean diferentes. El color rojo se pinta en dos capas, la inferior más rica en bermellón y la superior más rica en laca roja.

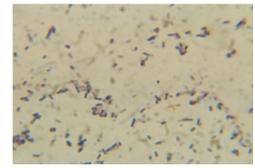
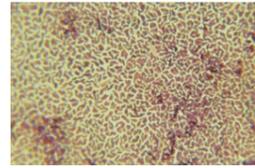
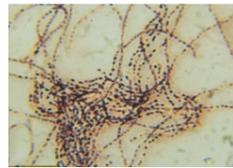
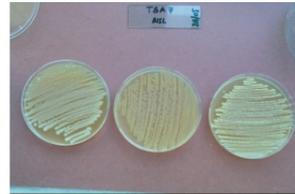
Las veladuras muy gruesas de laca roja, al secar muy lentamente, tienden a arrugarse (por mantener su fluidez y por la acción de la fuerza de la gravedad), por lo que aparecen superficies aconchadas y grietas muy gruesas, denominadas por algunos autores craquelados prematuros, porque aparecen antes o de forma más violenta que el resto del craquelado normal de la pintura. Muestra C-6. San Antonio de Padua y el niño.

(Consultar anexo)

Capa N°	Color	Espesor (μ)	Pigmentos	Aglutinantes
1	pardo anaranjado	– 300	calcita, tierra ocre – roja, albayalde (tr.)	aceite de linaza, cola animal
2	rojo	55	tierra roja, calcita (tr.)	aceite de linaza
3	rojo intenso	15	bermellón, laca roja	aceite de linaza
4	rojo	150	laca roja, calcita, bermellón	aceite de linaza, resina de conífera (tr.), cola animal

tr.: trazas

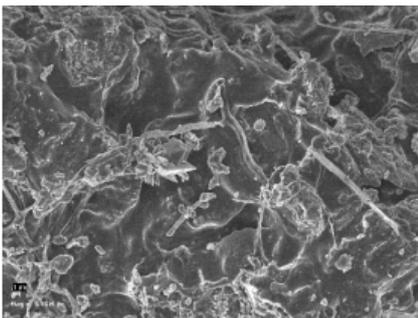
Lámina 30. Resultados de los análisis cromatográficos, estratigráficos y elementales de la muestra C5c.



MC6a ● *Sphaerotilus*

Bacillus

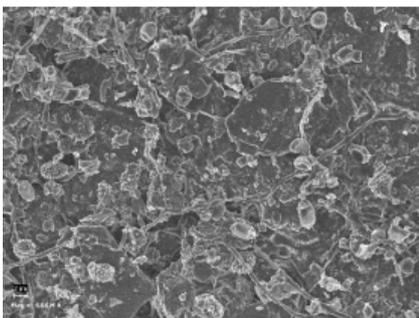
Bacillus



Reverso. MC6b ●



Después de la hidrólisis de los materiales tanto orgánicos como inorgánicos estos se han transformado. El proceso de crecimiento de microorganismos es paralelo al proceso de hidrólisis acompañado de condiciones ambientales extremas.



Anverso. MC6b ●



Superficie pictórica disgregada y pulverulenta mostrando un alto grado de colonización de microorganismos.

Lámina 31. Estudio microbiológico de la muestra C6a y ultramicroscópico de la muestra C6b.



Carnación. MC6c ●

La preparación es similar a la muestra anterior. La variación del espesor de la capa inferior de preparación se debe a que se aplicó para compensar la rugosidad del soporte de tela, por lo que en las crestas del mismo hay muy poco grosor y mucho en los valles.

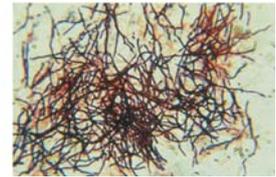
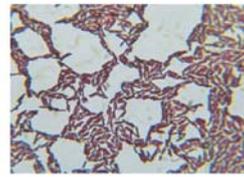
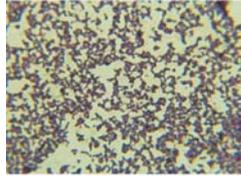
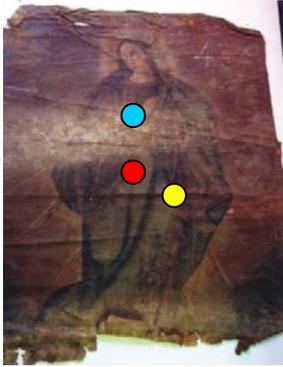
La carnación va sobre un fondo rojo oscuro y consta de una capa sencilla de albayalde y tierras al óleo.

El barniz está ligeramente ennegrecido por la presencia de carbonilla y tierras procedentes del polvo y humo ambientales. Es más grueso que en las otras dos muestras y ha sido identificado como una mezcla de aceite de linaza (mayoritario) y resina de conífera (minoritario).

(Consultar anexo)

Capa N°	Color	Espesor (μ)	Pigmentos	Agglutinantes
1	pardo anaranjado	0-50	tierra ocre – roja, albayalde (tr.), calcita	aceite de linaza, cola animal
2	rojo	55-70	tierra roja, calcita (tr.)	aceite de linaza
3	marrón rojizo oscuro	10-80	tierra roja, albayalde, calcita, negro carbón	aceite de linaza
4	rosado claro	90	albayalde, tierra roja, calcita	aceite de linaza
5	pardo translúcido	5	tierras (tr.), negro carbón (tr.), oxalato de calcio	cola animal, aceite de linaza, resina de conífera

tr.: trazas



Micrococcus
MC7a ●

Bacillus.

Actinomiceto

Reverso. MC7b ●



Los materiales filmógenos son utilizados por los microorganismos como nutrientes. Toda la superficie del reverso se encuentra colonizada.

En la mayoría de los casos el crecimiento se inicia entre la tela y la preparación al encontrarse la mayor cantidad de nutrientes orgánicos y los más biodegradables.

Anverso. MC7b ●



Las imágenes muestran una elevada colonización microbiana.

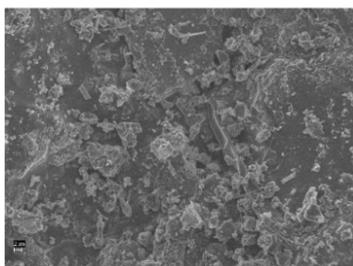
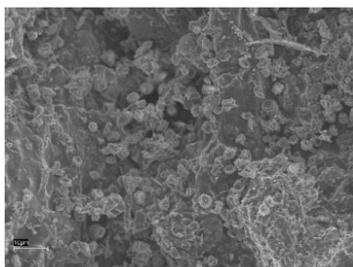
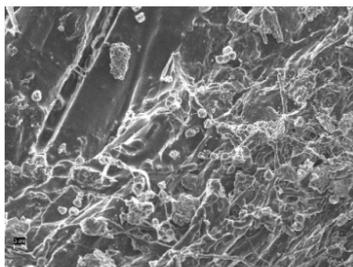
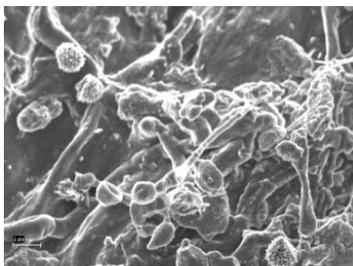
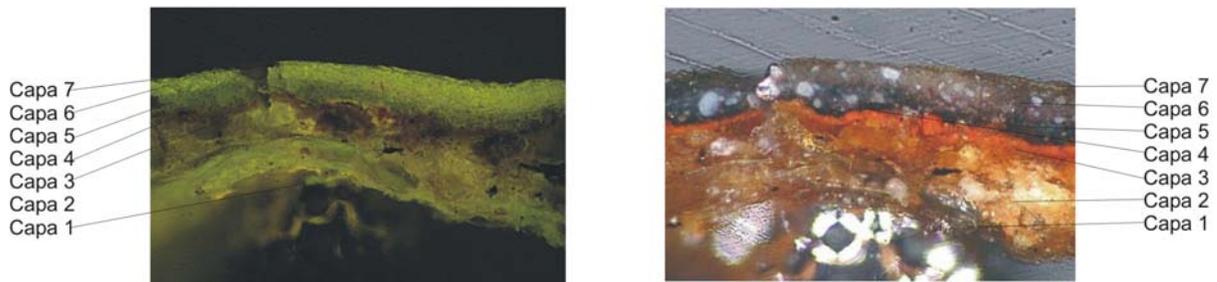


Lámina 33. Estudio microbiológico de la muestra C7a y ultramicroscópico de la muestra C7b.



Manto azul. MC7c ●

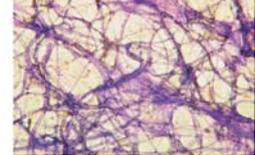
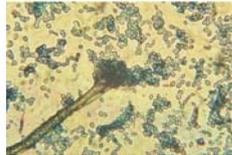
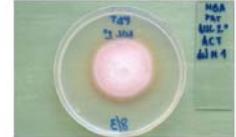
La preparación tiene una capa gris inferior y una imprimación ocre superior, pero también una capa roja fina que puede ser un fondo local o bien una segunda imprimación roja. El color se aplica en dos capas con añil calcita y albayalde, mezclados con laca roja. El espectro de IR detecta también la presencia de proteína que podría ser un resto de cola de consolidación, una mezcla de proteínas producto del biodeterioro o ambas cosas al mismo tiempo.

(Consultar anexo)

Capa N°	Color	Espesor (μ)	Pigmentos	Aglutinantes
1	gris	120	calcita, tierras, negro de hueso, yeso	cola animal
2	marrón	45-65	calcita, tierra ocre	aceite de linaza
3	rojo	10	tierra roja, calcita	aceite de linaza
4	negro	10	negro carbón	aceite de linaza
5	azul oscuro	25	añil, laca roja, albayalde, calcita	aceite de linaza
6	gris rosado	35	albayalde, calcita, laca roja, añil	aceite de linaza
7	pardo translúcido	5	oxalatos	aceite de linaza, proteína

tr.: trazas

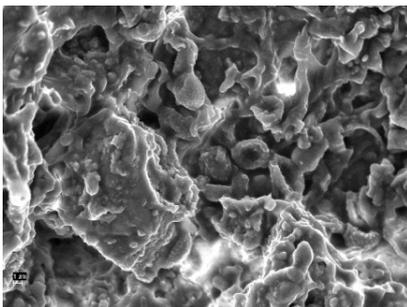
Lámina 34. Resultados de los análisis cromatográficos, estratigráficos y elementales de la muestra C7c.



MC8a ● *Aspergillus*

Mucor

Alternaria

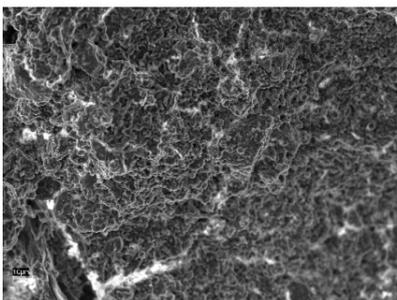


Reverso. MC8b ●



Las estructuras orgánicas internas son totalmente degradadas. Los estratos sufren una remoción.

La susceptibilidad al deterioro del sulfato cálcico de la capa de preparación provoca la pérdida de resistencia de la misma.



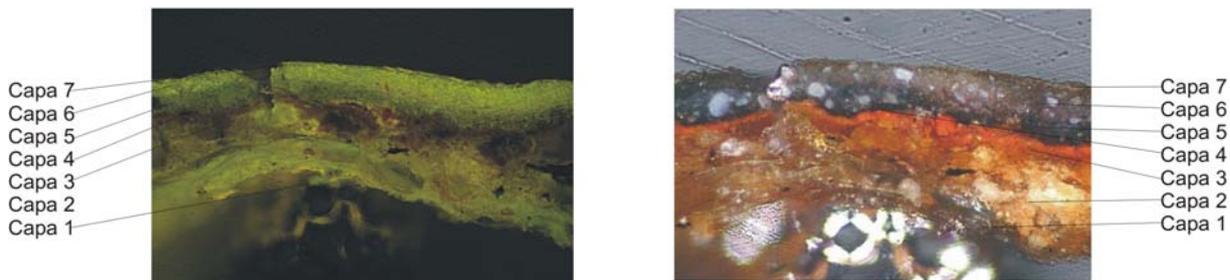
Anverso. MC8b ●



En la superficie pictórica comienzan a abrirse grietas por donde salen las hifas.

A nivel macroscópico se manifiestan por medio de coloraciones blanquecinas.

A nivel microscópico observamos cómo además el material superficial se encuentra totalmente disgregado



Manto del ángel. MC8c ●

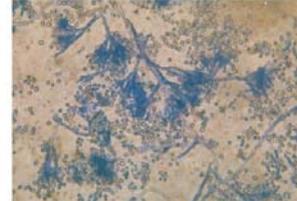
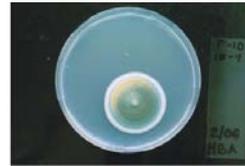
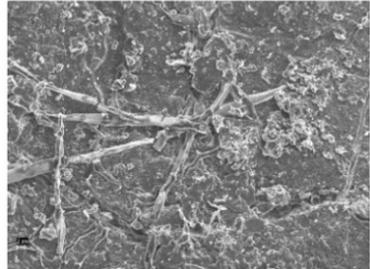
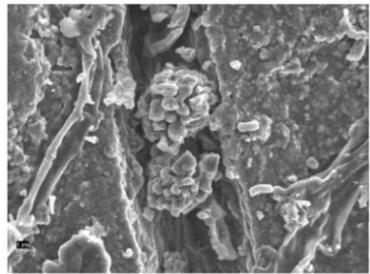
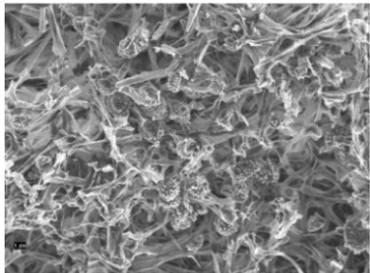
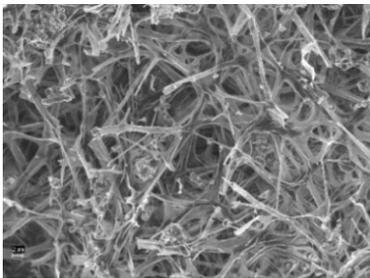
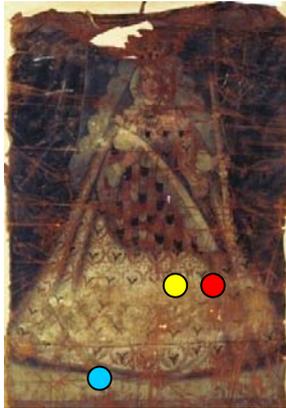
La preparación inferior contiene calcita y negro carbón siendo así similar las anteriores, pero con negro vegetal. La imprimación roja es mucho más gruesa y tiene una tierra roja diferente de las de las muestras anteriores, contiene igualmente arcillas, óxidos de hierro, calcita, pero hay mucha mica y no se detecta manganeso. Puede ser también consecuencia de lo heterogéneo de las composiciones de las arcillas naturales. La pintura es en una capa al óleo de aceite de linaza y el recubrimiento de tipo oleoso, con abundante proteína en superficie.

(Consultar anexo)

Capa N°	Color	Espesor (μ)	Pigmentos	Aglutinantes
1	gris	80	calcita, negro carbón vegetal, tierras, yeso (tr.)	cola animal
2	rojo	300	tierra roja	aceite de linaza
3	azul claro	15-35	albayalde, esmalte de cobalto	aceite de linaza
4	pardo translúcido	5	oxalatos	aceite de linaza, proteína

tr.: trazas

Lámina 36. Resultados de los análisis cromatográficos, estratigráficos y elementales de la muestra C8.



MC9a ● *Alternaria*

Penicillium

Reverso. MC9b ●



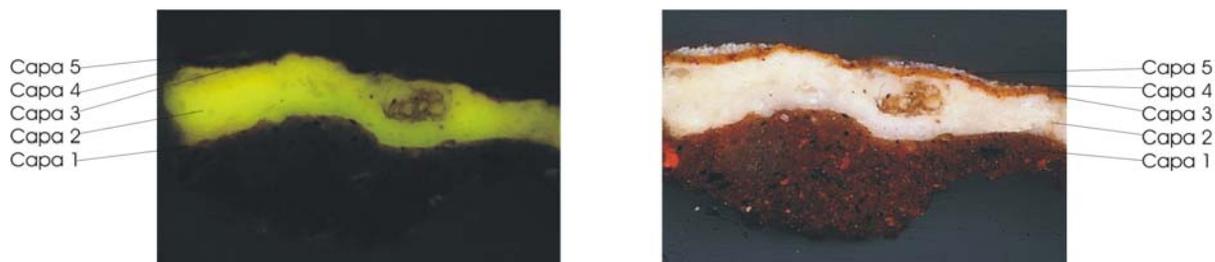
El grado de colonización del reverso es muy elevado. Es en esta zona donde se pueden encontrar mayor cantidad de restos de hifas. Los materiales han sufrido un acusado proceso de biodeterioro.

Anverso. MC9b ●



El crecimiento ejerce una acción mecánica que agrieta la superficie. Esporas e hifas emergen entre las grietas del craquelado.

Lámina 37. Estudio microbiológico de la muestra C9a y ultramicroscópico de la muestra C9b.



Manto blanco MC9c ●

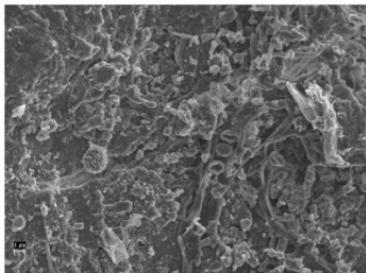
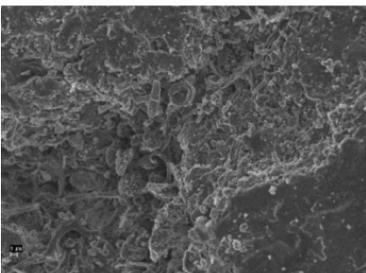
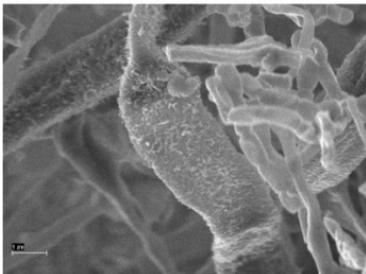
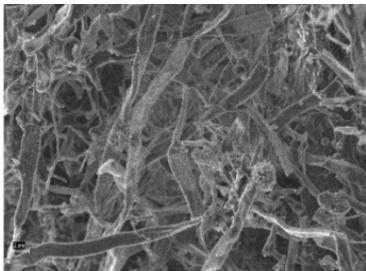
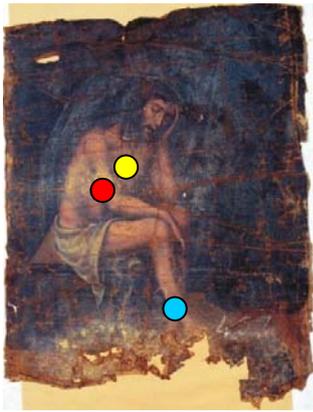
La preparación es diferente de las analizadas hasta ahora, pero dentro de la misma línea de las preparaciones de tierras de la escuela granadina del siglo XVII. En este caso se detectan minerales arcillosos, óxidos de hierro y en menor medida titanio y dolomita. La pintura tiene tres capas, dos de ellas de albayalde y una de tierra ocre – amarilla, que contiene casi exclusivamente óxidos de hierro. No hay barniz, pero sí se sigue detectando proteína en la superficie.

(Consultar anexo)

Capa N°	Color	Espesor (μ)	Pigmentos	Agglutinantes
1	marrón oscuro	180	tierra ocre, negro carbón, tierra roja	aceite de linaza, cola animal
2	blanco	45-100	albayalde, tierras (tr.), calcita (tr.)	aceite de linaza
3	amarillo pardo	10	tierra ocre – amarilla	aceite de linaza
4	blanco	10	albayalde, tierras (tr.), calcita (tr.), oxalatos	aceite de linaza, proteína
5	pardo traslúcido	4	oxalatos	aceite de linaza, proteína

tr.: trazas

Lámina 38. Resultados de los análisis cromatográficos, estratigráficos y elementales de la muestra C9c.



MC10a ● *Penicillium*

Reverso. MC10b ●



La colonización microbiana provoca un alto grado de biodeterioro causando alteraciones de diverso tipo.

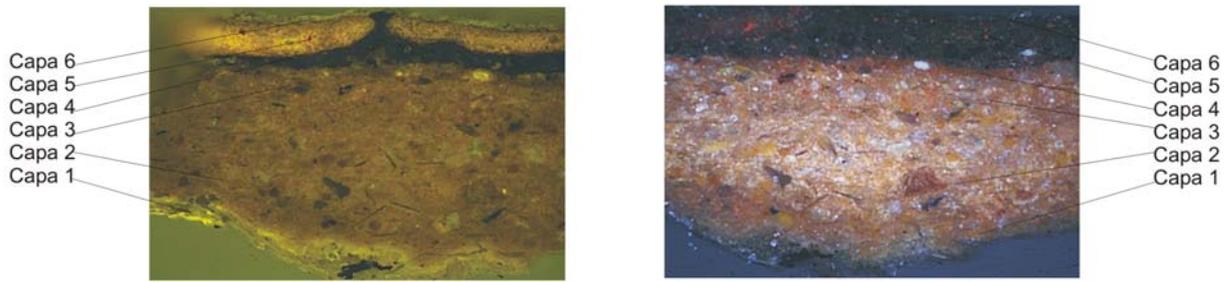
Anverso. MC10b ●



La colonización que tiene lugar en el anverso provoca principalmente alteraciones físico-mecánicas que desencadenan cambios estructurales en los materiales y cambios ópticos en las capas visibles superficialmente.

Las hifas emergen desde el interior del cuadro entre las fracturas y grietas de la superficie.

Lámina 39. Estudio microbiológico de la muestra C10a y ultramicroscópico de la muestra C10b.



Carnación MC10c ●

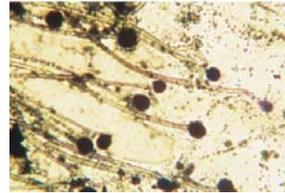
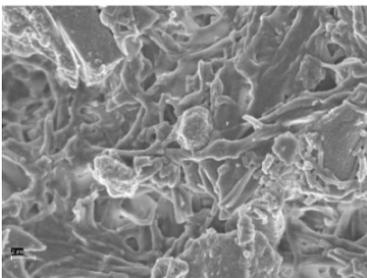
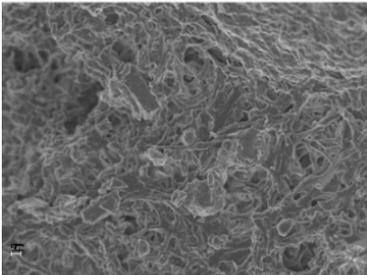
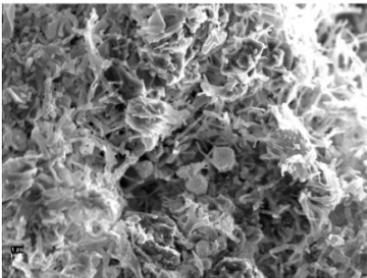
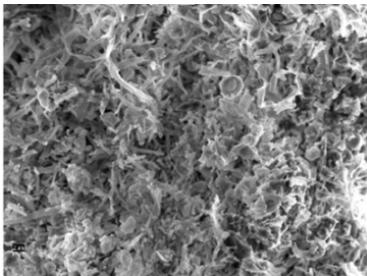
La preparación no tiene capa de ceniza gris, pero sí hay un grueso encolado con algo de calcita y negro carbón que la sustituye. La tierra roja es muy similar a la de la muestra C-8, rica en arcillas, cuarzo, micas, abundante óxido de hierro y trazas de dolomita. El color tiene un primer trazo de color marrón que podría deberse al dibujo subyacente. Sobre él aparece una base de tierras y una gruesa pincelada final con laca roja y minio de plomo como pigmentos característicos. El espectro de IR detecta también la presencia de proteína que podría ser un resto de cola de consolidación, una mezcla de proteínas producto del biodeterioro o ambas cosas a la vez.

(Consultar anexo)

Capa N°	Color	Espesor (μ)	Pigmentos	Aglutinantes
1	marrón oscuro	100	negro carbón, calcita (tr.)	cola animal
2	rojo pardo	400	tierra roja, calcita, dolomita, albayalde (tr.)	aceite de linaza
3	marrón oscuro	10	tierra ocre, albayalde	aceite de linaza
4	marrón rojizo oscuro	35-45	tierra ocre, tierra roja, calcita, negro carbón vegetal	aceite de linaza
5	rojo oscuro	50	laca roja, minio de plomo, tierra roja, calcita (tr.)	aceite de linaza
6	pardo translúcido	5	yeso (tr.), oxalatos	aceite de linaza, proteína

tr.: trazas

Lámina 40. Resultados de los análisis cromatográficos, estratigráficos y elementales de la muestra C11c.



MC11a ●

Aspergillus

Reverso. MC11b ●



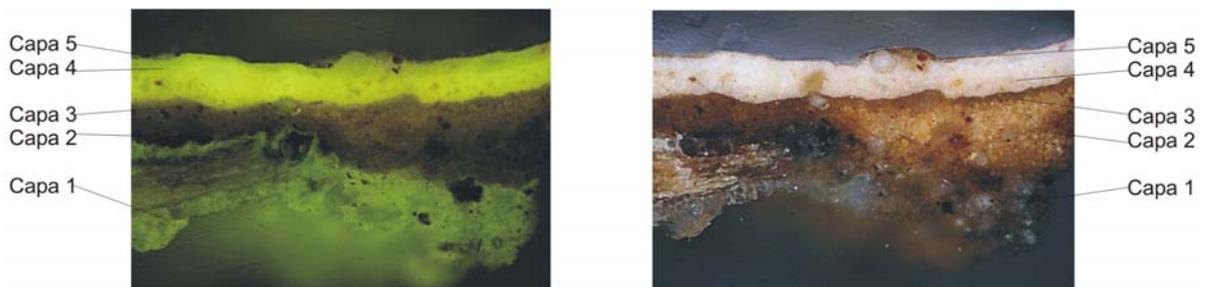
El proceso de crecimiento de microorganismos es paralelo al proceso de hidrólisis de los materiales acompañado de condiciones ambientales extremas.

Anverso. MC11b ●



Dependiendo del tipo de material los microorganismos llevan a cabo distintos tipos de alteraciones teniendo en cuenta que estas van acompañadas de otros procesos químicos paralelos.

Lámina 41. Estudio microbiológico de la muestra C11a y ultramicroscópico de la muestra C11b.



Carnación MC11c ●

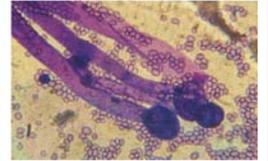
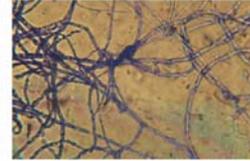
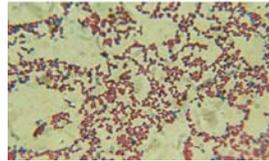
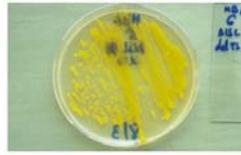
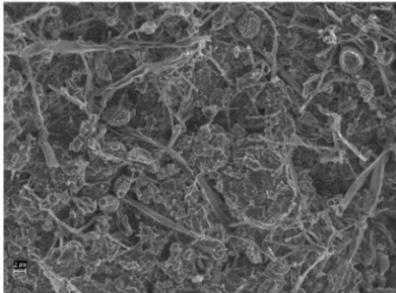
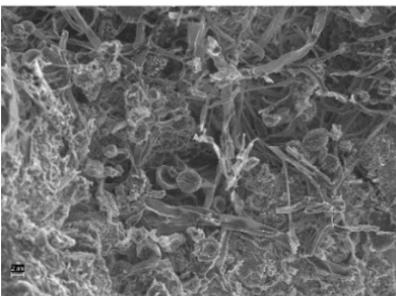
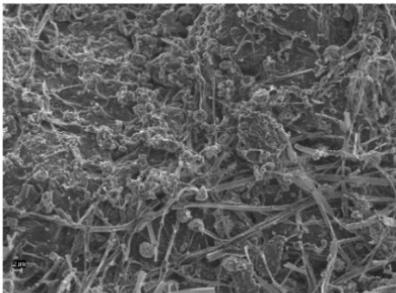
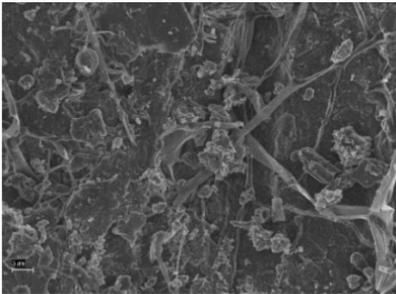
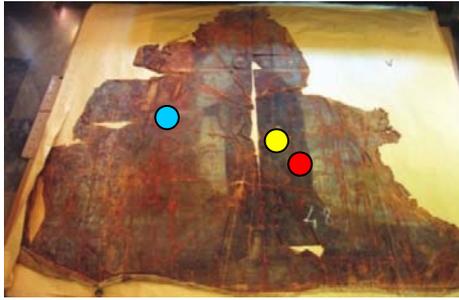
La preparación tiene también una capa de ceniza gris más rica en calcita que las anteriores muestras. La capa de imprimación no es roja, sino de color marrón y es una tierra ocre con arcilla, cuarzo, óxidos de hierro y manganeso y abundante calcita no homogéneamente distribuida en la mezcla ya que aparecen zonas más claras donde la calcita es más abundante. La pintura está ejecutada al óleo en dos capas y el barniz superficial es claramente oleoso, con sólo trazas irreconocibles de diterpenos como lo muestran los análisis. El espectro de IR detecta también la presencia de proteína que podría ser un resto de cola de consolidación, una mezcla de proteínas producto del biodeterioro o ambas cosas al mismo tiempo.

(Consultar anexo)

Capa N°	Color	Espesor (µ)	Pigmentos	Aglutinantes
1	gris	120	calcita, tierras, negro de hueso, yeso	cola animal
2	marrón	60-120	calcita, tierra ocre	aceite de linaza
3	pardo claro	30	albayalde, tierra ocre, tierra roja	aceite de linaza
4	rosado claro	15	albayalde, laca roja (tr.), tierras (tr.)	aceite de linaza
5	pardo translúcido irregular	0-10	oxalatos	aceite de linaza, resina de conífera (tr.), proteína

tr.: trazas

Lámina 42. Resultados de los análisis cromatográficos, estratigráficos y elementales de la muestra C11c.



MC12a ● *Micrococcus*

Cladosporium

Rhizopus

Reverso. MC12b ●



Las rajas y roturas del reverso sirven como vía por donde colonizar el anverso.

La gran cantidad de lienzo perdido da idea de los intensos procesos de hidrólisis que se han debido producir en la tela y las posteriores oxidaciones, disoluciones y disgregaciones en el resto de capas pictóricas.

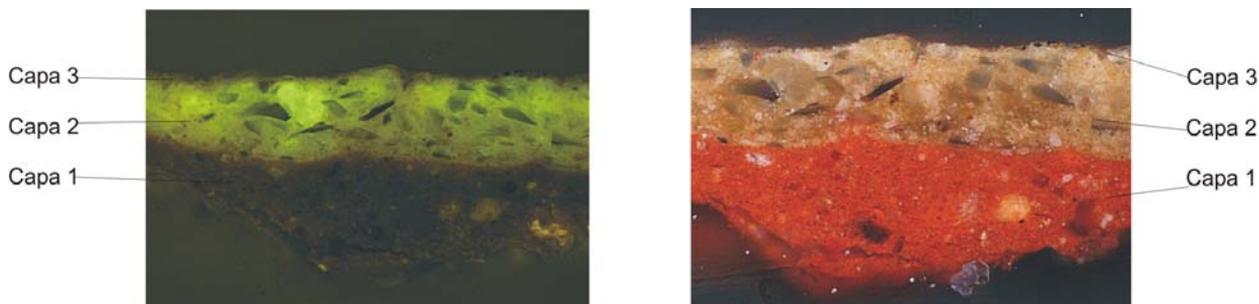
Anverso. MC12b ●



Los procesos que tienen lugar en el anverso provocan, principalmente, alteraciones físico-mecánicas que desencadenan cambios estructurales en los materiales y cambios ópticos en las capas visibles.

Las hifas emergen desde el interior del cuadro entre las grietas de la superficie colonizando la superficie.

Lámina 43. Estudio microbiológico de la muestra C12a y ultramicroscópico de la muestra C12b.
Noli me tangere.



Manto azul. MC12c ●

La preparación es de tierra roja similar a la descrita para las muestras C-2 y C-4, pero incorpora algo de albayalde. Tiene esta tierra minerales arcillosos, óxidos de hierro, algo de negro de manganeso y trazas de óxidos de titanio. La pintura se aplica en una gruesa capa de tono verdoso en la que el pigmento más importante es el azul de esmalte de cobalto, parcialmente degradado y por tanto decolorado. Está acompañado por albayalde, tierra ocre rica en micas y óxidos de hierro y por una traza de oropimente. La superficie acumula componentes del polvo y el biodeterioro. El espectro de IR detecta también la presencia de proteína que podría ser un resto de cola de consolidación, una mezcla de proteínas producto del biodeterioro o ambas cosas al mismo tiempo.

(Consultar anexo)

Capa N°	Color	Espesor (μ)	Pigmentos	Aglutinantes
1	rojo	130	tierra roja, calcita (tr.), albayalde (tr.)	aceite de linaza, cola animal
2	azul claro	100	albayalde, tierra ocre – roja, esmalte de cobalto, oropimente (tr.)	aceite de linaza
3	blanco irregular	5-10	calcita (tr.), yeso (tr.), tierras (tr.), oxalatos (tr.)	proteína

tr.: trazas

Lámina 44. Resultados de los análisis cromatográficos, estratigráficos y elementales de la muestra C12c.

En la tabla 7 se muestra un resumen de los materiales orgánicos e inorgánicos de cada lienzo así como los microorganismos (hongos y bacterias) encontrados:

OBRA	HONGOS	BACTERIAS	MATERIALES ORGÁNICOS	MATERIALES INORGÁNICOS
C-1. Martirio de San Pedro de Verona	<i>Aspergillus</i>	<i>Micrococcus. Bacillus</i>	Aceite de linaza Cola animal Proteína Soporte celulósico	Si, Ca, Fe, Al, Pb
C-2 Despedida de San F.co. Javier	–	<i>Bacillus</i>	Aceite de linaza Cola animal Proteína Soporte celulósico	Ca, Si, Al, Fe, S, Pb, Ca
C-3 Inmaculada con niño	<i>Alternaria</i>	<i>Bacillus Micrococcus</i>	Aceite de linaza Cola animal Resina de conífera Soporte celulósico	Ca, Si, Al, Fe, Pb
C-4 Árbol de Jessé	–	<i>Bacillus</i>	Aceite de linaza Cola animal Proteína Barniz oleoso Resina de conífera Soporte celulósico	Cu, Ca, Pb, Si, Al, As
C-5 San Agustín	–	<i>Corynebacterium</i>	Aceite de linaza Cola animal Resina de conífera Soporte celulósico	Hg, S, Pb
C-6 San Antonio de Padua y el niño	–	<i>Sphaerotilus Bacillus.</i>	Aceite de linaza Cola animal Resina de conífera Soporte celulósico	Pb
C-7 Inmaculada	–	<i>Micrococcus Bacillus. Actinomiceto</i>	Aceite de linaza Cola animal Proteína Soporte celulósico	Ca, Si, Pb
C-8 Estigmatización de San Francisco	<i>Aspergillus Mucor Alternaria</i>	–	Aceite de linaza Cola animal Proteína Soporte celulósico	Ca, Si, Pb
C-9 Virgen de La Candelaria	<i>Penicillium Alternaria</i>	–	Aceite de linaza Cola animal Proteína Soporte celulósico	Si, Al, Fe, Pb, Ca
C-10 Cristo de La Paciencia	<i>Penicillium</i>	–	Aceite de linaza Cola animal Proteína Soporte celulósico	Si, Ca, Mg, Al, Fe, Pb
C-11 Cristo atado a la columna	<i>Aspergillus</i>	–	Aceite de linaza Cola animal Proteína Resina de conífera Soporte celulósico	Si, Ca, Pb
C-12 <i>Noli me tangere.</i>	<i>Cladosporium. Rhizopus</i>	<i>Micrococcus</i>	Aceite de linaza Cola animal Proteína Soporte celulósico	Al, Si, Pb

Tabla 7. Relación de microorganismos y materiales orgánicos de cada obra.

4.3 ESTUDIO DE CINCO LIENZOS DE LA *ABAZZIA BENEDEITTINA DI SAN MARTINO DELLE SCALE*, PALERMO, ITALIA.

En este apartado se exponen los resultados obtenidos de los estudios realizados a cinco lienzos ubicados en la nave central del Templo de La *Abazzia Benedeittina di San Martino delle Scale*, Palermo (Italia).

Se trata de un conjunto de cinco lienzos de gran tamaño realizados para las capillas laterales de un gran edificio. El interés que para nuestro estudio reúne este conjunto de obras está directamente relacionado con las condiciones climáticas y el edificio en el que se albergan. Los puntos superficiales escogidos para la toma de muestra presentaban coloraciones y manchas.

Solamente se ha llevado a cabo un estudio microbiológico preliminar mediante la toma de muestras de la superficie de los lienzos, dichas muestras han sido inoculadas en medios de cultivo adecuados con la finalidad de aislar e identificar los posibles microorganismos presentes en las mismas, según la metodología expuesta en el correspondiente capítulo de material y métodos.

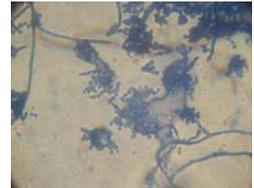
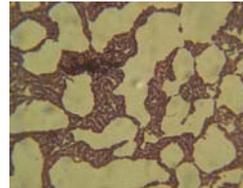
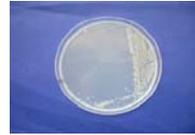
Los microorganismos encontrados se muestran en la siguiente tabla:

LIENZOS	MICROORGANISMOS
1. <i>Caduta di Cristo sotto la Croce.</i>	<i>Bacillus</i> <i>Cladosporium</i>
2. <i>San Benedetto in adorazione del Cristo deposto.</i>	<i>Bacillus</i>
3. <i>Veduta fantástica con santi Benedettini.</i>	<i>Mucor</i>
4. <i>Domenico di Silos libera gli schiavi.</i>	<i>Bacillus</i>
5. <i>Madonna con Sant' Anna e i santi Benedittini.</i>	<i>Bacillus</i>

Tabla 8. Microorganismos encontrados en las obras.



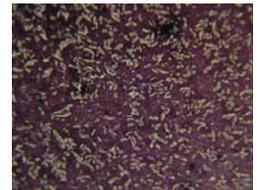
1. Caduta di Cristo sotto la Croce.



Bacillus

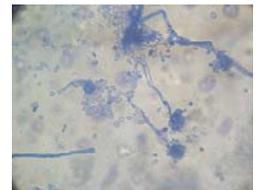
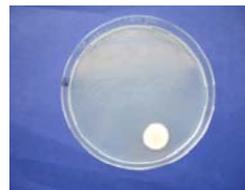
Cladosporium

2. San Benedetto in adorazione del Cristo deposto.



Bacillus

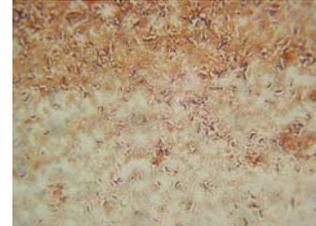
3. Veduta fantástica con santi Benedettini.



Mucor



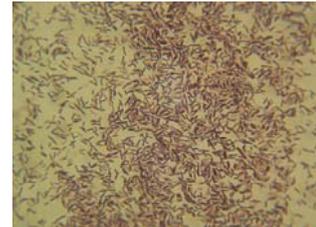
4. San Domenico di Silos libera gli schiavi.



Bacillus



5. Madonna con Sant' Anna e i santi Benedittini.



Bacillus

Lámina 46. Obras y microorganismos encontrados.

V. DISCUSIÓN

La estabilidad de cualquier obra de arte depende de dos elementos fundamentales: del material del cual está construida, y de las condiciones a las que ha estado sometida a lo largo del tiempo.

Teniendo en cuenta su composición, los materiales se pueden dividir en dos grandes grupos: materiales orgánicos y materiales inorgánicos, siendo los primeros, en general, mucho más susceptibles a la acción de los agentes degradantes. La humedad y la temperatura son los principales parámetros a tener en cuenta en este ataque. Ambos factores favorecen la desintegración física, química y biológica, ya que de un lado aceleran el desarrollo del proceso de degradación, y de otro, son determinantes para el crecimiento de los microorganismos, bacterias, hongos y algas fundamentalmente.

Estos agentes son causantes del biodeterioro. El biodeterioro es un fenómeno complejo que implica alteraciones de las propiedades físico-químicas y mecánicas del material por acción de organismos vivos, principalmente microorganismos.

El biodeterioro de los materiales se produce a través de mecanismos de distintos tipos: procesos físicos o mecánicos (fractura y disgregación) y procesos químicos (hidrólisis y descomposición). Generalmente estos se producen de forma simultánea, pero dependiendo de los agentes biodeteriorantes, el tipo de sustrato y las condiciones ambientales pueden predominar los primeros o los segundos (Caneva, 2000).

La temperatura es importante por el papel que juega en las velocidades de las reacciones del deterioro químico y por los cambios mecánicos que produce en las estructuras de los materiales.

La humedad incide en los procesos de deterioro relacionados con las alteraciones dimensionales, que pueden dar como resultado el torcimiento y la aparición de grietas; en las reacciones de deterioro químico y en el biodeterioro. Puede provenir del aire y/o producirse por el agua de condensación. El agua de condensación puede formarse en cuadros y esculturas que están en espacios no climatizados como iglesias, edificios históricos y muchas colecciones privadas, o bien al aire libre. En tales casos el aire caliente contacta con la superficie fría de la obra de arte y se enfría. Se alcanza el punto de condensación y sobre la obra de arte se extiende una fina película de agua. Un efecto similar se produce cuando la temperatura ambiente se enfría intensamente y el aire frío ya no está en condiciones de retener la humedad en él contenida, la cual se deposita sobre la obra de arte en forma de finísima película.

La temperatura ideal para el crecimiento de hongos se sitúa entre los 15°C y los 25°C y para las bacterias entre los 20°C y 30°C. El rango de humedad en que pueden desarrollarse estos microorganismos oscila entre el 85-90%. Estas condiciones climáticas han sido muy similares a las utilizadas en un estudio experimental que hemos realizado con el fin de hacer un primer acercamiento práctico al tema y relacionarlo con aquellos estudios que se basan en ensayos de laboratorio con soportes y materiales pictóricos tradicionales (Seves e *tal.* 1996).

Para poner de manifiesto las posibles alteraciones producidas por los microorganismos y para compararlas con las descritas en fuentes bibliográficas de referencia con procesos reales se llevó a cabo un estudio experimental sobre soportes lúneos y textiles que soportaban una capa tradicional de preparación rica en colas animales y sobre esta una capa de barnices de colofonia y almáciga preparados con esencia de trementina, dado que en la realidad los procesos de biodeterioro dependen de todos los materiales que conforman una obra de arte. En este caso la capa pictórica no se aplicó con el fin de incidir en la visualización del crecimiento sobre la capa de preparación. El carácter transparente del barniz permite la visualización del microbiobiodeterioro en estas dos capas lo cual no podría describirse en su totalidad con una capa pictórica intermedia de carácter opaco.

Con dicho estudio hemos podido confirmar la influencia de las condiciones ambientales y del tipo de soporte y demás materiales constituyentes (aglutinantes y sustancias filmógenas) en la colonización microbiana de los mismos. Los hongos que presentaron crecimiento evidente fueron *Trichoderma*, *Penicillium* y especialmente *Aspergillus*, hongos, todos ellos conocidos como importantes agentes de biodeterioro, lo que explica su contribución a las alteraciones producidas en los soportes.

En el caso de los 12 lienzos del Museo de Bellas Artes de Granada, las condiciones de almacenamiento han sido tales que se han producido grandes alteraciones físico mecánicas, químicas y estéticas, permitiendo igualmente la proliferación de microorganismos que han acentuado aun más los daños observados.

La superficie de todos los cuadros posee una riquísima microflora latente que se ha depositado con el polvo en forma de esporas. Algunos de estos microorganismos están en condiciones de desarrollarse sobre el cuadro o dentro de él. Si se cumplen los requisitos de sustancias nutritivas, de temperatura y humedad, las esporas originan las hifas y a partir de ellas forman los micelios, los cuales a su vez producen enzimas que atacan a determinados componentes del cuadro.

Atendiendo a la naturaleza del lienzo y en relación a la acción de los microorganismos descrita por Canela *et al.* (2000) la degradación del soporte es más fuerte y probable cuando está impregnado de otras sustancias (azúcar, almidón, colas, suciedad) propensas a la degradación iniciando un proceso de daños mecánicos en la obra. Los hongos se fijan directamente con las hifas, a modo de raíces, iniciando la formación de un micelio hasta convertirse en manchas más grandes y desarrolladas.

Nicolaus (1999) afirma que las sustancias nutritivas más importantes para los microorganismos causantes de biodeterioro son los aglutinantes. Los primeros en ser deteriorados son la cola de glutina y el temple de caseína, seguidos del temple de huevo, el temple de emulsión, el aceite y finalmente la resina dammar, la almaciga, la colofonia y las resinas sintéticas. Esto origina pulverulencia, decoloración y desprendimiento de capas.

Según Calvo (2002), las alteraciones de tipo biológico se pueden manifestar en los soportes de tela de diferentes formas, como manchas blanquecinas o de distintos colores (pardos, grises o negros) llegando incluso a visualizarse micelios de hongos. Estos microorganismos pueden provocar la hidrólisis de la celulosa y la pérdida de resistencia mecánica.

Giacobini *et al.* (1991b) describe el proceso de alteración del estrato pictórico y del soporte textil de una pintura sobre tela, proceso que dividen en varias fases (Tabla 9).

FASES DEL PROCESO DE ALTERACIÓN	ESTRATO PICTÓRICO	SOPORTE TEXTIL
FASE INICIAL	Vetas blancas, colonias fúngicas aisladas	Micelio en forma de veladuras. Micelio inicial formando manchas y estratos continuos.
FASE AGUDA	Velos micélicos más o menos expandidos	Micelio aterciopelado con espesor variable entre 2 a 50 mm.
FASE FINAL	Manchas de varios colores y dimensiones. Levantamiento del color	Ausencia de micelio evidente, manchas más o menos pulverulentas y tela desgastada.

Tabla 9. Fases del biodeterioro de una pintura sobre tela, Giacobini *et al.*, (1983).

Como ya se ha mencionado en los resultados algunos de estos lienzos se encontraron enrollados y envueltos en papel y otros empaquetados, doblados y embalados en papel de periódico dentro de una caja de embalaje de madera. Su conservación hasta nuestros días fue bastante desafortunada siendo la primera medida tomada con los cuadros el despojarlos de sus marcos y bastidores.

En algunas de las obras la pérdida del soporte textil llega a ser del 30 % al 40%. Pueden encontrarse desgarros, mutilaciones y pérdidas generalizadas. Igualmente se aprecia falta de adhesión, falta de cohesión, coloraciones, y pasmos entre otras.

Las alteraciones estéticas hacen referencia a las alteraciones ópticas o del aspecto visual de la obra. Existe una gran variedad de colorantes (verde, azul, púrpura, violeta) de naturaleza biológica, que producen alteraciones químicas tales como manchas, aureolas, y decoloraciones. Muchos de ellos son pigmentos orgánicos producidos por microorganismos (bacterias, algas, hongos) durante su desarrollo.

Los microorganismos aislados de la superficie de los lienzos, en las zonas elegidas para los ensayos son en todos los casos, géneros muy habituales y por tanto fáciles de propagar a través de diferentes mecanismos, viento, insectos, u otras vías para finalmente asentarse, cuando las condiciones son favorables, sobre la superficie de los lienzos.

La mayoría de los hongos que hemos encontrado han sido ya descritos por otros autores como importantes agentes de biodeterioro (tabla 10).

Mediante la comparación de resultados hemos podido determinar que las alteraciones descritas en las fuentes bibliográficas coinciden en algunos casos con los estudios llevados a cabo en el laboratorio. Las fuentes bibliográficas describen en ocasiones las mismas alteraciones con diferente terminología. Estos procesos físicos llevados a cabo por los microorganismos mediante la adhesión de estos al substrato son decisivos en los procesos de deterioro ya que la capacidad de transformarlo está condicionada por el nivel de adhesión (Adelantado *et al.*; 2005, Wheatley *et al.* 1996)

La acción química se debe a procesos de asimilación y excreción ya que los microorganismos utilizan el material como fuente nutricional de carbono, y de energía liberada gracias a la actividad enzimática, actuando también por la acción de productos metabólicos como ácidos y pigmentos que pueden deteriorar, colorar o decolorar los materiales filmógenos y los substratos.

En cuanto a los soportes muchos de los estudios existentes tratan el tema del biodeterioro pero no identifican microorganismos con materiales concretos, ni con el tipo de deterioro que originan. Se dedican a dar un listado genérico describiendo las alteraciones de forma muy teórica ahondando en los procesos químicos que se originan, bien por las condiciones ambientales o por los propios microorganismos. Está claro que la complejidad del tema se encuentra en relacionar estos factores.

Microorganismos	Material deteriorado	Alteraciones	Referencias
<i>Aspergillus sp.</i> (<i>Pullularia</i>)	Superficies pictóricas. Mat filmógeno	Coloraciones y desintegración de temperas y capas oleósas	Strelczyk. 1981
<i>Aureobasidium. sp.</i>	Superficies pictóricas	Descompone aglutinantes oleosos	Strelczyk 1981
<i>Botrytis sp.</i>	Superficies pictóricas.		Strelczyk 1981
<i>Cephalosporium. sp.</i>	Soportes celulósicos	Colonias blancas	Heyn 1969
<i>Cladosporium herbarum</i>	Pinturas	Verde oscuro	Heyn 1969
<i>Geotrichum.sp.</i>	Superficies pictóricas	Porosidad en barnices y pintura al óleo. Capas de caseína	Strelczyk 1981
<i>Mucor sp. & Rhizopus sp.</i>	Compuestos de cola animal	Desintegración de las colas	Strelczyk. 1981
<i>Penicillium sp.</i>	Mat. Pictóricos. (Pigmentos, aglutinantes y soportes celulósicos)	Coloraciones y desnaturalización de fibras Deterioran capas oleósas	Strelczyk. 1981
<i>Penicillium frecuentes</i>	Capas pictóricas. Superficies	Debilitación y alteración	Vázquez 1990.
<i>Pullularia sp.</i> (<i>Aureobasidium</i>)	Barnices, aceites y pinturas	Color blanco	Heyn 1969
<i>Stemphylium Alternaria Cladosporium</i>	Capas pictóricas	Desintegración y manchas negras	Strelczyk. 1981
<i>Trichothecium sp.</i>	Superficies pictóricas	Depósitos de polvo rosáceo	Strelczyk. 1981
<i>Alternaria</i>	Soportes y superficies pict-escul.	Coloraciones	Sameño 2002
<i>Alternaria, Chaetomium Fusarium, Memnoniella, Myrothecium, Neurospora</i>	Soportes textiles	Generales. Daños ópticos, Químicos, físicos, etc...	Villarquide 2005
<i>Cytophaga, Sporocytophaga</i>	Soportes textiles	Daños físicos, pérdida de resistencia.	Schlegel y Jannasch 1981
<i>Penicillium glaucum Aspergillus niger</i>	Glucosas	Decoloraciones	Nugari 1994
<i>Dematiaceace</i>	Soportes textiles	Coloraciones	Nugari 1994
<i>Phoma pigmentovora</i>	Pigmentos	Desintegración de temple y óleo	Nugari 1994

Tabla 9. Acción de los microorganismos según referencias bibliográficas.

Alternaria, produce pigmentaciones debido a la excreción de productos metabólicos, melanina y melanoidinas (Krumbein, 1992; Gorbushina *et al.*, 1993) con la consiguiente formación de manchas que producen un daño estético manifiesto.

Mucor, colonizador de sustratos ricos en materia orgánica y con gran potencial degradador de polisacáridos.

Otros hongos identificados han sido **Cladosporium** y **Rhizopus**. *Cladosporium* ha sido descrito por Heyn (1969) como causante de coloraciones verde oscuras en pinturas y ambos géneros, destacan por la acción que ejercen sobre compuestos de cola animal llegando a desintegrarlos.

Aspergillus y **Penicillium**, se han descrito como los hongos de mayor capacidad deteriorante, por ser productores de diversos ácidos orgánicos.

Penicillium aparece con asiduidad en los lienzos, al nutrirse, tanto de las proteínas de los aglutinantes, como de los soportes celulósicos. Se trata de una de los hongos que más fácilmente consigue desarrollarse. Y es citado por Vázquez como un género que actúa especialmente en capas protectoras (Vazquez, 1990)

Aspergillus es el más estudiado en la literatura existente en donde se resalta su nivel de adaptación a diversas condiciones ambientales empleando como nutrientes gran variedad de materiales, además de ser capaz de crecer en soportes pictóricos como ha sido descrito por Strelczyk (1981). Este género ha producido una serie de coloraciones oscuras y ha podido ser uno de los más dañinos microorganismos para los soportes y los barnices ya que previamente produce en estos microdescamaciones.

Es importante señalar que algunos de los hongos mencionados originan colonias pigmentadas cuando se cultivan en medios sólidos lo que podría ocurrir de la misma manera sobre la superficie de obras pictóricas e incluso en el reverso de los soportes textiles. Este es el caso del género *Alternaria*, descrito por Sameño (2002).

De todo ello se deduce el interés de los hongos aislados por nosotros desde el punto de vista deteriorante.

En cuanto a las bacterias, se han aislado principalmente cocos y bacilos Gram positivos entre los que destacan los géneros **Micrococcus** y **Bacillus**.

Bacillus es el género encontrado mayoritariamente en todos los lienzos, lo cual no es sorprendente, de un lado por ser una bacteria ubicua con capacidad de metabolizar gran variedad de sustratos y de otro por ser capaz de resistir condiciones adversas al ser formador de endosporas.

Por otra parte, tenemos que destacar la presencia del género ***Sphaerotilus***. Esta bacteria propia de ambientes acuáticos corrobora el pésimo estado de almacenamiento de estos cuadros, sometidos a condiciones extremas de humedad. Además por ser una bacteria filamentosa ha podido ejercer una importante acción mecánica como se ha descrito para otras bacterias filamentosas (Daffouchio *et al.*, 1999).

Los hongos y bacterias aislados son por tanto con toda probabilidad, responsables, junto a las malas condiciones de almacenamiento, del alto grado de deterioro que presentan los lienzos.

Por otro lado en los lienzos de la *Abazzia Benedictina di San Martino delle Scale*, los microorganismos aislados *Bacillus*, *Cladosporium* y *Mucor* coinciden con algunos de los microorganismos aislados de los lienzos del Museo de Bellas Artes.

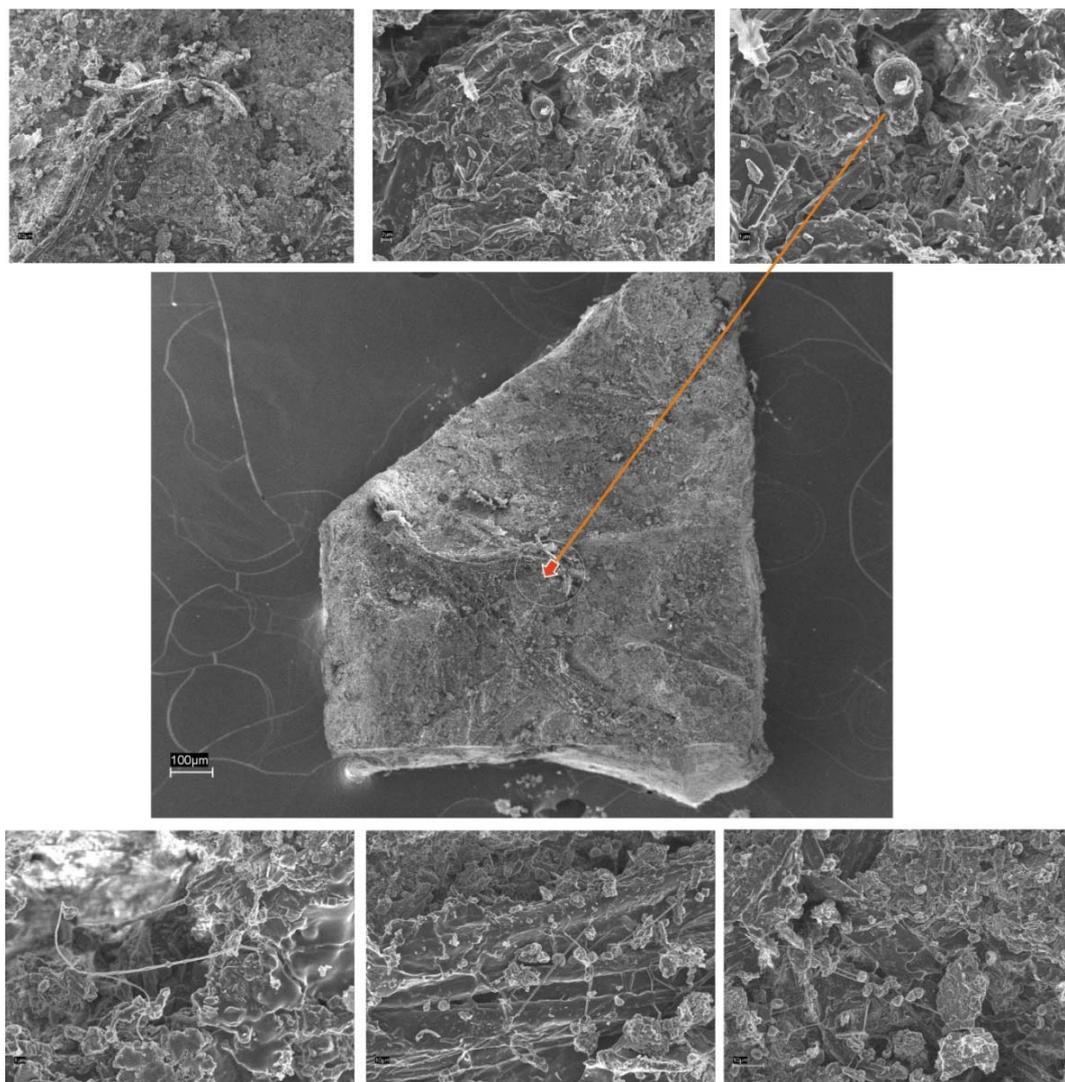
En los cuadros sobre lienzo la actividad de los microorganismos se inicia generalmente en el reverso, desde donde se extiende a todas las capas. Cuando la humedad se eleva, la cola de aglutina empieza a hincharse en el tejido y forma un caldo de cultivo ideal para su crecimiento. En una fase más avanzada los microorganismos alcanzan otras capas del cuadro y destruyen la cohesión y la adherencia entre ellas desde el momento en que desintegra el aglutinante. Durante el desarrollo de los hongos el cuadro actúa cada vez más como “captador de polvo”. Las hifas se desarrollan reforzadas por las partículas de polvo, a las que fijan y de las que se sirven como fuente de nutrición. Las capas afectadas se vuelven porosas hasta llegar a la pulverulencia, pierden elasticidad, resultan más sensibles a los cambios de la humedad relativa del aire (desprendimiento de capas) y se decoloran.

Nicolaus (1999) describe que cuando los cuadros se encuentran en espacios donde el índice de humedad relativa del aire es muy alto, la invasión puede iniciarse también en el anverso. Los que corren más peligro son los cuadros muy empastados, pues es más fácil que en ellos se acumule la suciedad y el polvo. Este fenómeno ha sido muy similar al padecido por las obras estudiadas ya que las condiciones en que se han encontrado almacenadas han podido favorecer procesos en el anverso.

Los materiales pictóricos analizados como las tierras, o bien negros de hueso y marfil empleados como pigmentos también han sufrido los efectos del biodeterioro. Por lo tanto la técnica pictórica utilizada en estas obras es más susceptible de biodegradarse que otras técnicas empleadas en etapas pictóricas posteriores en las cuales emplean otros pigmentos menos deteriorables gracias a su composición química (Scout, 1975; Sánchez y Alomar, 1980).

Nuestro estudio realizado sobre el anverso y el reverso de las obras, pone de manifiesto el proceso descrito anteriormente como podemos observar en las Láminas 47 y 48.

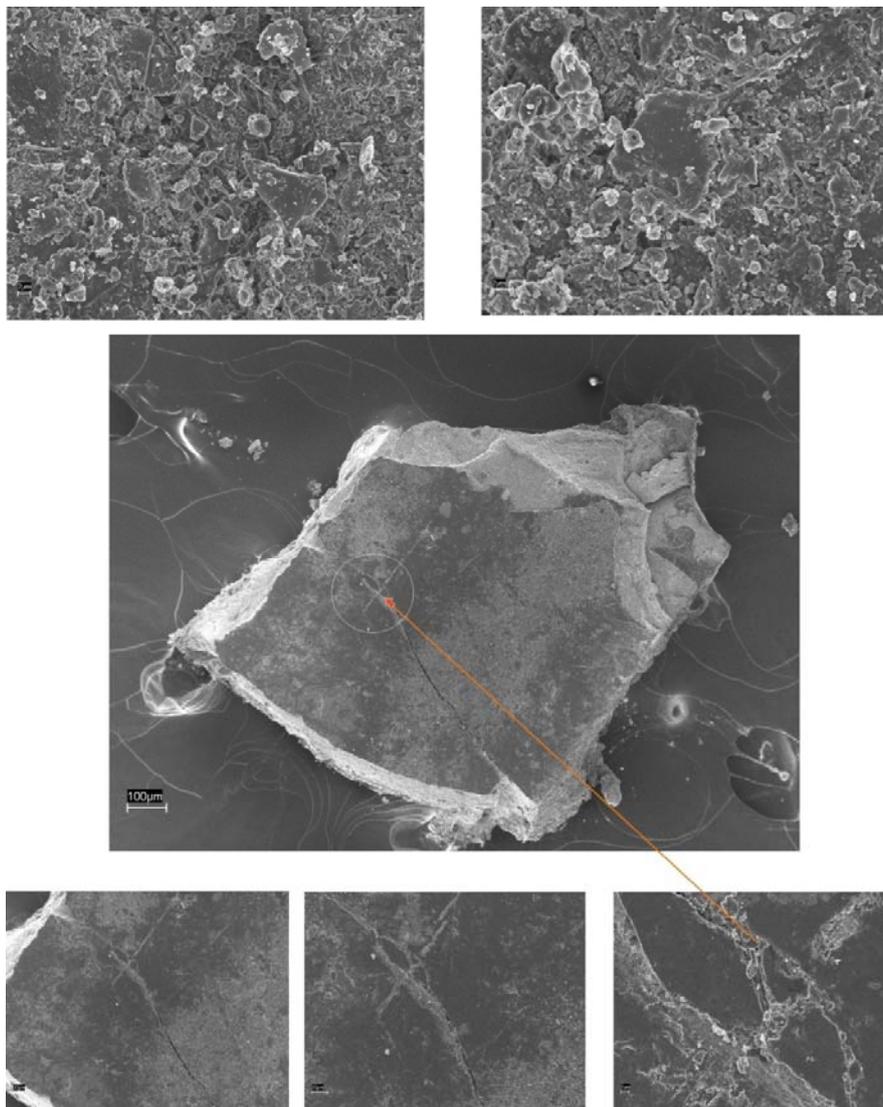
Reverso. La capa de preparación al estar en contacto con el soporte textil muestra una superficie abierta y rugosa donde quedan adheridas las fibras de la tela pasando a formar parte de la estructura de la propia capa. Mediante los procesos de hidrólisis el sulfato cálcico y las colas sufren una transformación cambiando su estructura, generando procesos físico-mecánicos de biodeterioro. Con la acumulación de polvo y las condiciones ambientales adecuadas los microorganismos comienzan su crecimiento en dos direcciones hacia el exterior de la tela -esto es el reverso del lienzo- por donde crecen sin obstáculos y hacia el interior de los estratos pictóricos aprovechando grietas y fisuras o directamente generándolas en los procesos del propio crecimiento.



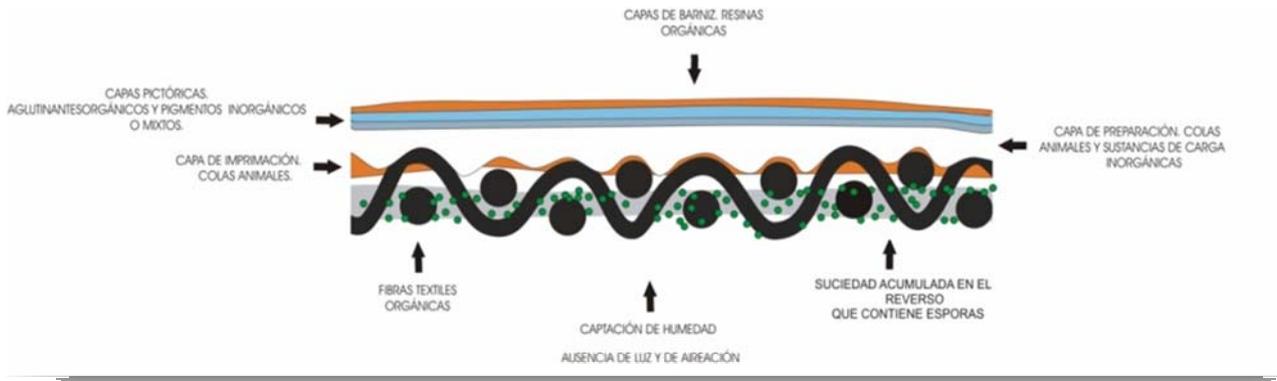
En la capa de preparación encontramos el medio de cultivo adecuado para el crecimiento de los microorganismos. En las imágenes observamos hifas y micelios que emergen directamente de las colas que aglutinan el material inorgánico. Las fibras textiles empapadas en cola animal son el medio adecuado en el que se mezclan la celulosa con las proteínas. Es principalmente en la preparación y en la tela donde comienza el desarrollo de los microorganismos que cubren por completo la superficie.

Lámina 47. REVERSO

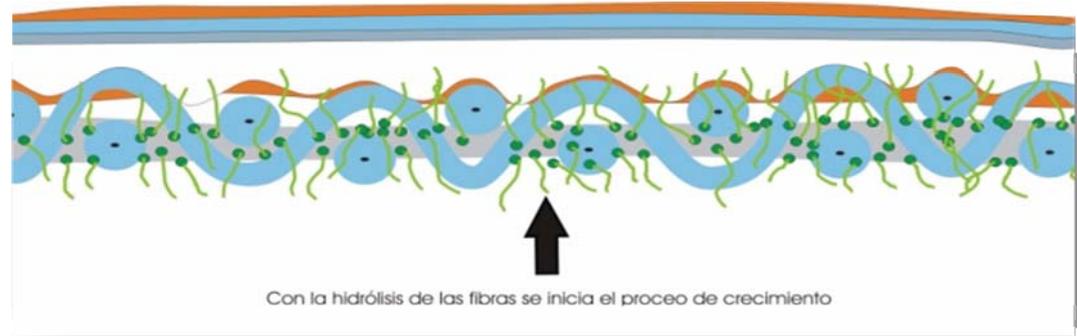
Anverso. Sobre la superficie pictórica encontramos una capa totalmente disgregada. El barniz ha sido removido y tan sólo existen pequeñas zonas en donde lo podemos encontrar cubriendo la superficie. Justamente debajo de la capa superficial es donde tienen lugar los procesos mecánicos más fuertes ya que es ahí donde se acumulan las hifas cuando no pueden seguir creciendo. La eclosión genera el agrietamiento y la aparición de fisuras. El material que queda bajo la superficie se encuentra totalmente destruido fruto de la biodegradación. En este sentido tendremos que señalar que aunque sea la materia orgánica la que se transforme y sirva de nutrientes a los microorganismos, los materiales inorgánicos que se encuentran directamente ligados se ven afectados por los distintos procesos de deterioro que se van sucediendo.



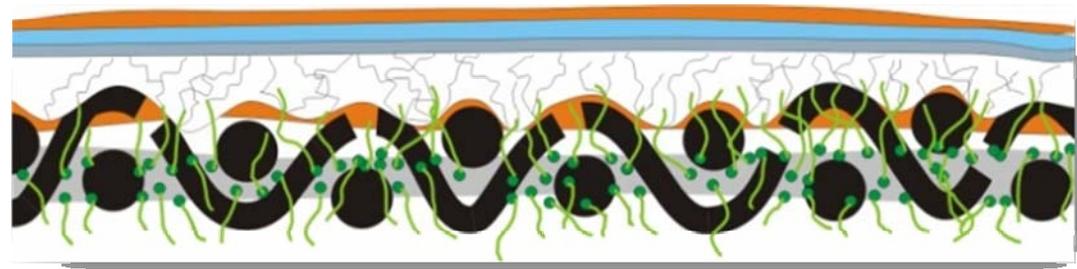
En la muestra del anverso observamos una superficie sólida y alisada que actúa como barrera en el crecimiento de los microorganismos. Mediante procesos mecánicos se abren grietas por donde salen a la superficie llenándola por completo de micelios que la colonizan y dando lugar a coloraciones en este caso blanquecinas en forma de bandas paralelas. El material pictórico aunque en una vista general de la muestra parezca homogéneo se encuentra microfisurado, pulverulento y disgregado, perdiendo toda su adhesividad y originando una estructura débil y muerta incapaz de resistir un simple movimiento de la tela.



Colonización del reverso

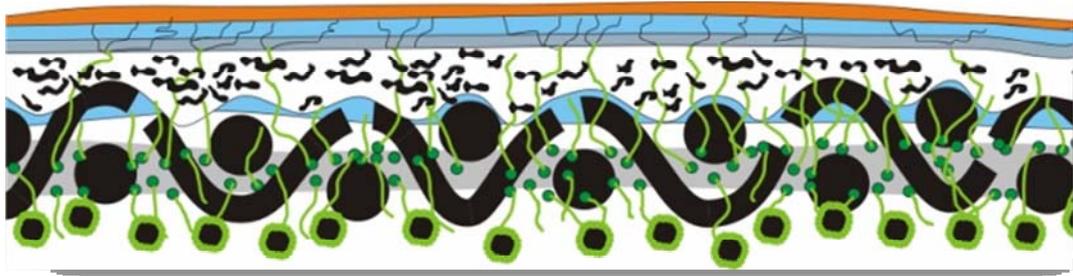


Hidratación de las fibras del lienzo

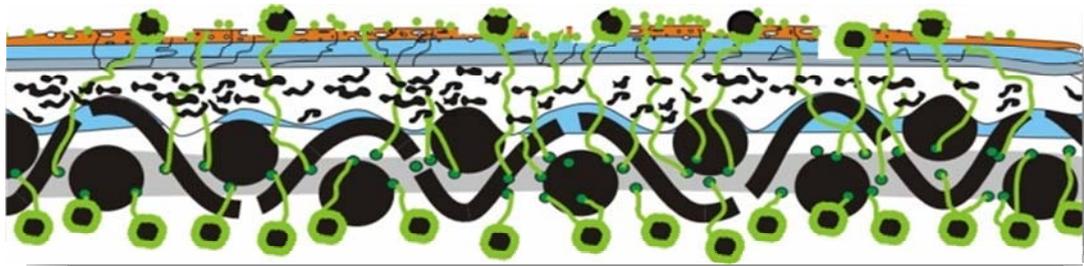


Disgregación de la preparación y debilitamiento de las fibras textiles

Figura 7. A la vista de nuestros resultados proponemos un modelo explicativo del proceso de colonización microbiana y del consiguiente deterioro producido en una obra pictórica sobre tela.



Las colas se hidratan debilitando la capa de preparación. Craquelado de la capa pictórica.
Las hifas salen al exterior por el anverso.



Alteración de la capa de barniz y desprendimientos de las capas. Dispersión superficial de las hifas.



Finalmente se producen pérdidas de capas completas y la desintegración del soporte textil.

Figura 8. A la vista de nuestros resultados proponemos un modelo explicativo del proceso de colonización microbiana y del consiguiente deterioro producido en una obra pictórica sobre tela.

Como propuestas de conservación en la lucha contra los microorganismos, especialmente los hongos que proliferan sobre los bienes culturales, se deben tener en cuenta los aspectos de conservación que tienen que reunir los edificios que albergan las colecciones así como los tratamientos y las medidas preventivas que se deben tomar para evitar la aparición de estos microorganismos (Plenderleith, 1985; Baglioni, 1998)

Los resultados de la acción de estos microorganismos se aprecia por la decoloración de pigmentos, pérdida de brillo, coloraciones diversas, degradación de engrudos y colas animales, etc... Se proponen dos métodos para la prevención del desarrollo de estos microorganismos, por un lado la conservación de la obra en ambientes de baja humedad y temperatura controlada y por otro el tratamiento con sustancias fungicidas y/o bactericidas.

El control del crecimiento de los agentes biológicos responsables del biodeterioro de las obras de arte, se encuentra dentro de las operaciones realizadas en las intervenciones de restauración. Sin embargo no resulta fácil la eliminación de estas infecciones, debido a las interacciones que pueden producirse entre los distintos métodos utilizados y los materiales constitutivos de las obras de arte.

Previamente a la aplicación de un tratamiento, es necesario realizar una serie de ensayos, la determinación de la eficacia y la determinación de posibles interferencias con el soporte (Sameño, 1998).

Estos tratamientos serán los que desarrollaremos en futuros experimentos.

VI. CONCLUSIONES

1.- El estado de conservación de las obras refleja unas condiciones climáticas extremas y el factor humano ha tenido consecuencias fatales para la conservación de las mismas. El alto grado de deterioro impide una lectura adecuada de las obras y dificulta la realización de cualquier tipo de tratamiento.

2.- Las condiciones de almacenaje crearon un microclima óptimo para provocar el crecimiento de microorganismos que emplearon los materiales que componen las obras como nutrientes. La composición del soporte, las colas de la preparación, los aglutinantes pictóricos así como las capas de protección han sido los materiales orgánicos usados como tales.

3.- La acción de los microorganismos, acompañada de las condiciones ambientales, han producido en la mayoría de las obras pérdidas de soporte, falta de cohesión en las capas de preparación, pulverulencia y pérdidas de materiales como ha sido el caso de las capas de barniz.

4.- Los estudios de laboratorio con microorganismos de referencia han mostrado como estos actúan de manera selectiva tanto en los soportes artísticos como en los materiales filmógenos superpuestos.

5.- Los experimentos con obra real reflejan que hongos y bacterias constituyen los grupos de microorganismos que participan de forma más activa en la colonización de los lienzos estudiados. Los hongos *Aspergillus*, *Alternaria*, y *Penicillium* y las bacterias *Micrococcus* y *Bacillus* son especialmente frecuentes en el biodeterioro de estos materiales.

6.- Las técnicas de observación microscópica, en especial los estudios con FESEM, son útiles para mostrar y aportar imágenes reales sobre la acción de estos microorganismos, reflejando las alteraciones sufridas por los materiales tales como la desaparición de los adhesivos en las capas de preparación y la acción física desarrollada por estos en la superficie de las obras.

7.- Como principal aportación resaltamos el estudio del biodeterioro a nivel ultramicroscópico mediante FESEM (SEM de alta resolución). Las imágenes obtenidas nos han permitido visualizar las alteraciones producidas en los diferentes estratos de un cuadro y poner de manifiesto como los materiales que lo componen se transforman por la acción conjunta de los microorganismos y el ambiente.

8.- Mediante las técnicas de análisis utilizadas comprobamos que se pueden establecer protocolos adaptados al estudio de la acción de hongos y bacterias que pueden aproximarnos en gran medida a l análisis de las formas de alteración que provocan y por consiguiente a la posterior adaptación de métodos de control y tratamiento.

CONCLUSIONI

1.- *Lo stato di conservazione delle opere ci dimostra che le condizioni climatiche estreme e il fattore umano hanno avuto conseguenze fatali per la conservazione delle medesime. L'alto grado di deterioramento impedisce una lettura adeguata delle opere e rende difficoltosa la realizzazione di qualsiasi tipo di trattamento.*

2.- *Le condizioni di stoccaggio hanno creato un microclima ottimale per provocare la crescita di microrganismi che si sono serviti dei materiali che compongono le opere come nutrienti. La composizione del supporto, le colle della preparazione, gli agglutinanti pittorici e, inoltre, gli strati di protezione sono i materiali organici che sono stati usati per questa funzione.*

3.- *L'azione dei microrganismi, associata alle condizioni ambientali, ha causato nella maggioranza delle opere perdite di supporto, mancanza di coesione negli strati di preparazione, polverulenza e perdita di materiali come è avvenuto nel caso degli strati di vernice.*

4.- *Gli studi di laboratorio con microrganismi di riferimento hanno dimostrato come questi agiscano in modo selettivo sia sui supporti artistici sia sui materiali filmogeni sovrapposti.*

5.- *Gli esperimenti con opere reali ci dimostrano che funghi e batteri costituiscono i gruppi di microrganismi che partecipano nella forma più attiva alla colonizzazione delle tele studiate. I funghi *Aspergillus*, *Alternaria*, e *Penicillium* e i batteri *Micrococcus* e *Bacillus* sono particolarmente frequenti nel biodeterioramento di questi materiali.*

6.- *Le tecniche di osservazione microscopica, in particolar modo gli studi con FESEM, sono utili per mostrare e apportare immagini reali dell'azione di questi microrganismi, dimostrando le alterazioni subite dai materiali come la sparizione degli adesivi negli strati di preparazione e l'azione fisica sviluppata dai medesimi sulla superficie delle opere.*

7.- *Come apporto principale segnaliamo lo studio del biodeterioramento a livello ultramicroscopico mediante FESEM (SEM ad alta risoluzione). Le immagini ottenute ci hanno permesso di visualizzare le alterazioni prodottesi nei differenti strati di un quadro e di mettere in rilievo come i materiali che lo compongono si trasformino in seguito all'azione congiunta dei microrganismi e dell'ambiente.*

8.- *Mediante le tecniche di analisi da noi impiegate abbiamo verificato che si possono stabilire protocolli adattati allo studio dell'azione dei funghi e dei batteri che ci possono far approssimare in gran misura all'analisi delle forme di alterazione che provocano e, di conseguenza, al posteriore adattamento di metodi di controllo e di trattamento.*

VII. BIBLIOGRAFÍA

Adelantado, C; Acero, X ; Tusel I, P; Corcuera , E; y Calvo, M.A (2005). Evaluación de la capacidad de cepas de *Bacillus Subtilis* de degradar sustratos celulósicos. *II Congreso del GEIIC. Investigación en conservación y restauración.* Barcelona del 9 al 11 de noviembre de 2005. Ed. Museo Nacional de Arte de Cataluña: 89-92.

Agraval, O. P; Dhawan, S, Garg, K.L (1989). *Microbial deterioration of paintings.* A review, Intach Conservation Centre, Lucknow, India:51.

Alcalde, A (1990). Indicadores visuales de alteración. En Martín, A. Ensayos y experiencias de alteración en la conservación de obras de piedra de interés histórico-artístico. Ed.Centro Ramón Areces. Madrid. 609 pag.

Alonso, M.L (1997). Análisis de los materiales pictóricos empleados por Fray Juan Sánchez Cotán. Obras pertenecientes al Museo de Bellas Artes de Granada. *PH Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, 18:52-55.

Arai, H (2000). Foxing caused by fungi: twenty-five years of study. *International biodeterioration & biodegradation* 46:181-188.

Arcos E; Rodríguez J; Sánchez A (1992). Metodología y técnicas en la restauración de obras pictóricas del siglo de oro español de la catedral de Almería. Ed UGR (Universidad de Granada).

Baglioni, R (1998). La iluminación de un bien cultural: problemas conservativos y nuevos avances. Centro de intervención del IAPH. *PH Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, 23:50.

Barnett, H. L y Hunter, B. B (1972). *Illustrated Genera of Imperfect Fungi.* Burgess Publishing Company. 3 edición. Mineápolis, Minesota.EE.UU.

Bassi, M; Giacobini, C (1973). Scanning electron microscopy: a new technique in the study of the microbiology of works of art. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 6:57-68.

Bazzi, M (2001). Enciclopedia de las técnicas pictóricas. Ed. Noguer.S.A. Barcelona-Madrid.

Bolívar Galiano, F.C (1995a). El Biodeterioro del Arte Textil. Teodosio 5. Boletín informativo del Colegio de Doctores y Licenciados en Bellas Artes y Profesores de Dibujo de Andalucía. Sevilla. 23:6-7.

Bolívar Galiano, F.C (1995b). Los Agentes de Biodeterioro del Patrimonio Pictórico, Textil y Gráfico. *PH. Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, 12. Pp 50-51.

Bolívar Galiano, F.C (1995c). Problemas de nomenclatura en la conservación y restauración del patrimonio histórico. *PH. Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, 14: 34-36.

Bolívar Galiano, F.C (1997). Comentario. Clasificación del Arte Textil. Teodosio 5. Boletín informativo del Colegio de Doctores y Licenciados en Bellas Artes y Profesores de Dibujo de Andalucía. Sevilla. 36:2-3.

Bolívar Galiano, F.C ; Sánchez Piñero, F (1998). Restauración de los tapices de La Abadía del Sacromonte: estado de conservación y estudio del biodeterioro. XII Congreso de Conservación y restauración de Bienes Culturales. Alicante. 517-522.

Bougrain-Dubourg, R (1998). Desinfection des Sculptures Polychromes. Exemples concrets en ateliers et chantiers. *Patrimoine culturel et alterations biologiques. Actes des journées d'études de la S.F.I.I.C.* Poitiers, 17 et 18 de noviembre. Pp 211-217.

Boutcé, J (1980). Técnicas y secretos de la pintura. Barnices. Leda ediciones de arte. Barcelona.

Bravery, A. F (1998). Biodeterioration of Paint. A state of the art comment, in *Biodeterioration 7*. Eds. D. R. Houghton, R. N. Smith & H. O. W. Eiggins, Elsevier, New York :466- 485.

Calvo, A (1997). Conservación y restauración. Materiales técnicas y procedimientos. De la A a la Z. Ed. Serval. Barcelona.

Calvo, A (2002). *Conservación y restauración de pintura sobre lienzo.* Ed. del Serbal. Barcelona: 152-155.

Caneva, G; Nugari, M.P; Salvadori, O (2000). La biología en la restauración. Ed. Nerea.

Caneva, G; Nugari, M.P; Pinna, D; Salvadori, O (1996). Il controllo del degrado biologico. I biocidi nel restauro dei materiali lapidei. Ed. Nardini.

Carmona, N; Laiz, L; González, J.M; Garcia-Heras, M ; Villegas, M. A; Saiz-Jiménez, C (2006). Biodeterioration of historic stained glasses from the Cartuja de Miraflores (Spain). *International Biodeterioration & Biodegradation*, 58: 155-161.

Ciferri, O (1999). Microbial degradation of paintings. *Applied and monumental microbiology*. 65(3): 879-885.

Colombini, M.P, Giannarelli, S, Matteini, M, Modugno, F, Fuoco, R (2000). GC-MS Characterization of Paint varnishes. *Microchemical Journal*,67 (1-3): 385-396.

Cortet, O (1998). Le service de restauration des peintures des musées nationaux face aux moisissures. *Patrimoine culturel et alterations biologiques. Actes des journées d'études de la S.F.I.I.C. Poitiers*, 17 et 18 de novembre 1998. :227-235.

Daffinchio, D; Borin, S; Zanardini, E; Abbruscato, P; Urzì, C (1999). *Molecular tools for the detection and the analysis of the diversity of bacteria on deteriorated stoneworks.* En : *International Conference on Microbiology and Conservation, Florence*, pp 23-26.

Doerner, M (1994). Los materiales de pintura y su empleo en el arte. Ed. Reverte. 5° edición.73-78:144-147.

Doménech, M^a. T; Yusá, D.J (2006). Aproximación al análisis instrumental de pigmentos procedentes de obras de arte. Servicio de Publicaciones de La Universidad Politécnica de Valencia.

Dornieden, Th; Gorb ushina, A. A; Krumbein W. E (2000).Biodecay of cultural heritage as a space/time-related ecological situation — an evaluation of a series of studies. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 46, Issue 4: 261-270.

Evans, E .T; Wales, D.S; Bratt ,R.P; Sagar,B. F (199 2). Investigation of an endoglucanase esencial for the action of the cedulase system of *Trichoderma reesei* on crystalline cellulose. *Journal of General Microbiology*,138:1639-1646.

Evans, E.T (1996). Biodeterioration of cellulose. *Biodeterioration abstracts*. 10.(3) :275-285.

Flores, M; Morillo, M; Crespo, M. L (19 97). Deterioration of raw materials and cosmetic products by preservative resistan microorganisms. *Int.Biodeterioration & Biodegradation*, 40(2-4),pp 157-160.

Fuster, L; Castell, A; Guerola V (2004). El estuco en la restauración de pintura sobre lienzo. Criterios, materiales y procesos. Ed UPV (Universidad Politécnica de Valencia).

García Murillo, S; Martín Pérez, A (1996). Los organismos vivos como factores que contribuyen activamente al deterioro de nuestros monumentos. *PH. Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, 14:57-66.

Gaylarde, C.C; Moreno, D. A (2006).The 13th International Biodeterioration and Biodegradation Symposium: State-of-the-art in biodeterioration, biodegradation, and bioremediation. *International Biodeterioration & Biodegradation*,58 (3-4):107.

Gérard, A (1998). Sculptures policromes et mobiliers: Problèmes de désinsectisation et de désinfection. *Patrimoine culturel et alterations biologiques. Actes des journées d'études de la S.F.I.I.C. Poitiers, 17 et 18 de novembre 1998:* 207-211.

Giacobini, C; Nugari , M. P; Pietrini, A. M; Ricci, S (1983). Le prove non distruttive di analisi microbiologiche come mezzo conoscitivo dello statu di biodeterioramento delle opere d'arte. *I Conferenza Internazionale, Le prove non distruttive nella conservazione delle opere d'arte. AIPnD e ICR. Roma 27-29 Ottobre 1983.*6. Pp 1-15.

Giacobini, C; De Cicco, M.A; Tiglie, I; Accardo, G. (1991a). *Actinomycetes and Biodeterioration in the Field of Fine Art. Biodeterioration 7.* Ed Elsevier. Pp 418-423.

Giacobini, C; Pedica, M; Spinucci, M (1991b). Problems and Future Projects on the Study of Biodeterioration: Mural and Canvas Paintings. *Biodeterioration of Cultural Property.* Cap 31. Pp 275-286.

Gómez, M. L (2000). La Restauración. Examen científico aplicado a la conservación de obras de arte. Ed. Cátedra. Ciudad.pag.

González, M (1997). La naturaleza de la capa de preparación según la visión de los principales tratadistas de la historia de la pintura. *PH. Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*,19:51-57.

Gorbushina, A.A; Krumbeim, W.E; Hamman, C. H; panina, L; Soukharjevski, S; Wollenzien, U (1993). Role of black fungi in color change and biodeterioration of antique marbles. *Geomicrobiology Journal* 11:205-221.

Groth, I; Vettermann, R; Schuetze,B; Schumann, P; Saiz-Jimenez, C (1999) Actinomycetes in Karstic caves of northern Spain (Altamira and Tito Bustillo) *Journal of Microbiological Methods, Volume 36, Issues 1-2, Pages 115-122.*

Gu, J-D; Ford, T. E; Berke, N. S; Mitchell, R (1998). Biodeterioration of concrete by the fungus *fusarium*. *International biodeterioration & biodegradation*, 41:101-109.

Guillaume-Chauvannes, G (1988). Peintures et moisissures : une approche originale du problème par le "Conservation Department" de la Tate gallery à Londres. *Patrimoine culturel et alterations biologiques. Actes des journées d'études de la S.F.I.I.C. Poitiers, 17 et 18 de novembre.* Pp 217-227.

Gutiérrez, F (1998a). Aplicación de la espectrometría infraroja al análisis químico de los Bienes Culturales. *PH. Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, 18:56-60.

Gutiérrez, F (1998b) . Aplicación de las técnicas cromatográficas al análisis químico de los Bienes Culturales. *PH. Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, 24:45-51.

Hall & Davis (1968). Identificación de Fibras Textiles. Blume.Barcelona.216 pags.

Hawsworth, D. L; Sutton, B. C; Ainsworth, G. C (1983). Dictionary of the fungi. Surrey (7 edic).Editorial, ciudad,pag.

Heim, R; Flieden, F; Nicot, J (1969). Lucha contra los mohos que proliferan sobre los bienes culturales en los climas tropicales. *La conservación de los Bienes Culturales*. Unesco. 3:45-48.

Khijniak, T. V; Medvedeva-Lyalikova, N.N; Golikov, V.P; Dick, J (2005). The microbial discoloration of oil paintings. A laboratory investigation. *IBBS-13 International Biodeterioration and Biodegradation Symposium*. Madrid. Septiembre 2005. Pp

Klgarg,N Carg, V.G Mi jerki. (1994). Recent advances in biodeterioration and biodegradation. Calcuta. Vol 2.

Koestler (1991). *Biodeterioration of Works of Art*.

Krumbein, W. E (1992). Colour changes of building stones and their direct and indirect biological causes. En: J. Delgado, F. Henriques, F.Telmo (eds). Proceedings of the VIIIth International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Lisbon, pp. 433-452.

La Fuente , E (1987). Breve Historia de la pintura española II. Ed. Akal, Arte y estética. Madrid. Pag totales.

León Tello, F y Sanz Sanz, M. (1995). La Teoría Española de la Pintura en el siglo XVIII. El tratado de Palomino. Universidad Autónoma de Madrid. :234-235.

López E; Doménech-Carbó, M^a.T; Gimeno-Adelantado, J. V; Bosch- F (1999). Study by FT-IR spectroscopy of ageing of adhesives used in restoration of archaeological glass objects *Journal of Molecular Structure*,482-483:525-531.

Maifreni, T; Romanó, M; Fre ddi, G (1991). Studio della degradazione microbica in microscopia elettronica a scansione. *Convegno Internazionale Applicazione della Microscopia in Campo Biologico*, Asisi, 24-26 maggio:34-35.

Marijnissen, R. H (1967). Degradation-Conservation. Restauration de L 'Oeuvre D'Art. Edt. Arcade. Pp 123-125.

Massa. V; Scicol one, G (1991). Le vernici per il restauro. I leganti. Nardini Editore. Firenze.

Masschelein-Kleiner (1992). Liants, vernis et adhésifs anciens. *Institut Royal du Patrimoine Artistique*. Bruxelles:

Matteini, M ; Moles, A (2001). Ciencia y restauración. Método de investigación. Ed. Nerea.

Matteini, M; Moles, A (2001). La química y la restauración. Ed. Nerea.

Mayer, R (1985). Materiales y técnicas del arte, Ed. Herman Blume, Madrid,

McCarthy, B. J (1987). Rapid methods for the detection of biodeterioration in textiles. *International Biodeterioration*, 23,(6):357-364

Montes E stellés, R. M (1994). Estudio de la contaminación fisicoquímica y microbiológica, en el conjunto patrimonial de la basílica de la virgen de los desamparados de Valencia. *Comunicaciones técnicas, libro segundo. II Congreso Nacional de Medio Ambiente*. Madrid,21-25 noviembre 1994, pp 23-37.

Nicolaus, K (1999). Manual de restauración de cuadros. Ed. Köneman.Berlin.

Osete-Cortina, L; Doménech- Carbó, M^a. T; Mateo-Castro, R; Gimeno-Adelantado, J. V; Bosc h-Reig, F (2004). Identification of diterpenes in canvas painting varnishes by gas chromatography–mass spectrometry with combined derivatisation *Journal of Chromatography A*, 1024, (1-2):187-194.

Pacheco, F (2000). El arte de la pintura. Ediciones Cátedra.

Paulus, W, Genth, H (1990). *Compuestos fenólicos microbicidas. Un examen crítico*. Bayer AG.14 p.

Pedrola, A (1998). Materiales; procedimientos y técnicas pictóricas. Colección Ariel Patrimonio Histórico. Ed. Ariel. Barcelona.

Petushkova, J. P y Lyalikova, N (1985). Microbiological degradation of lead-containing pigments in mural paintings. *Studies in Conservation*, 31:65-69.

Petrucci Harwood (1993). General Chemistry-Principles & Modern Applications, Prentice-Hall.

Poyatos F; Bolívar, F; Martín, I; Fernández, M^a, A; Romero, J (2003). Formas de alteración en materiales filmógenos constituyentes de obras de arte españolas (siglos XVI-XIX). II CONGRESO IBEROAMERICANO DEL PATRIMONIO CULTURAL. Madrid. Octubre 2003.

Poyatos F; Bolívar, F; Martín, I; Fernández, M^a, A; Romero, J (2006). Análisis del microbiodeterioro en obras pictóricas del Museo de Bellas Artes de Granada mediante FESEM (Microscopía Electrónica de Alta Resolución).XVI CONGRESO DE CONSERVACIÓN DE BBCC.Valencia.Octubre 2006.

Prokaryotes (1992). 2^a Edición. Edt. Springel. NY.

Plenderleith (1985). Conservación de antigüedades y obras de arte. Edit. Elsevier.

Réau, J.L.(1997a). Iconografía del Arte Cristiano. Iconografía de los santos de la A a la Z. Volumen 1-2-3-4 y 5. Ed. Del Serval..

Réau, J.L.(1997b). Iconografía del Arte Cristiano. Iconografía de la Biblia. Nuevo testamento. Ed. Del Serval.

Revilla, F (1999). Diccionario de iconografía y simbología. Cátedra. Madrid.

Ross, R. T (1963). Microbiology of paint films. *Adv. Appl.Mirob*, 5:217- 234.

Rubio, R. F; Bolívar, F. C (1997). Preliminary study on the biodeterioration of canvas paintings from the seventeenth century by *microchiroptera*. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 40(2-4):161-169.

Sameño P uerto, A y Rubio Faure C (1998). Métodos de control biológico aplicados a escultura en madera. Algunos ejemplos en el IAPH. *PH. Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, 23:46-50.

Sánchez-Cuenca, R y Alomar, M. R (1980). Eliminación de aceites secantes aplicados a modo de barniz. *III Congreso de Conservación de BBCC*. Valladolid, 21-23 junio.1980. ICROA-ICOM. Pp 81-85.

Sánchez-Piñero, F y Bolívar, F.C (2003). Indirect effects of a non-target species, *Pyrrhalta luteola* (Chrysomeliade) on the biodeterioration of Brussels tapestries. *International biodeterioration & biodegradation* (54). Pp 297-302.

Sarró, M.I; Moreno, D. A; Ranninger, C; King, E, Ruíz, J (2006). Biodeterioration of the lions fountain at the Alhambra Palace, Granada, (Spain). *Building and Environment*, Volume 41, issue 12, December 2006: 1811-1820.

Schabereiter-Gurtner, C; Piñar, G; Lubitz, W; Rolfe, S (2001). An advanced molecular strategy to identify bacterial communities on art objects. *Journal of microbiological methods*, 45(2), pp77-87.

Seves, A; Sora, S; Ciferri, O (1996). The microbial colonization of oil paintings. A Laboratory Investigation. *International Biodeterioration & Biodegradation* N°:215-224.

Seves, A; Romano, H; Scilione, G; Maifreni, T; Sora, S (2000). A laboratory investigation of the microbial degradation of cultural heritage (ICMC). *Of microbes and art: The role of microbial communities in the degradation and protection of cultural heritage*:121-133.

Sonino, E (1997). Indagini biologiche sul dipinto raffigurante la "Circoncisione". Due dipinti su tela di Tanzio da Varallo. Indagini e restauro. Soprintendenza per i beni Culturali Architettonici Artistici e Storici per L'Abruzzo-L'Aquila. Pp 37-38.

Stout, G.L (1975). *The Care of Pictures*. Dover publications, inc. New York.

Strzelczyk, Alicja. B (1981). *Paintings and Sculptures*. Laboratory of Paper and Leather Conservation Institute of Conservation and Restoration of Antiquities, Nicolaus Copernicus University, Torun, Poland *Microbial Biodeterioration*, 6:203-234.

Szostak-Kotowa, J (2004). Biodeterioration of textiles. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 53(3):165-170.

Turner, G (1998). *Paint Chemistry and Principles of Paint Technology*, Ed. Chapman and Hall, NY.

Thoms, R. B (2000). Biodegradation of resin acids in pulp and paper mill effluents: A literature review. *Environmental microbiology: ESE*, 550.N°

Valentín, N (1990). Contaminación biológica en materiales arqueológicos y su erradicación por medio de tratamientos no tóxicos. *Cuadernos del Instituto de Conservación de Bienes Culturales, Madrid*:113-120.

Valentín, N; Vaillant, M; Guerrero, H (1996). Control integrado de plagas en bienes culturales de países de clima mediterráneo y tropical. *XI Congreso de Conservación y Restauración de Bienes Culturales*. Castellón, 3-6 octubre, 1996. Ed. Diputación de Castellón, pp205-215.

Valentín, N; García, R (1999). "El biodeterioro en el museo", *Arbor* nº645, CSIC, Madrid, Pag- 85-107.

Vázquez Albadanejo, C y Alonso, J.L (1990). Estudio de biodeterioro producido por hongos en pintura de caballete del siglo XVIII. *VIII Congreso de Conservación de BBCC*.

Venegas, C; Pardo, D (1995). Agentes de deterioro en VV.AA. Miscelánea museológica. Bilbao, Servicio Editorial Universidad del País Vasco.

Villafranca, M (1998). El Museo de Bellas Artes de Granada. *Los museos de Granada: Génesis y Evolución Histórica (1835-1975)*. Pp43-87. Edit. Diputación provincial de Granada. Biblioteca de Ensayo.

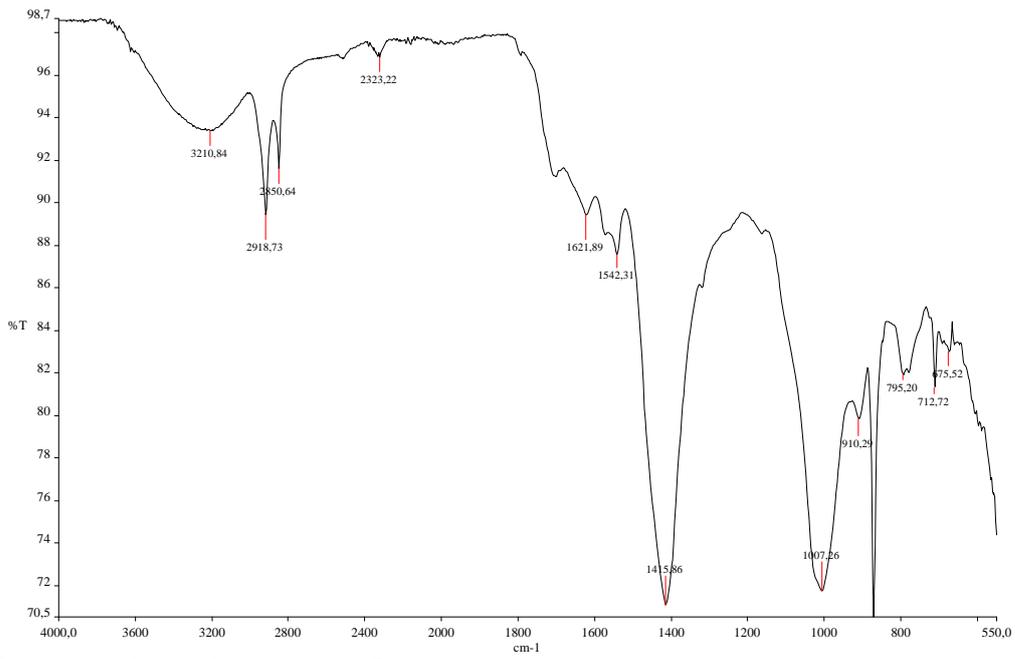
Villarquide, A (2005a). La pintura sobre tela I. Historiografía, técnicas y materiales. San Sebastián.Nerea.

Villardique, A (2005b). La pintura sobre tela II. Alteraciones, materiales y tratamientos de restauración. San Sebastián.Nerea.

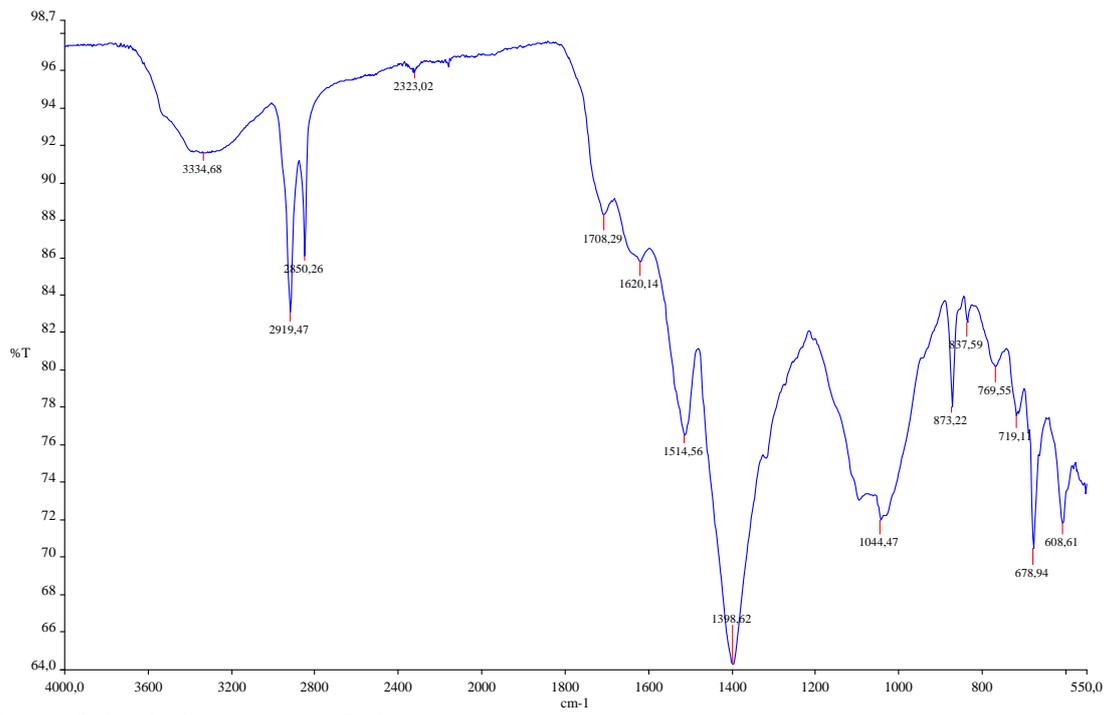
Weirich, G (1998). Wachstum von Schimmelpilzen und Bakterien auf verschiedenen Malgrüden, en *Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung*, 2:305-314.

Wheatley, R; Hackett, C; Al an, B y Kundzewicz, A (1996). Effect of substrate composition on production of volatile organic compounds from *trichoderma* spp. Inhibitori to Wood decay fungi. *International Biodeterioration & Biodegradatió*, 39 (2-3):199-205.

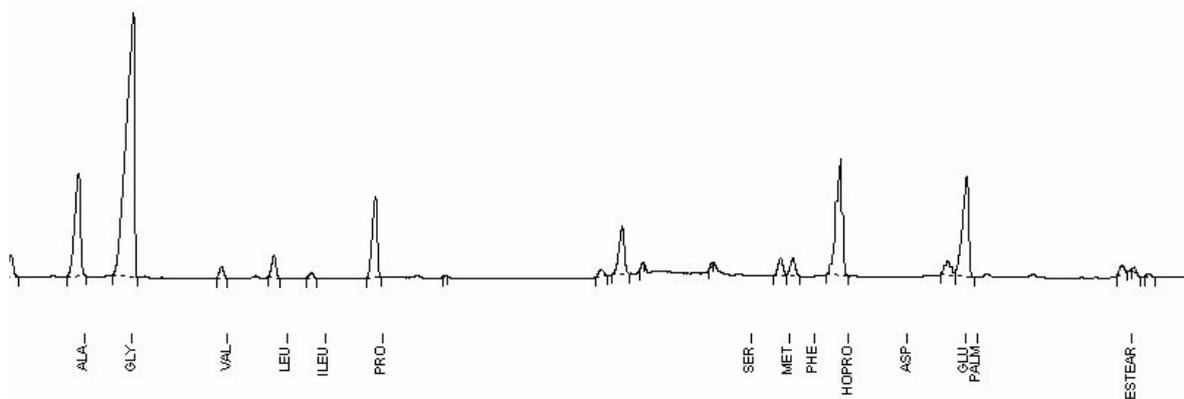
VIII. ANEXO



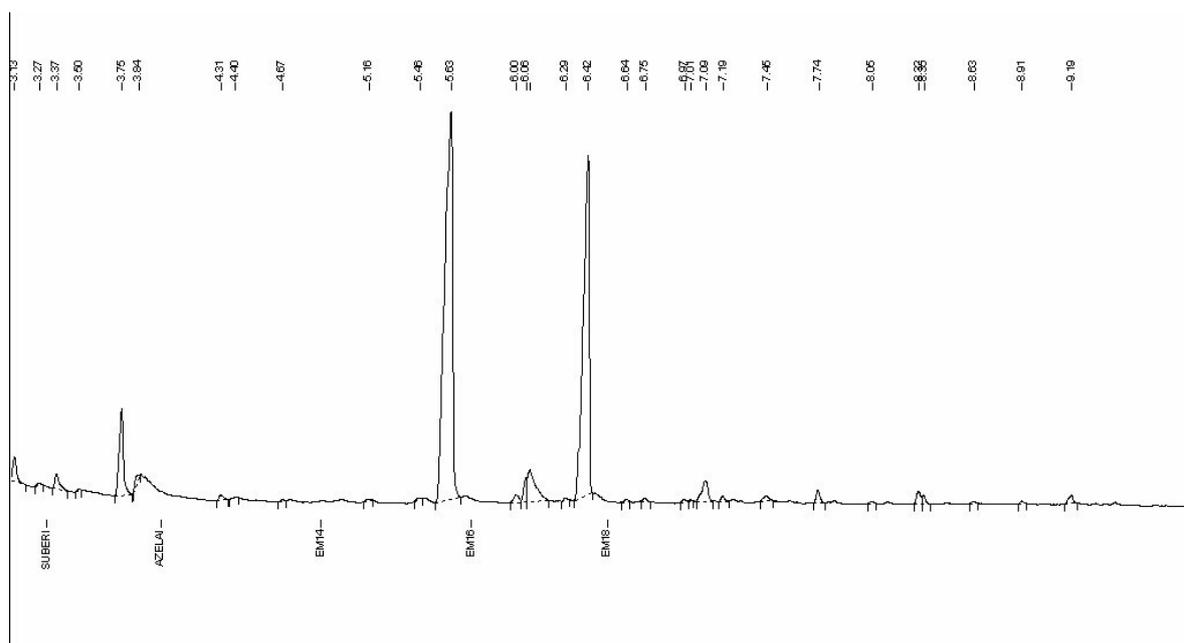
Preparación de la muestra C-1



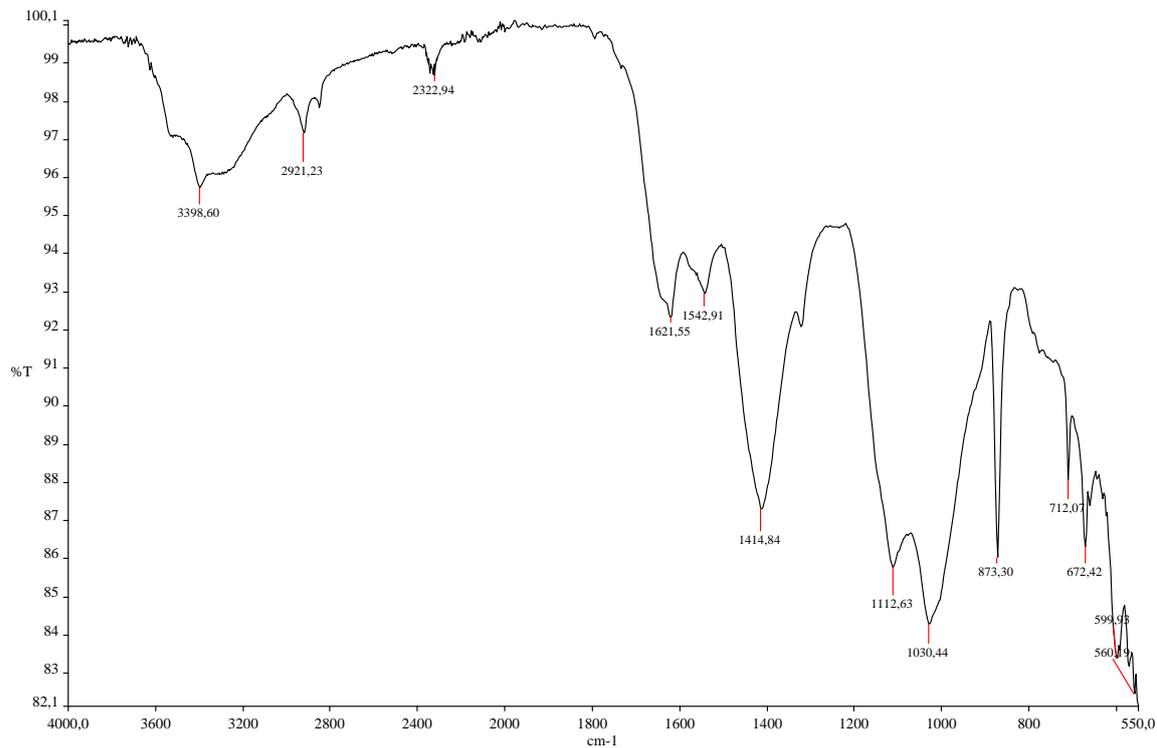
Superficie de la muestra C-1



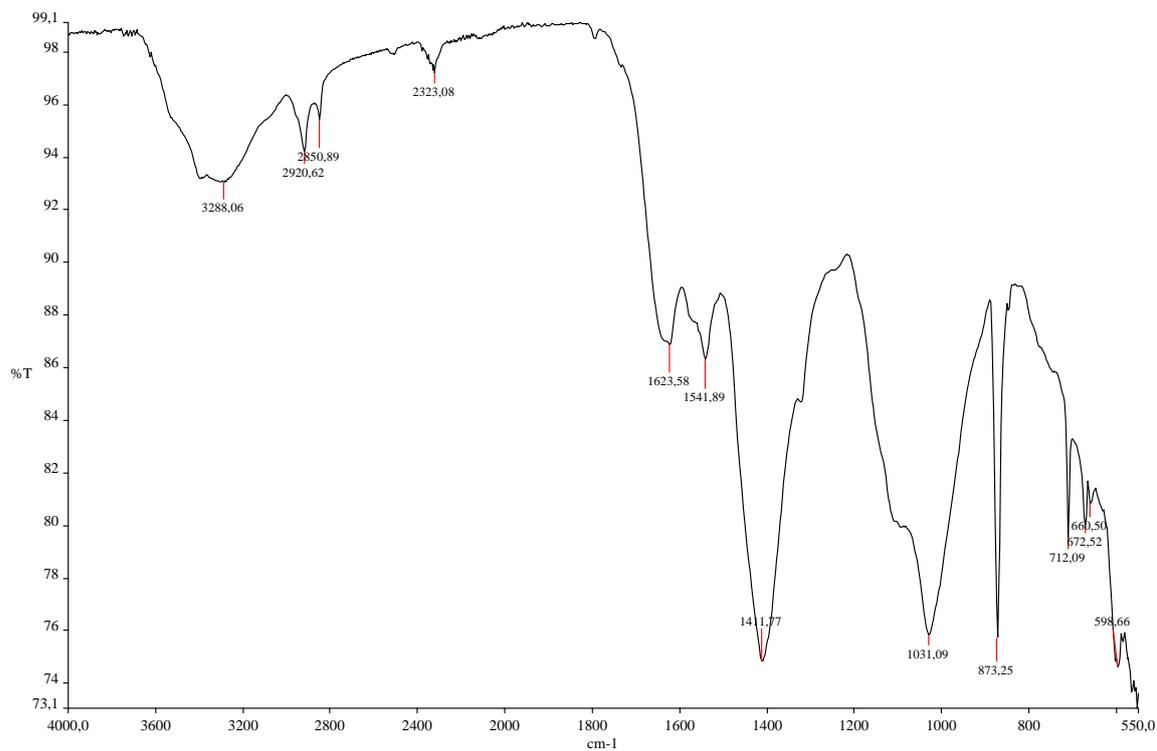
Cromatograma de la muestra C-1



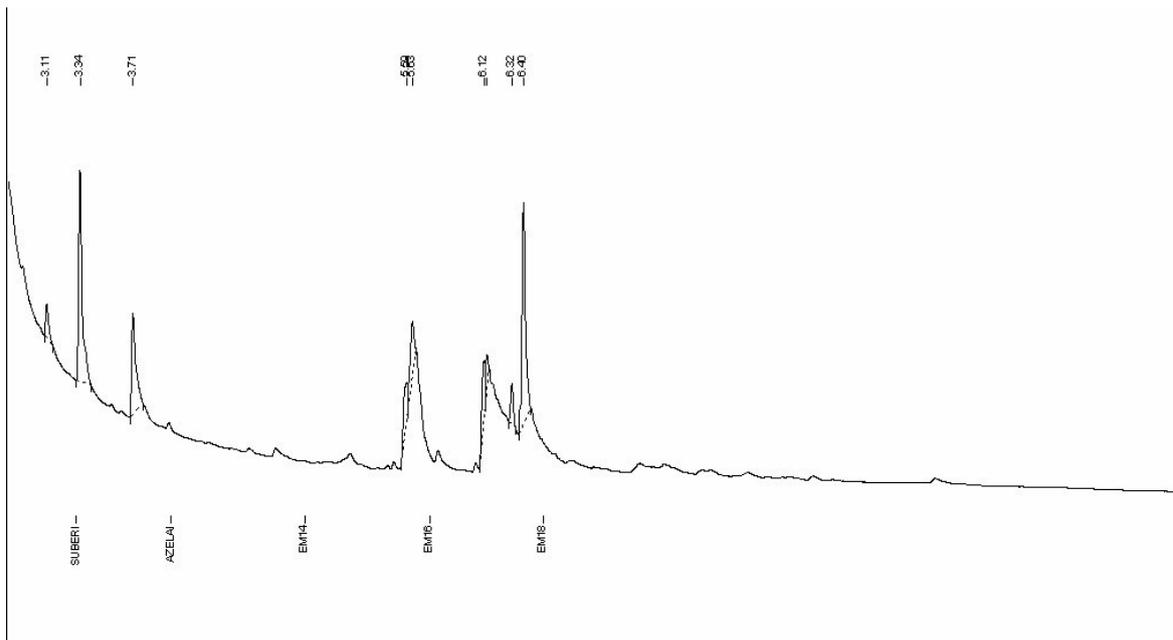
Cromatograma de ácidos grasos de la muestra completa C-1



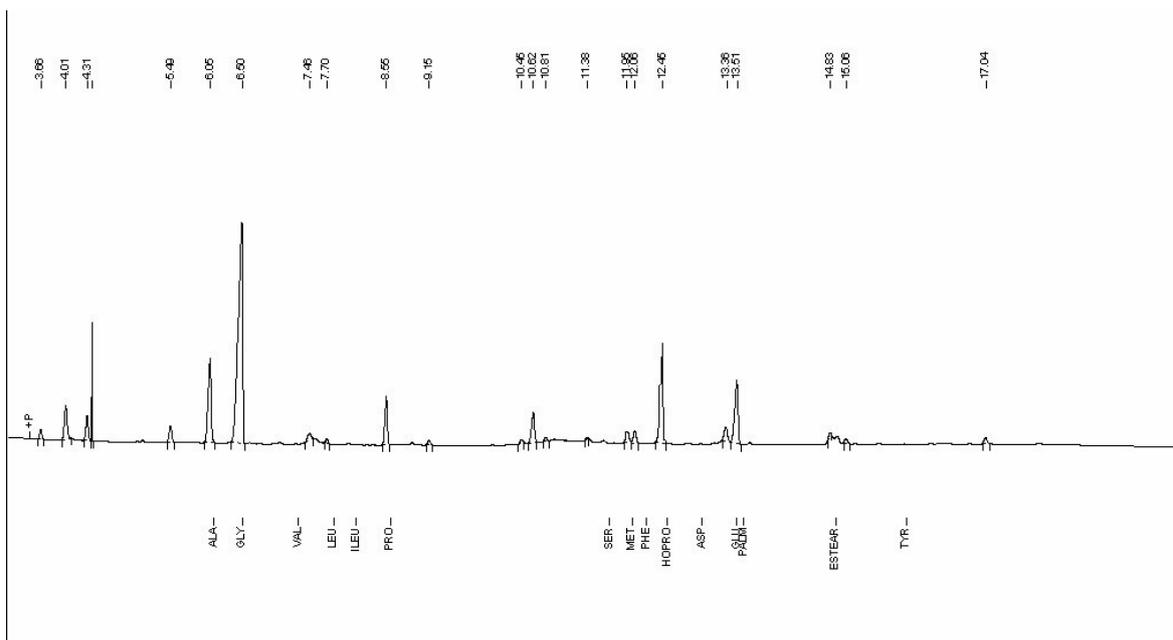
Preparación gris, muestra C-2



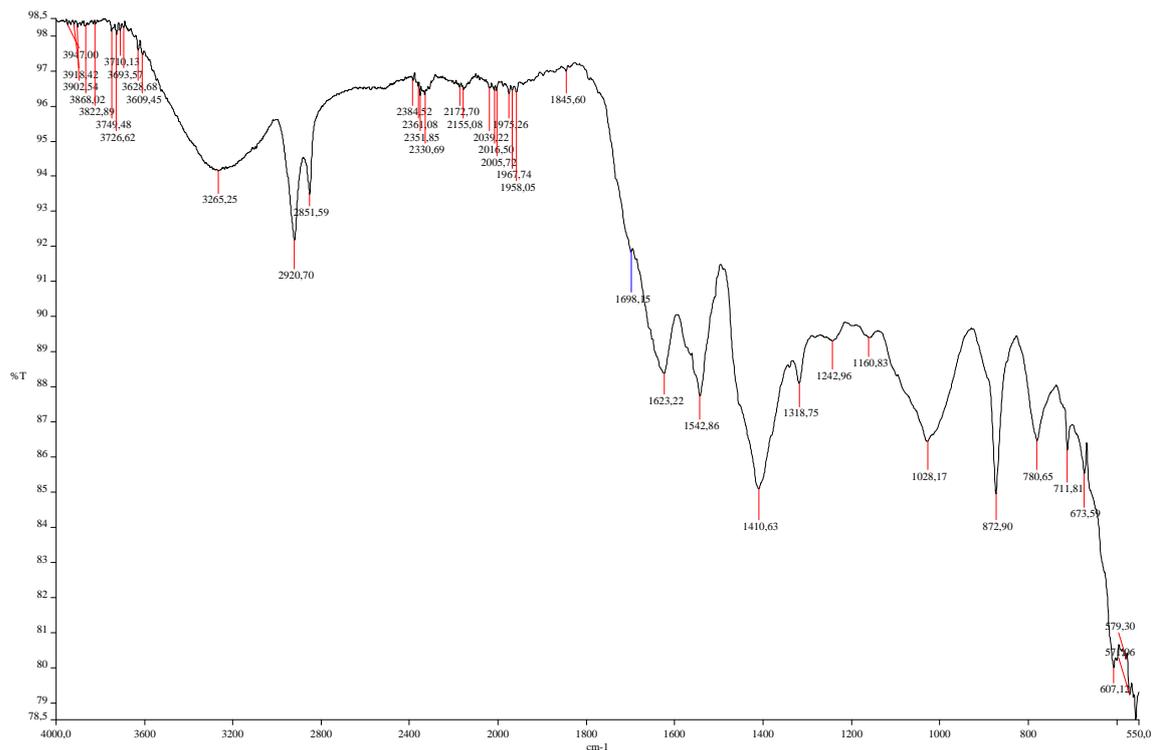
Superficie, muestra C-2



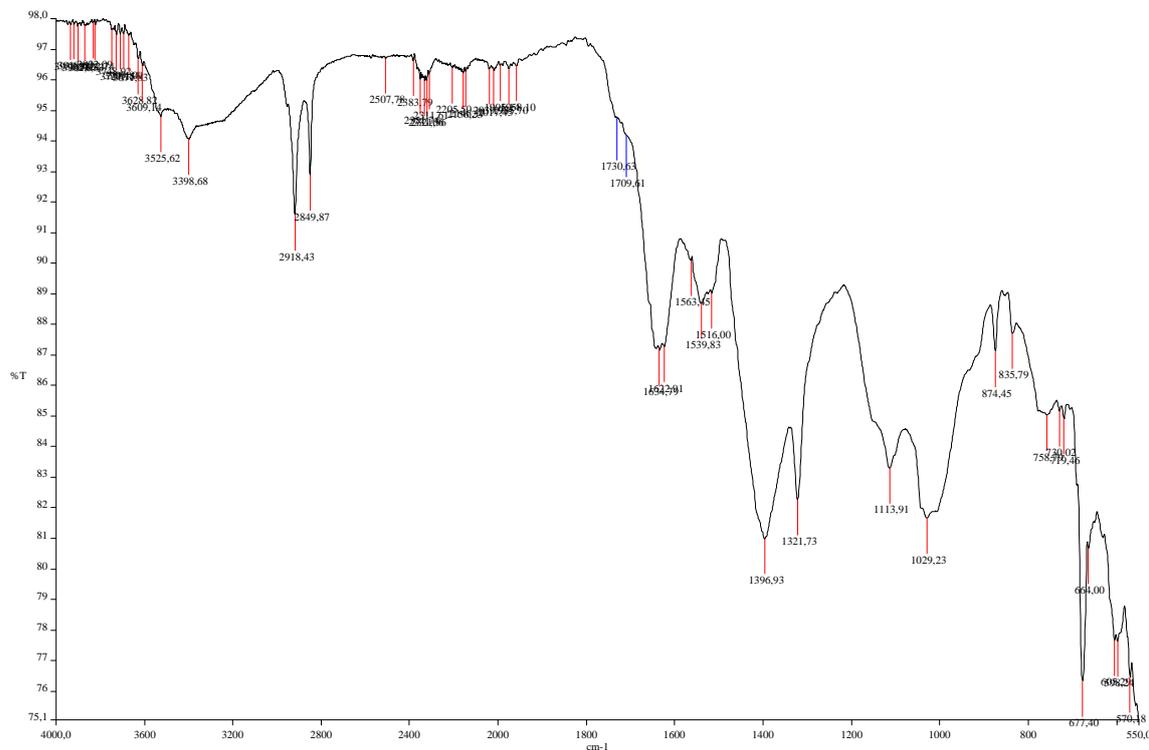
Cromatograma de la muestra completa C-2



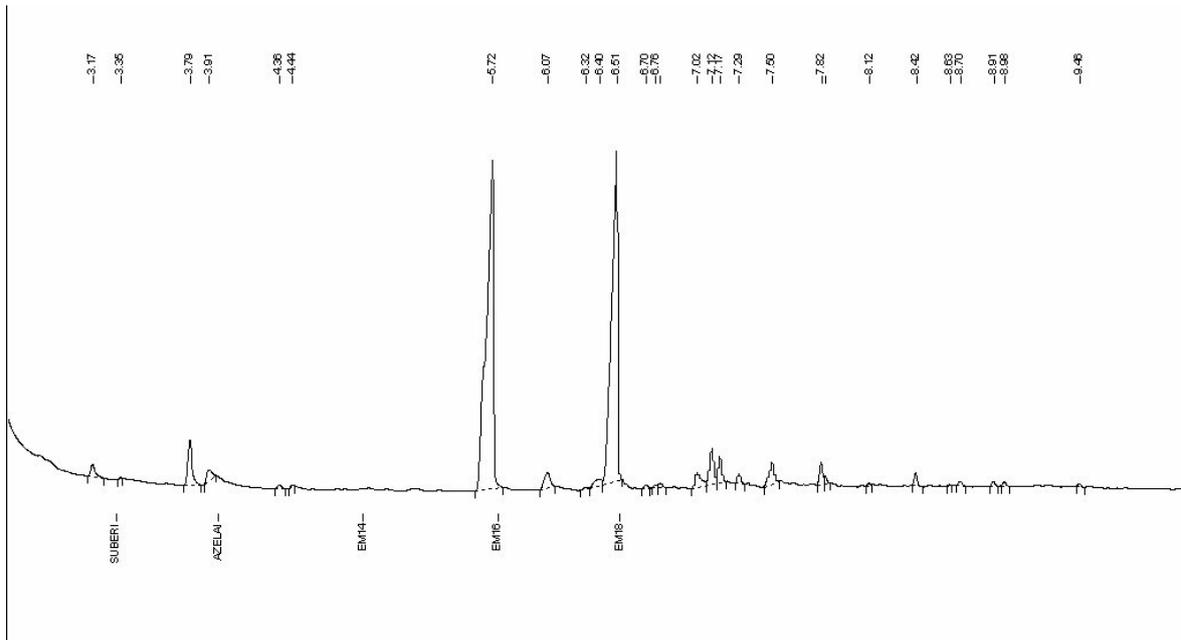
Cromatograma de la muestra C-2



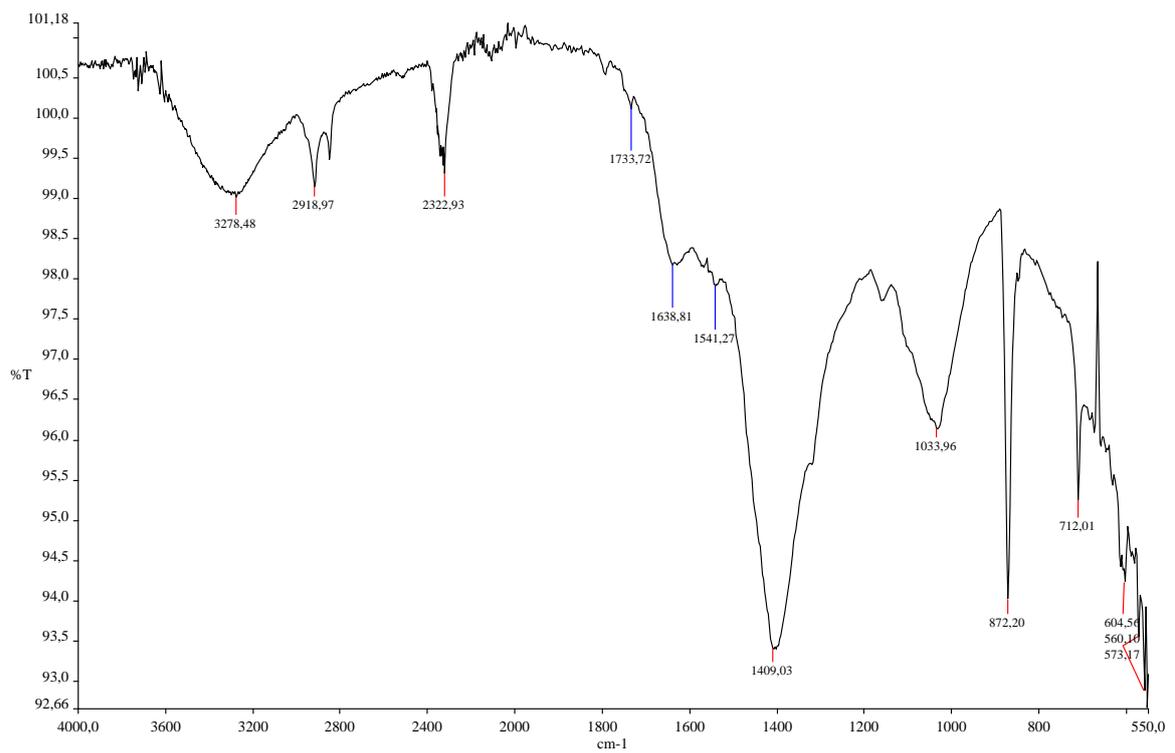
Spectro de la preparación superior (roja) de la muestra C-3



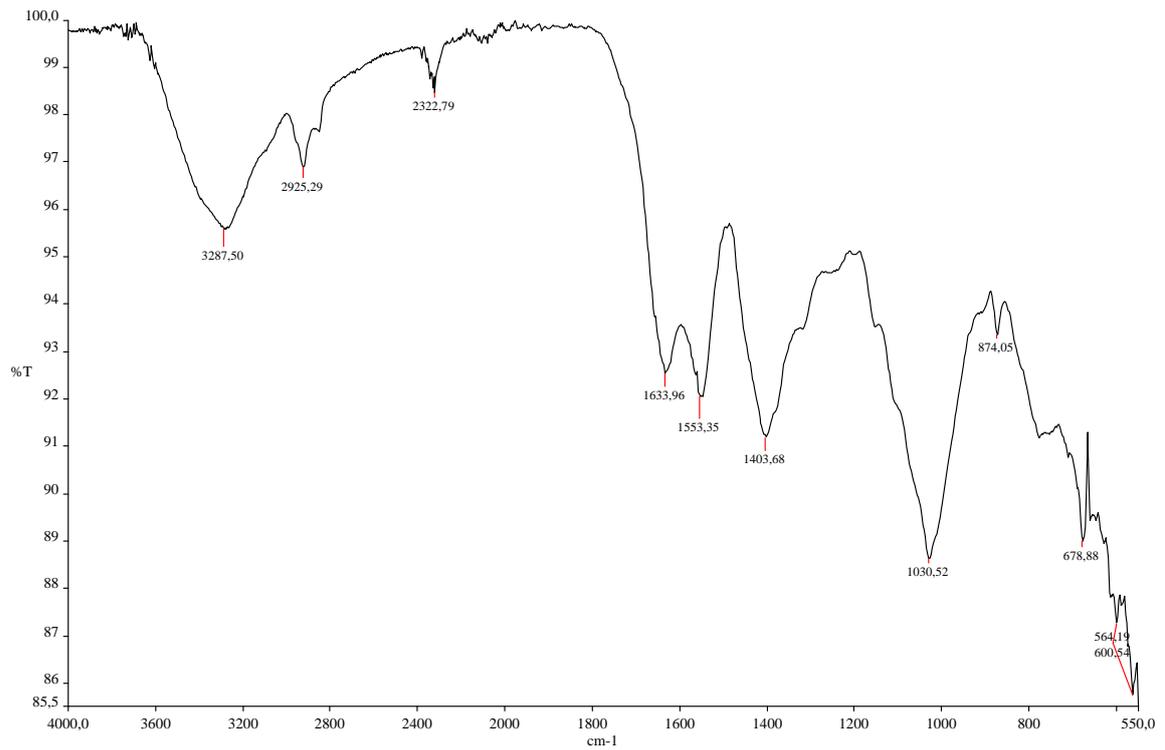
Spectro de la superficie de la muestra C-3



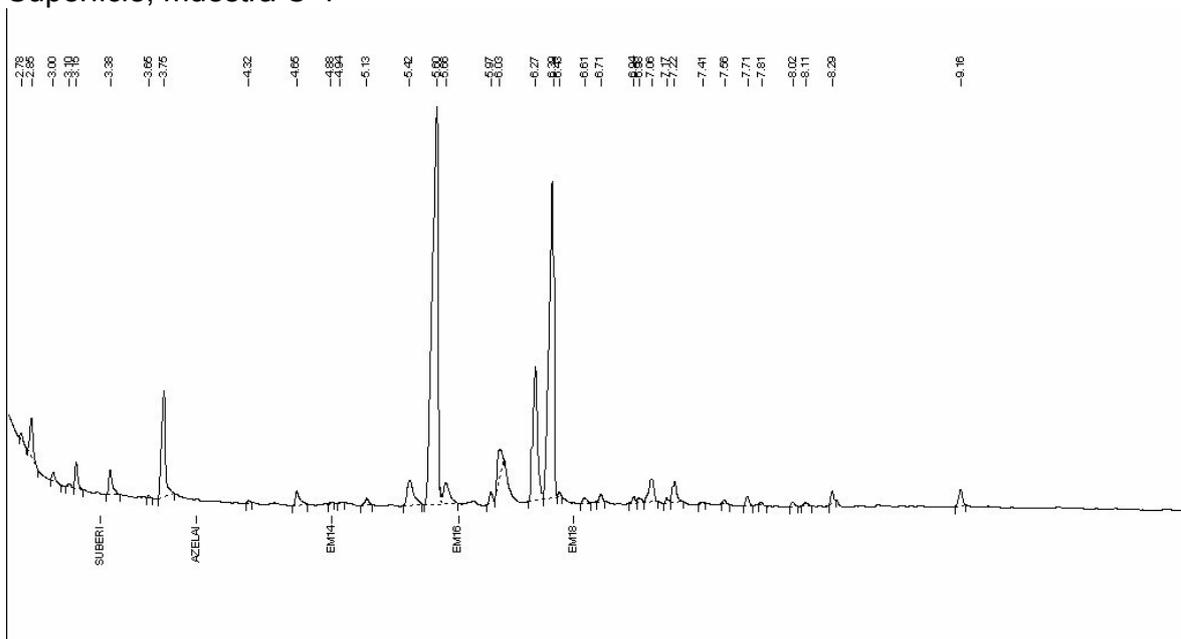
Cromatograma de la muestra completa C-3



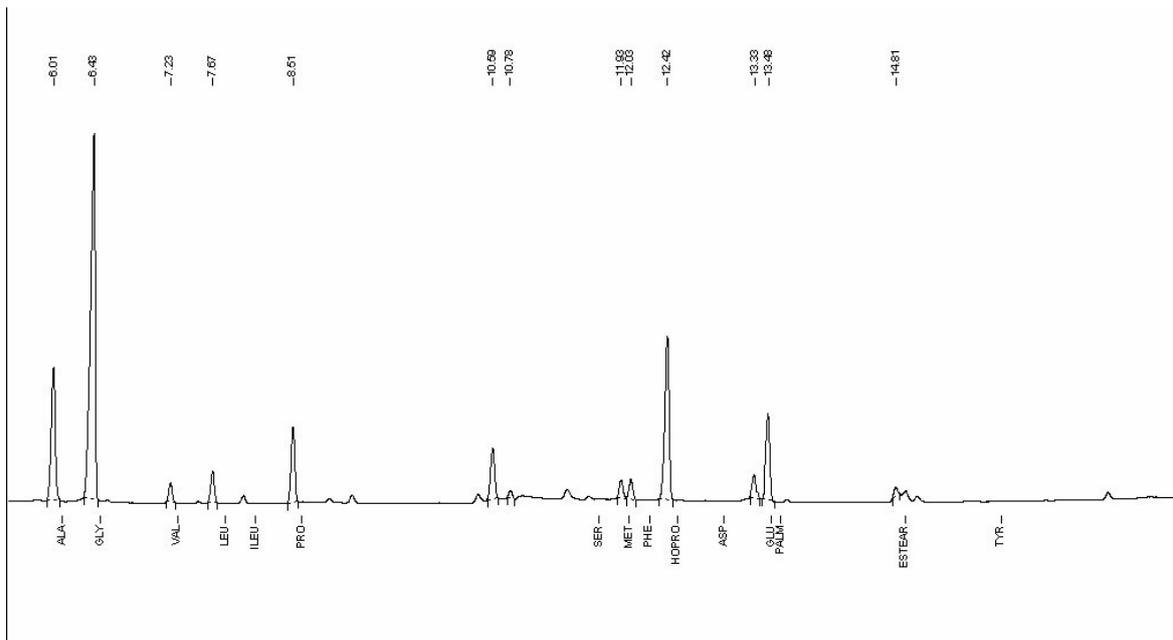
Preparación gris, muestra C-4



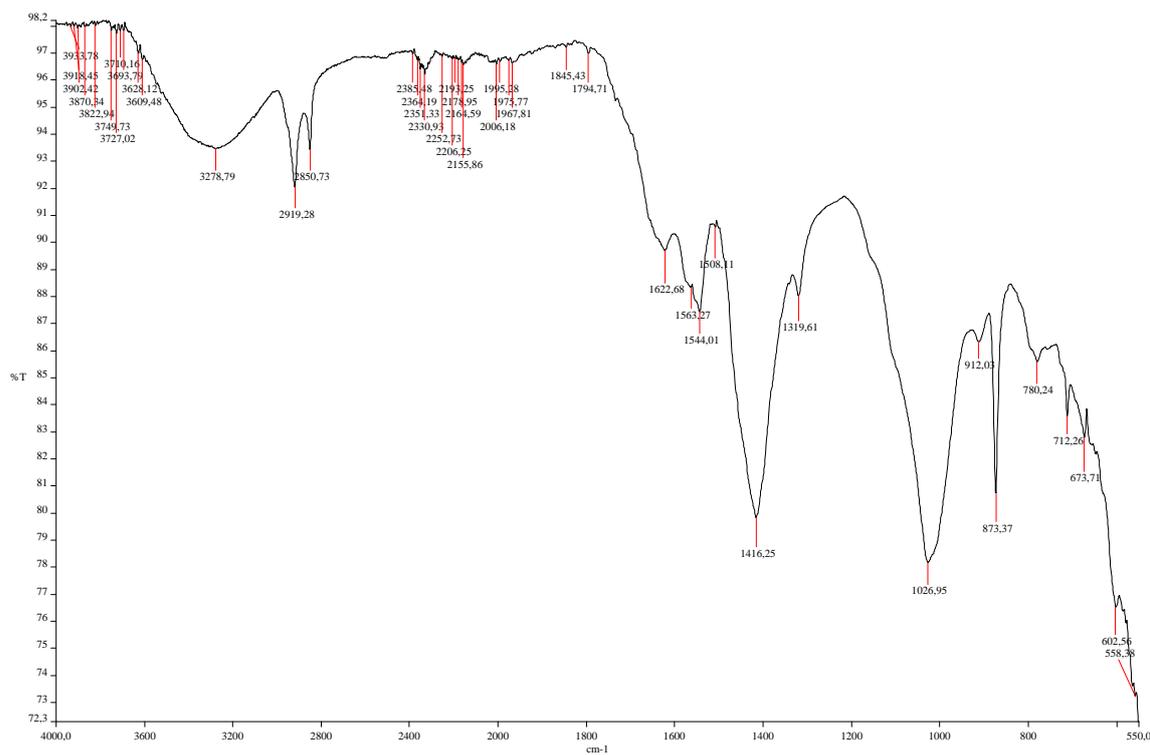
Superficie, muestra C-4



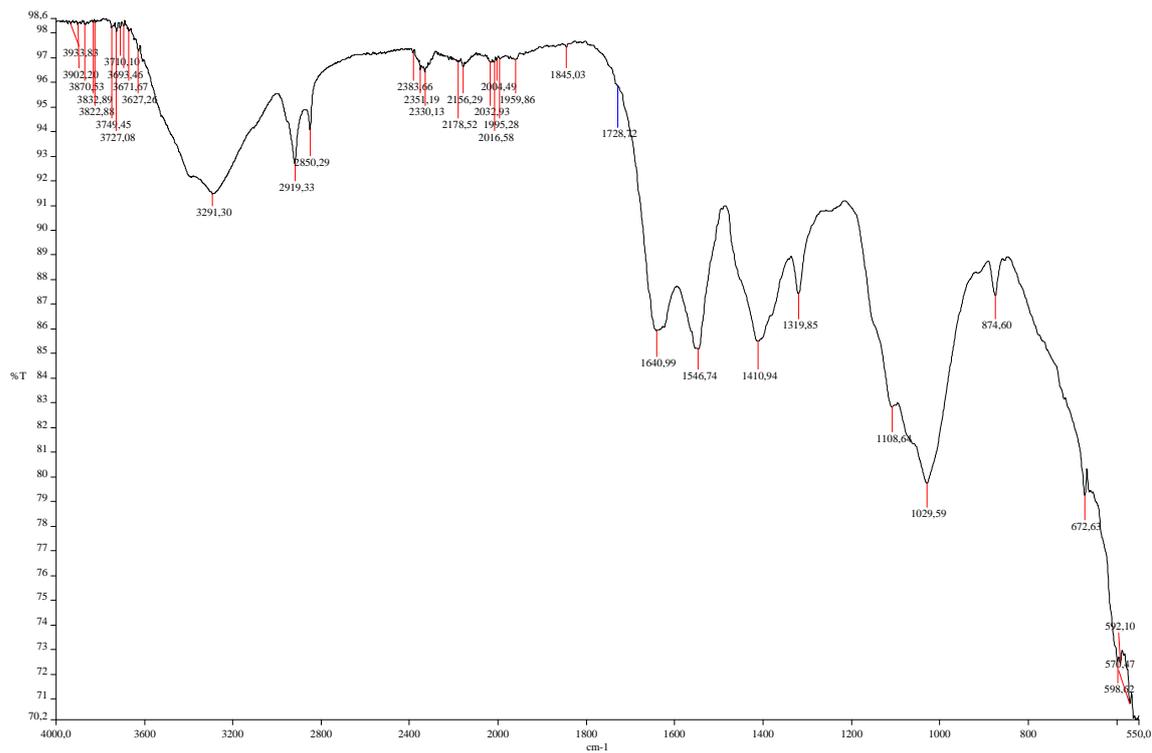
Cromatograma de ácidos grasos de la muestra completa C-4



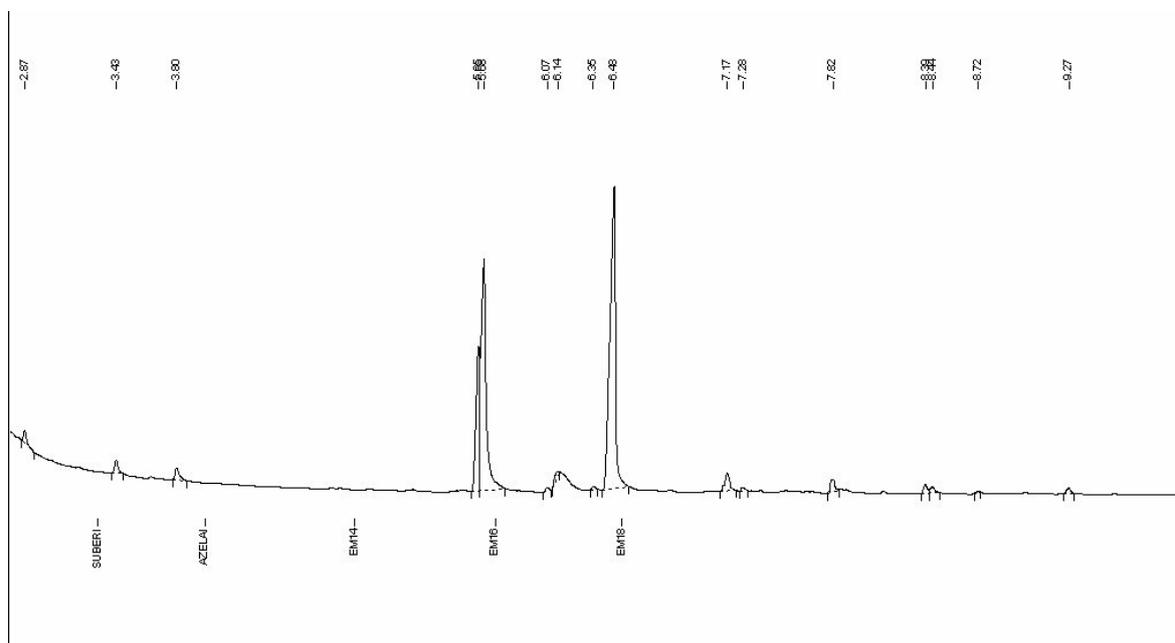
Cromatograma de la muestra C-4



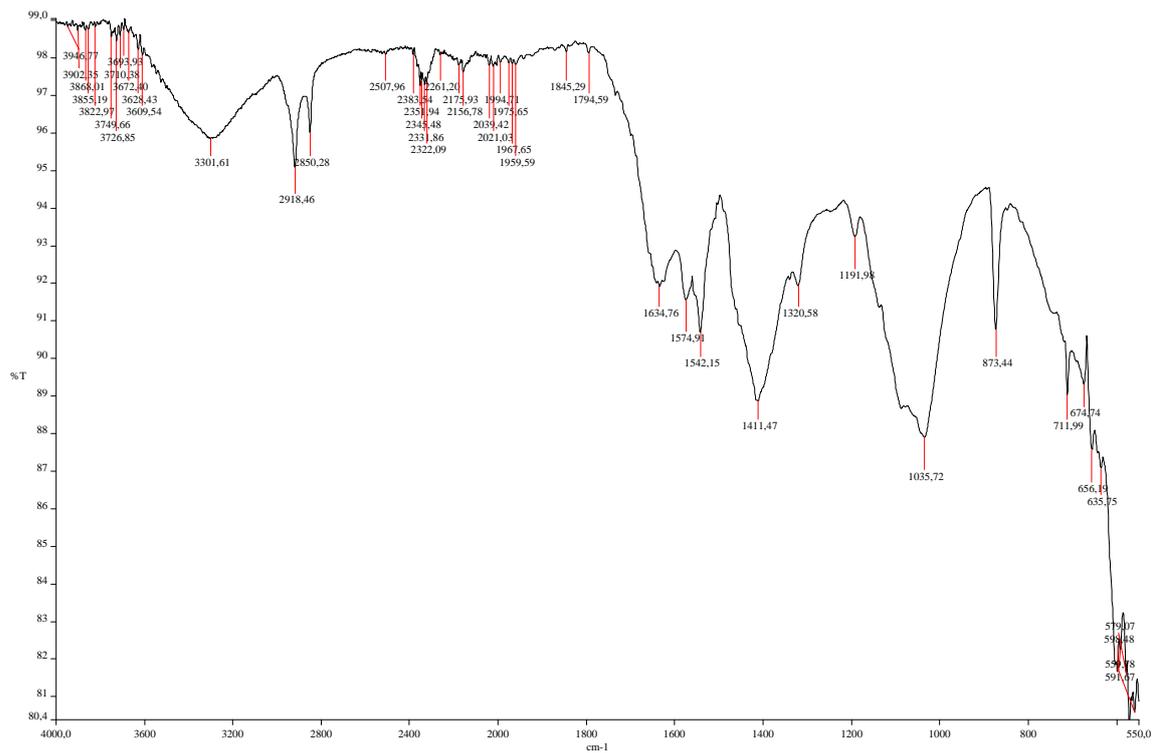
Preparación ocre. Muestra C-5



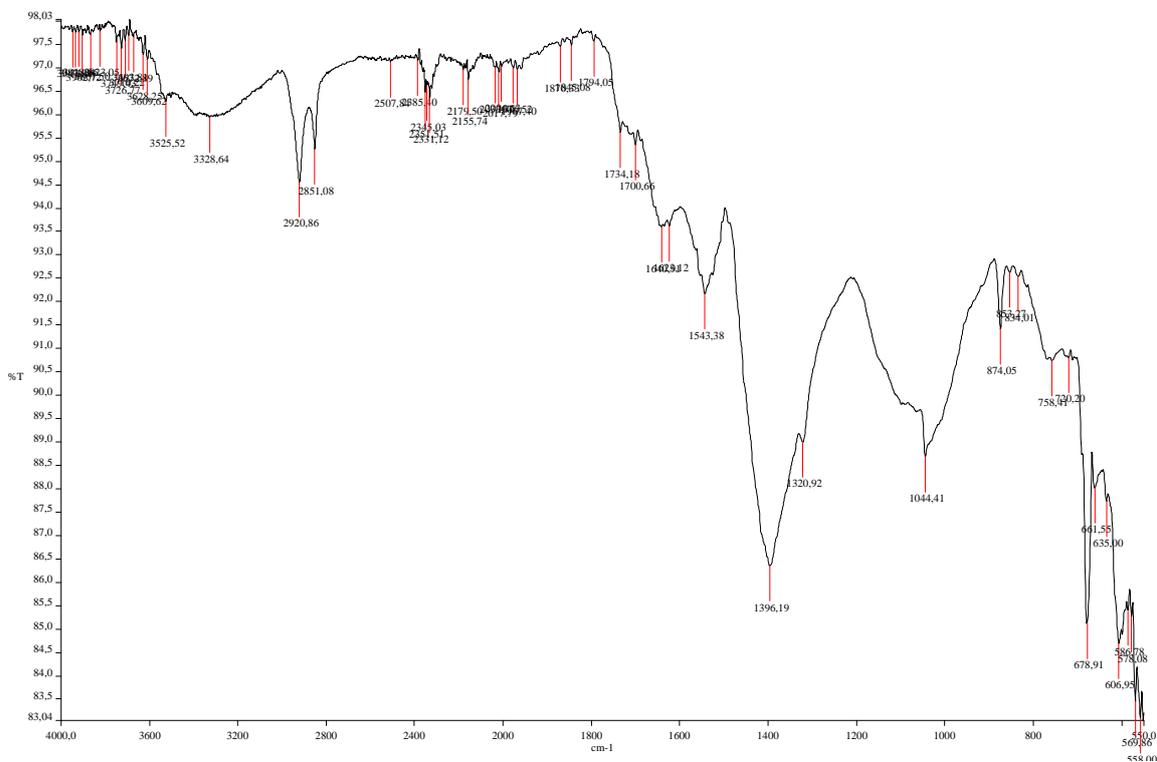
Superficie de la muestra C-5



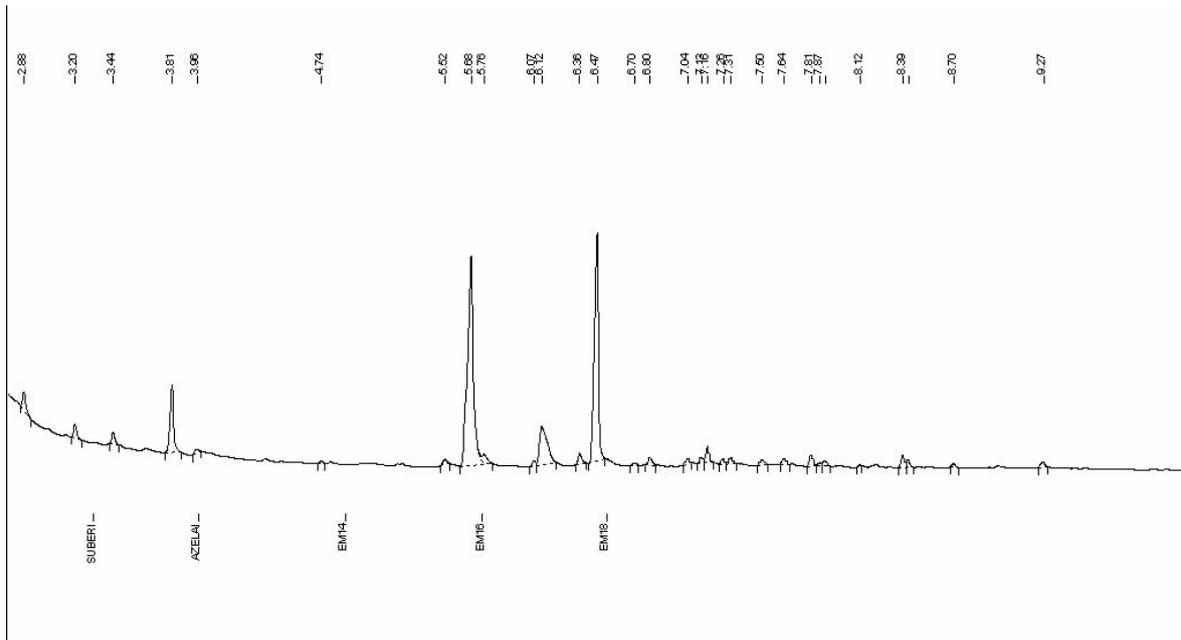
Muestra completa C-5



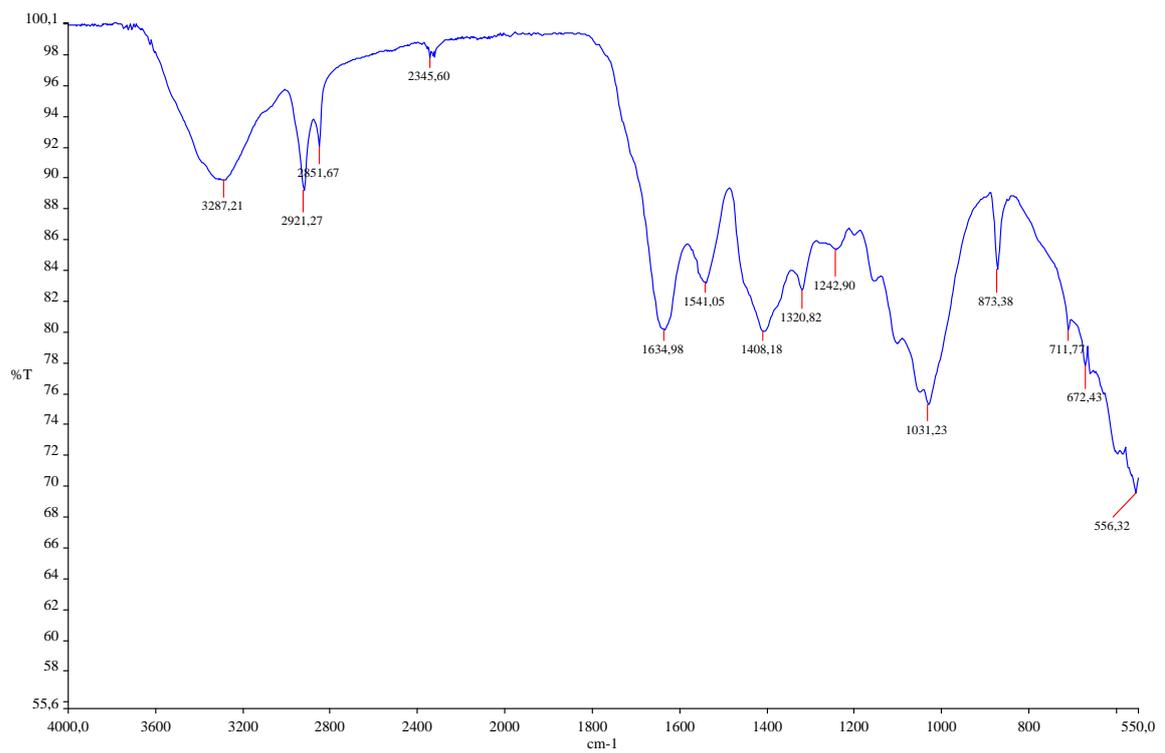
Preparación inferior. Muestra C-6



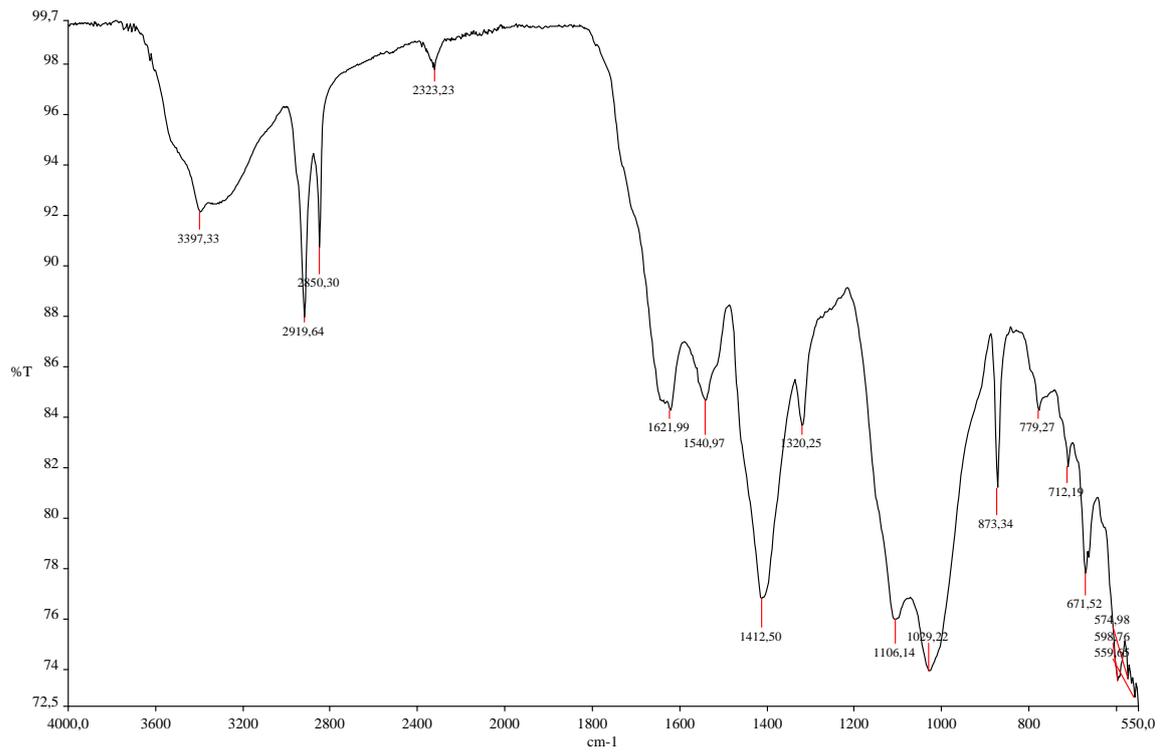
Superficie de la muestra C-6



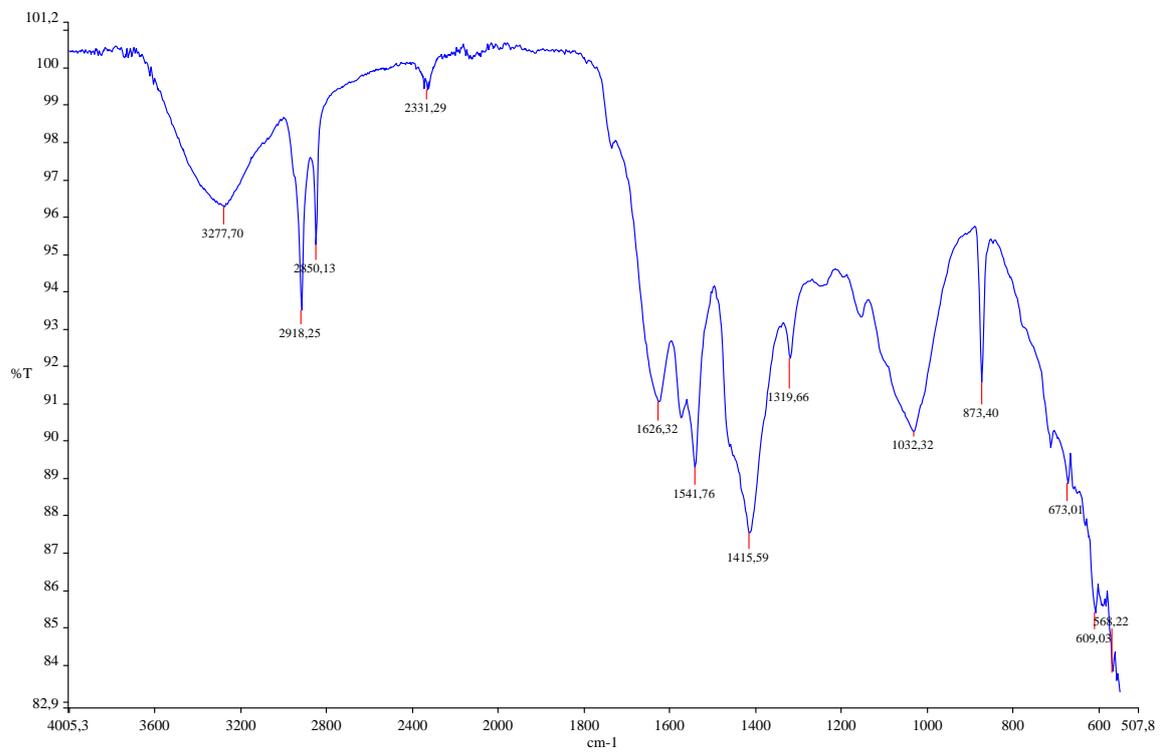
Muestra completa C-6



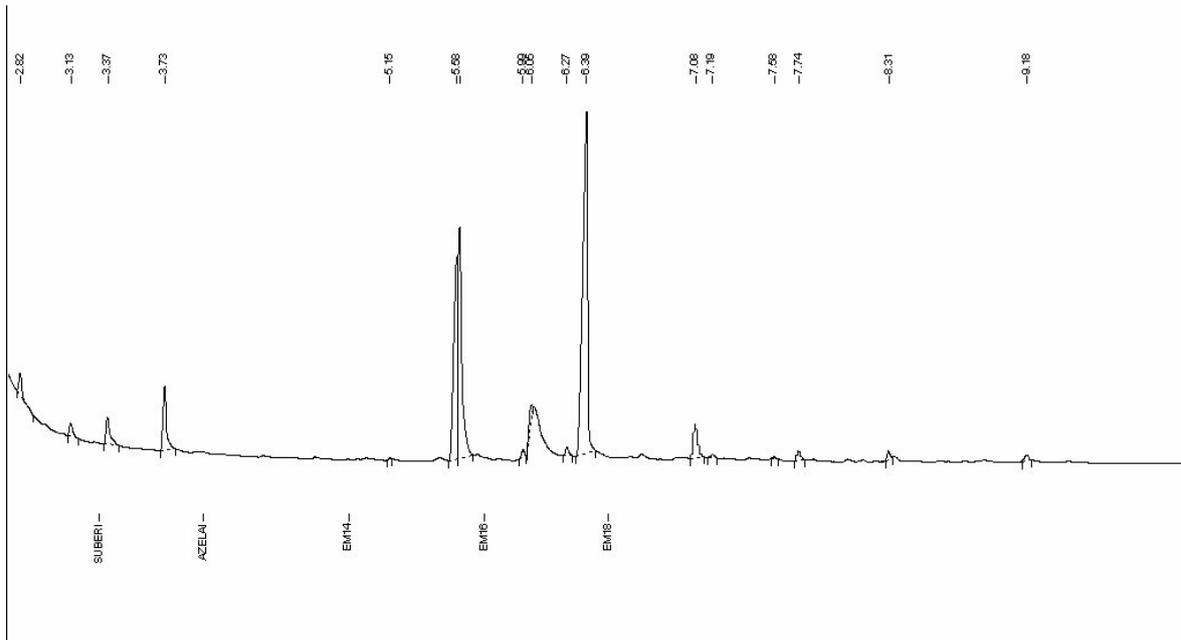
Preparación de la muestra C-7



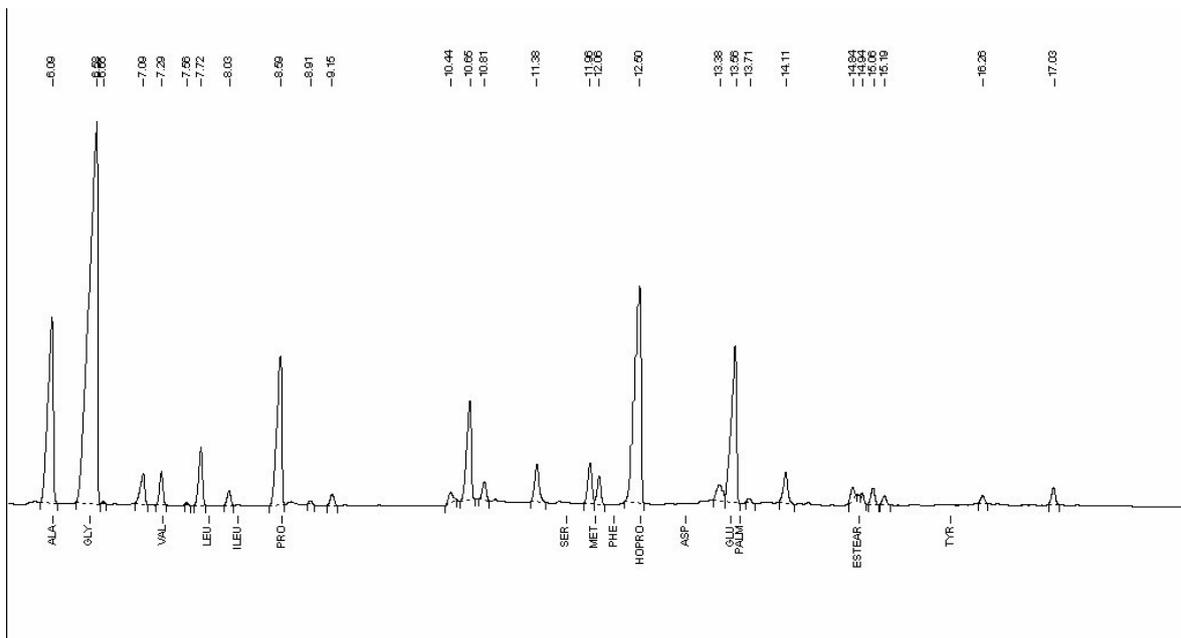
Superficie de la muestra C-7



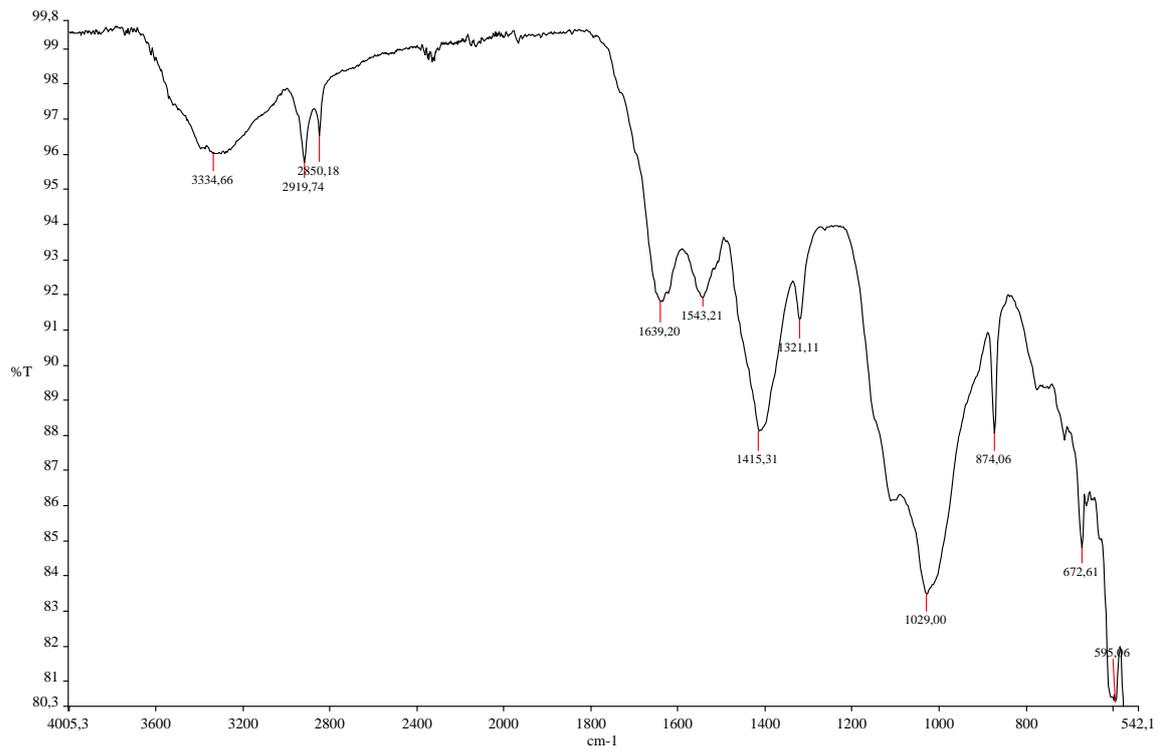
Preparación gris, muestra C-7



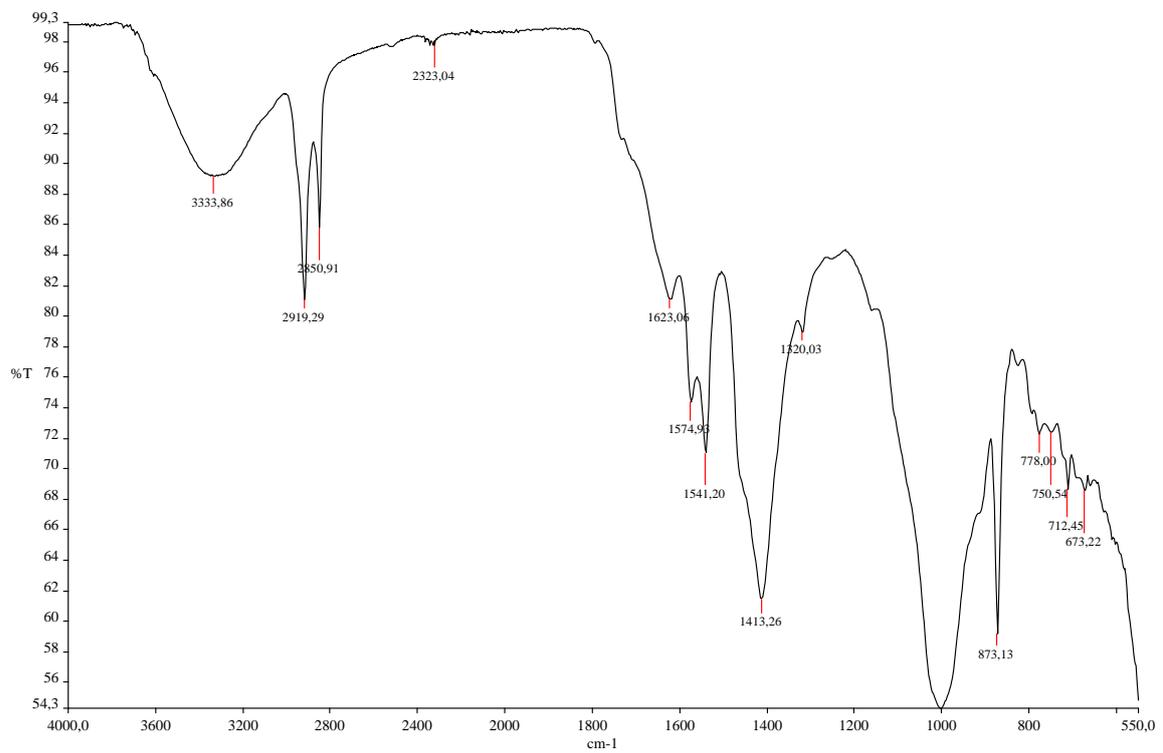
Cromatograma de ácidos grasos de la muestra completa C-7



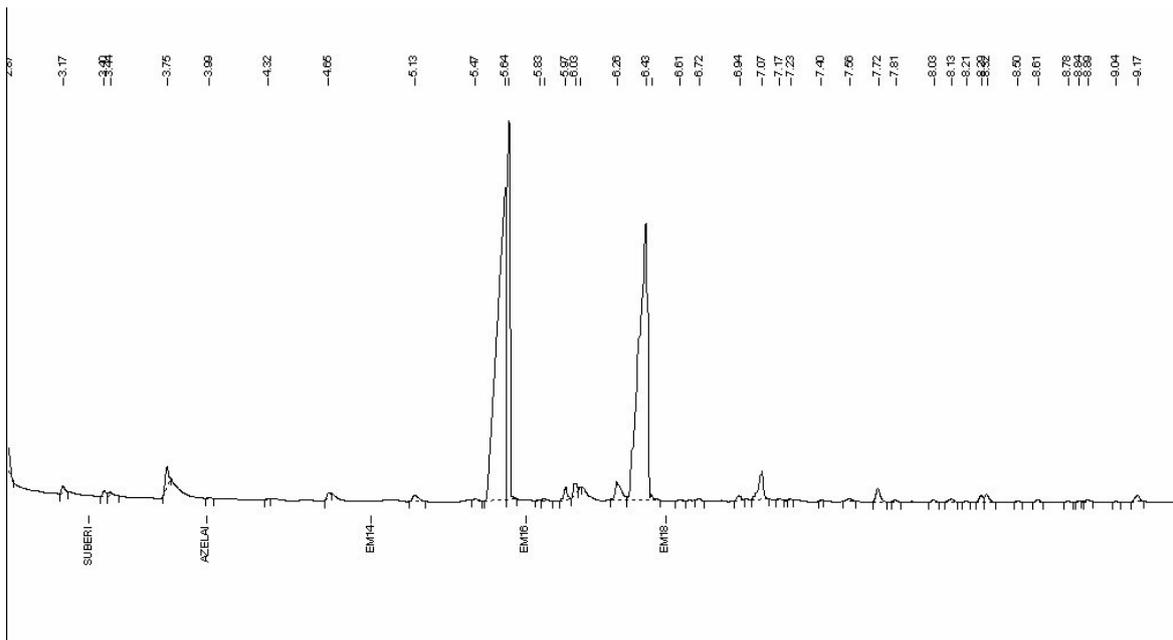
Muestra C-7



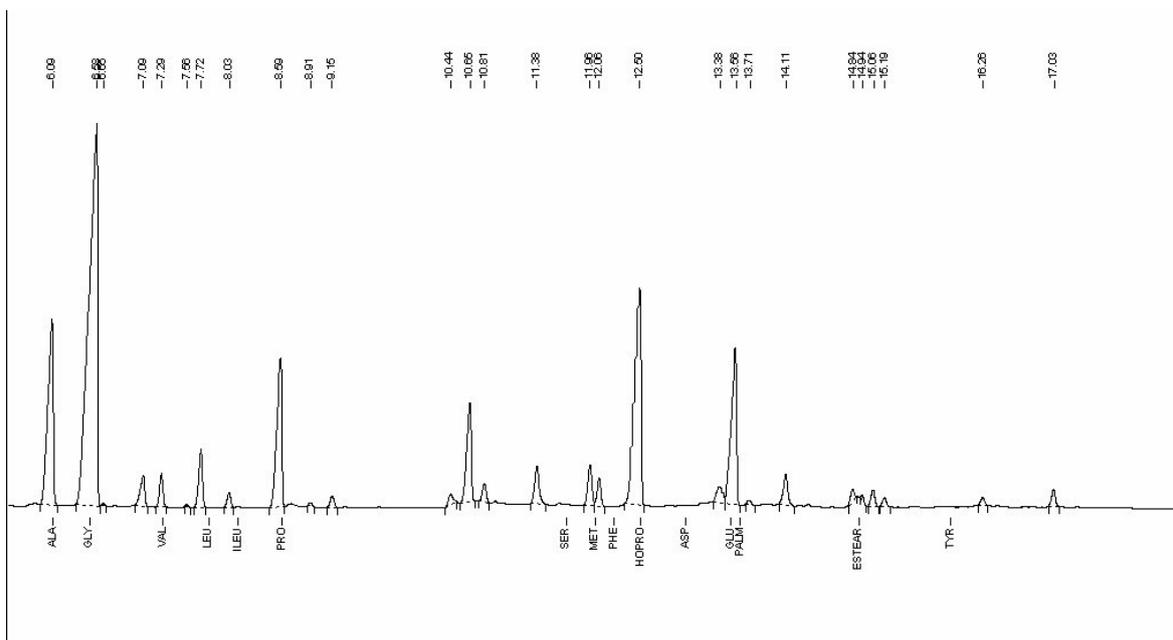
Superficie de la muestra C-8



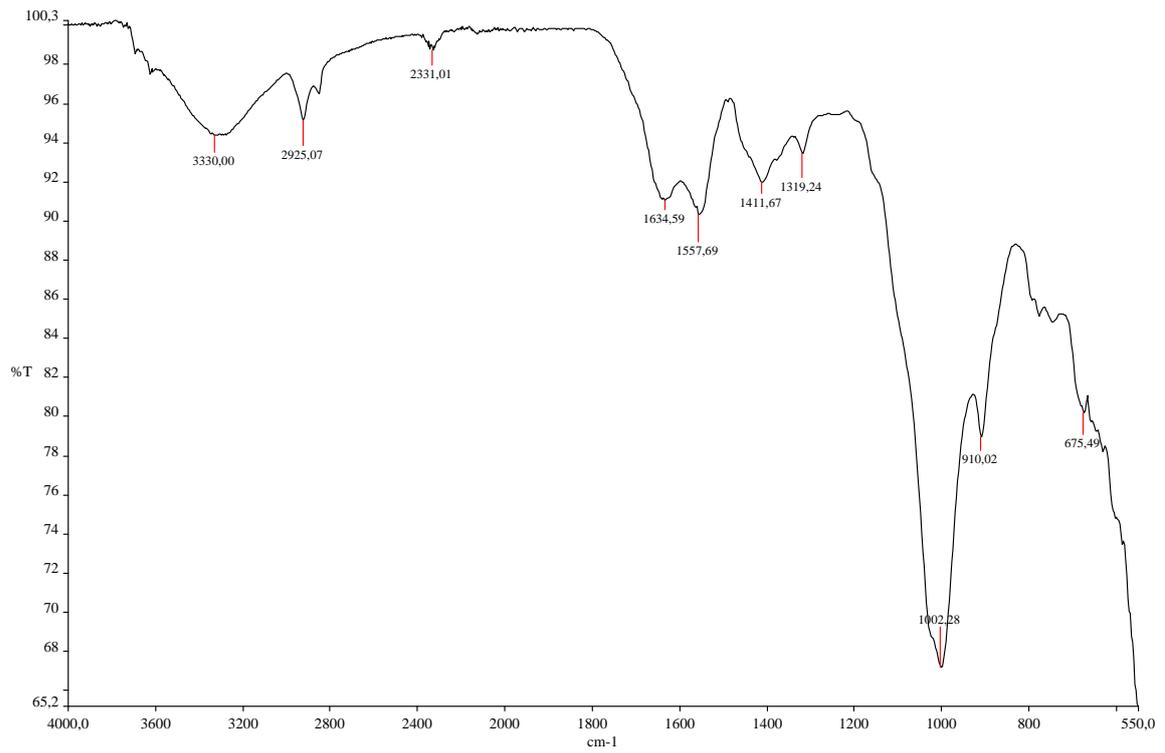
Preparación roja de la muestra C-8



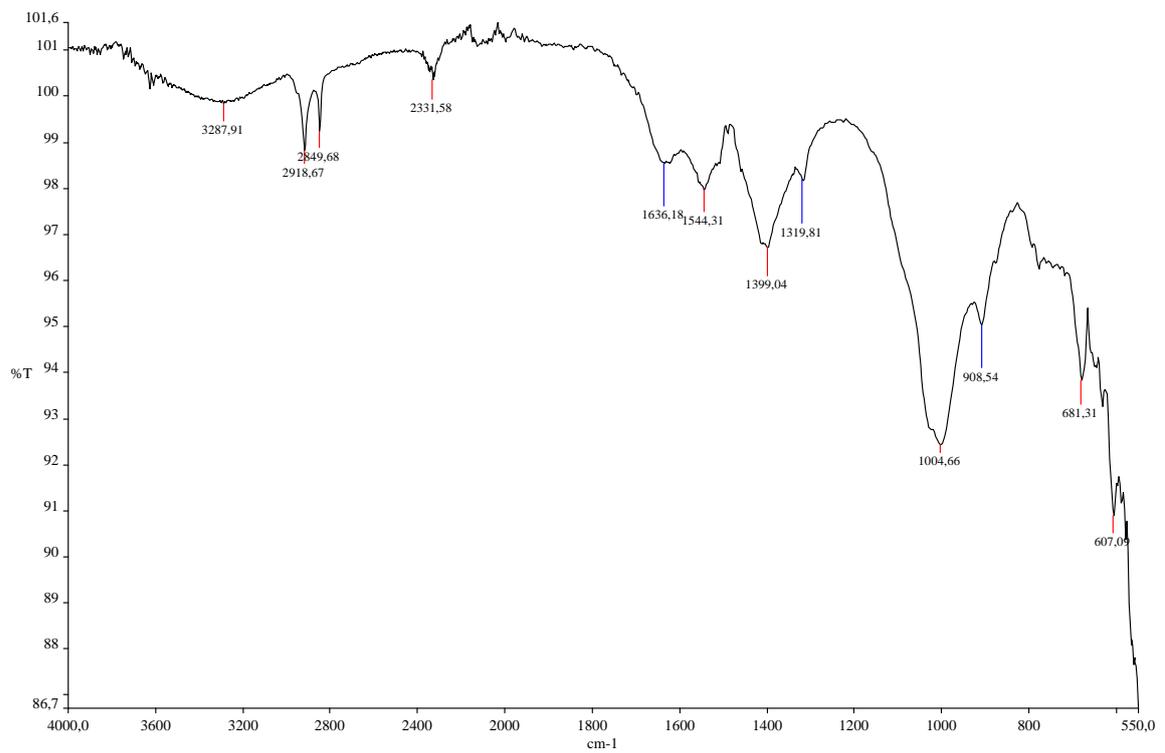
Muestra C-8



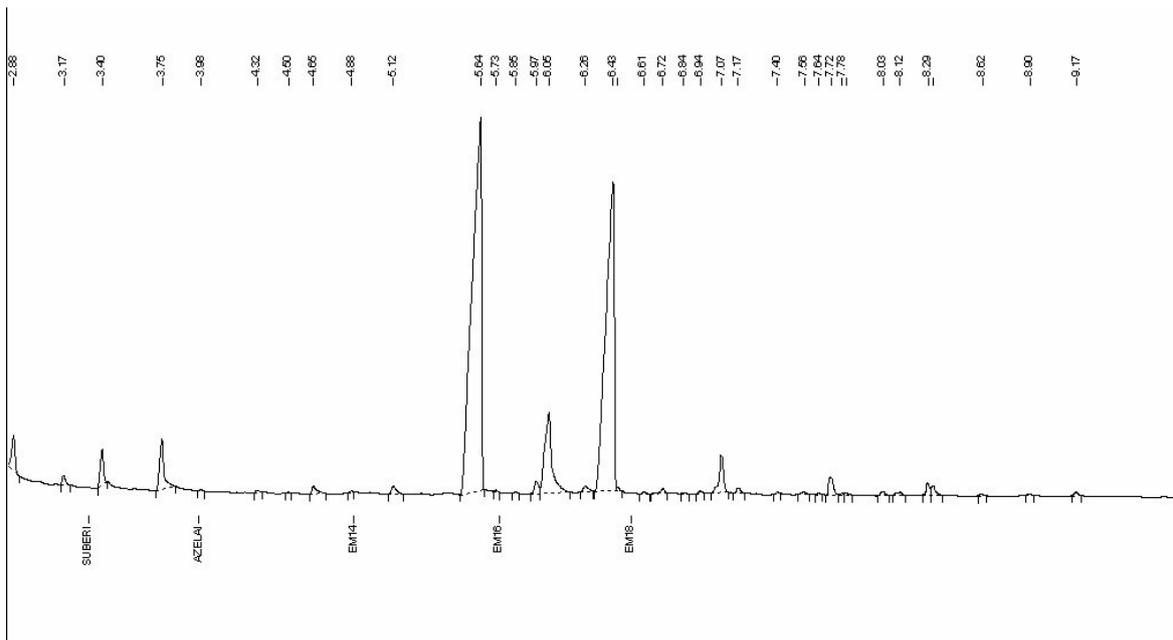
Muestra C-8



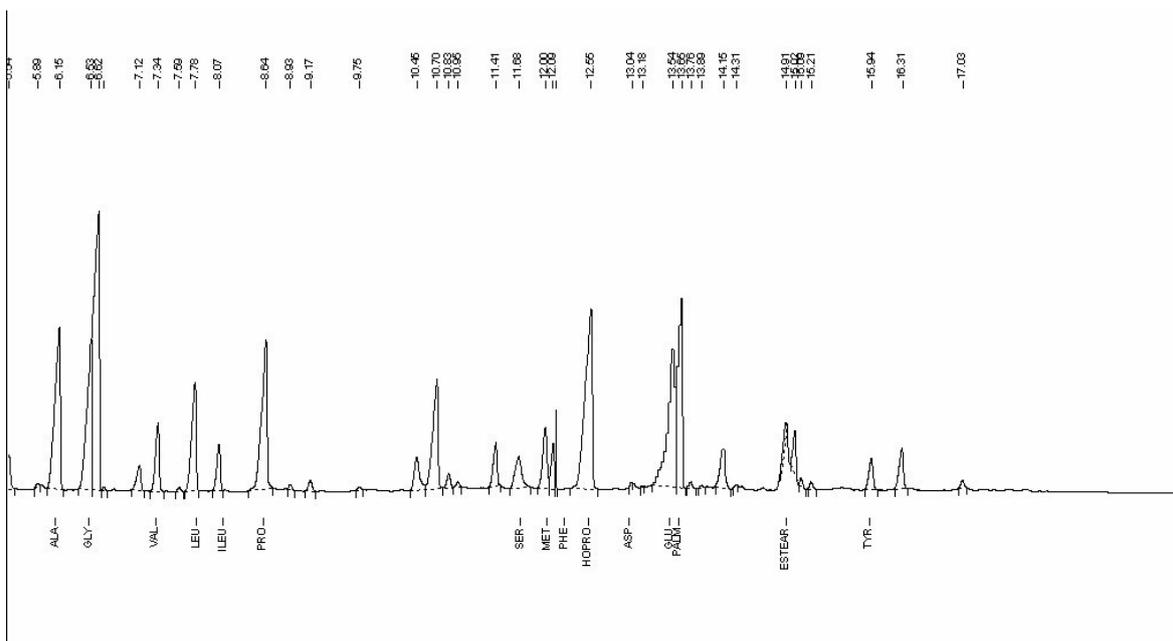
Preparación de la muestra C-9



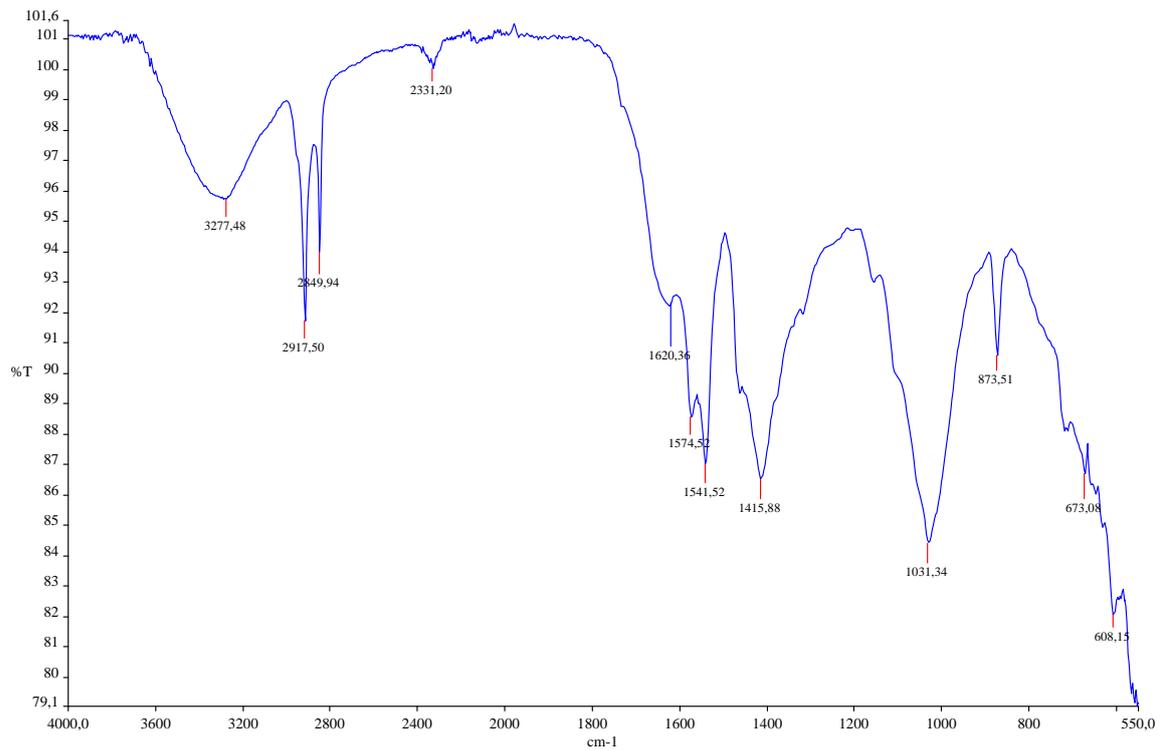
Superficie de la muestra C-9



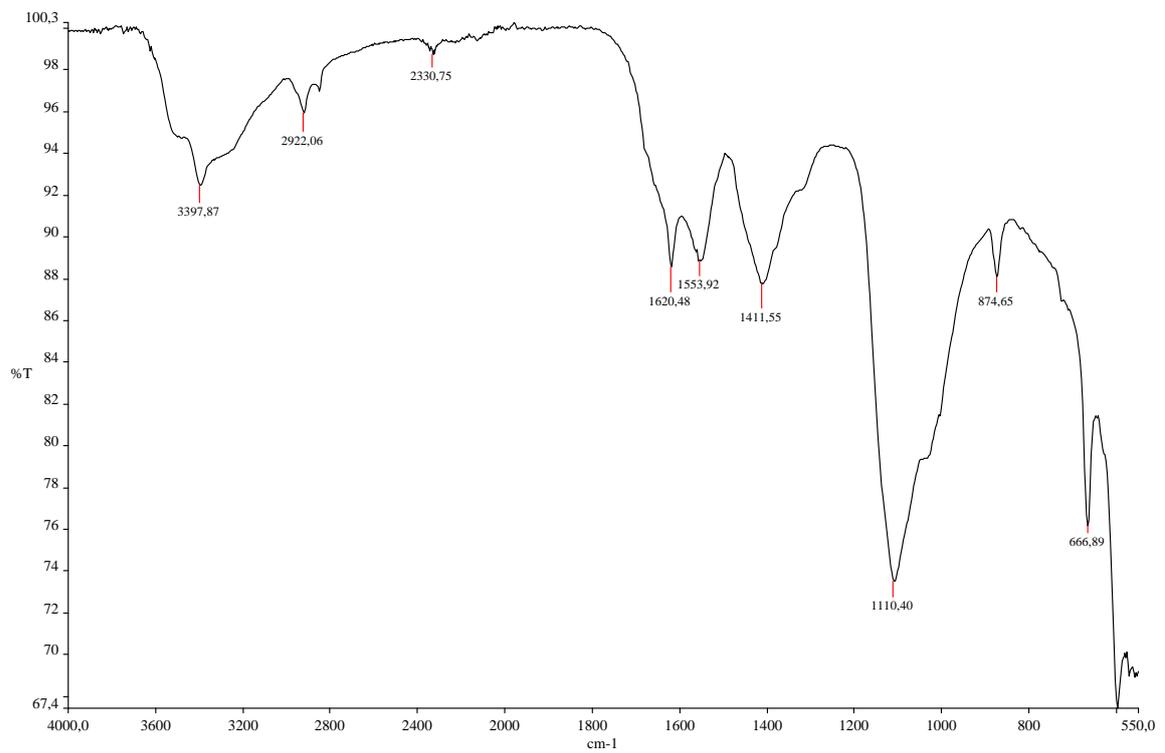
Muestra C-9



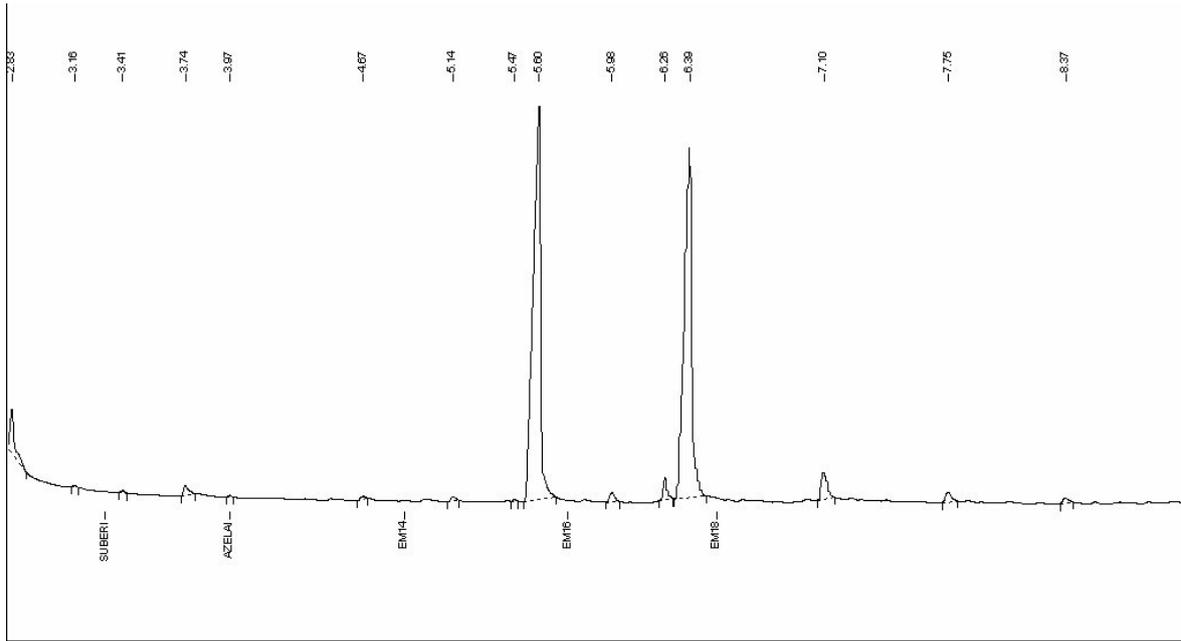
Muestra C-9



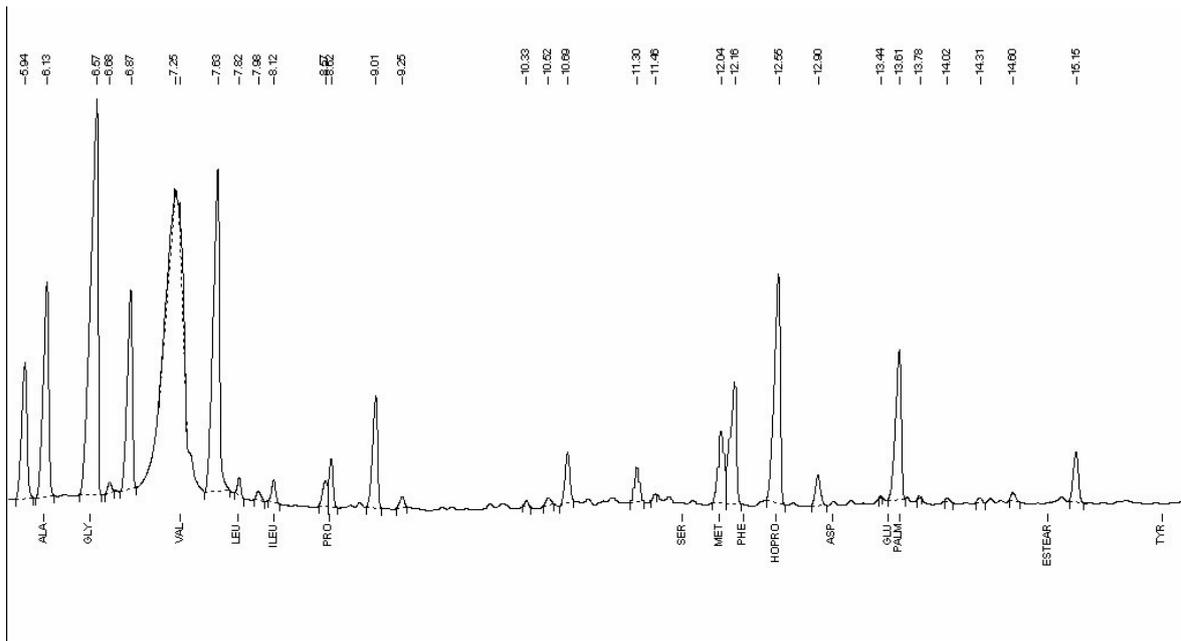
Preparación gris de la muestra C-10



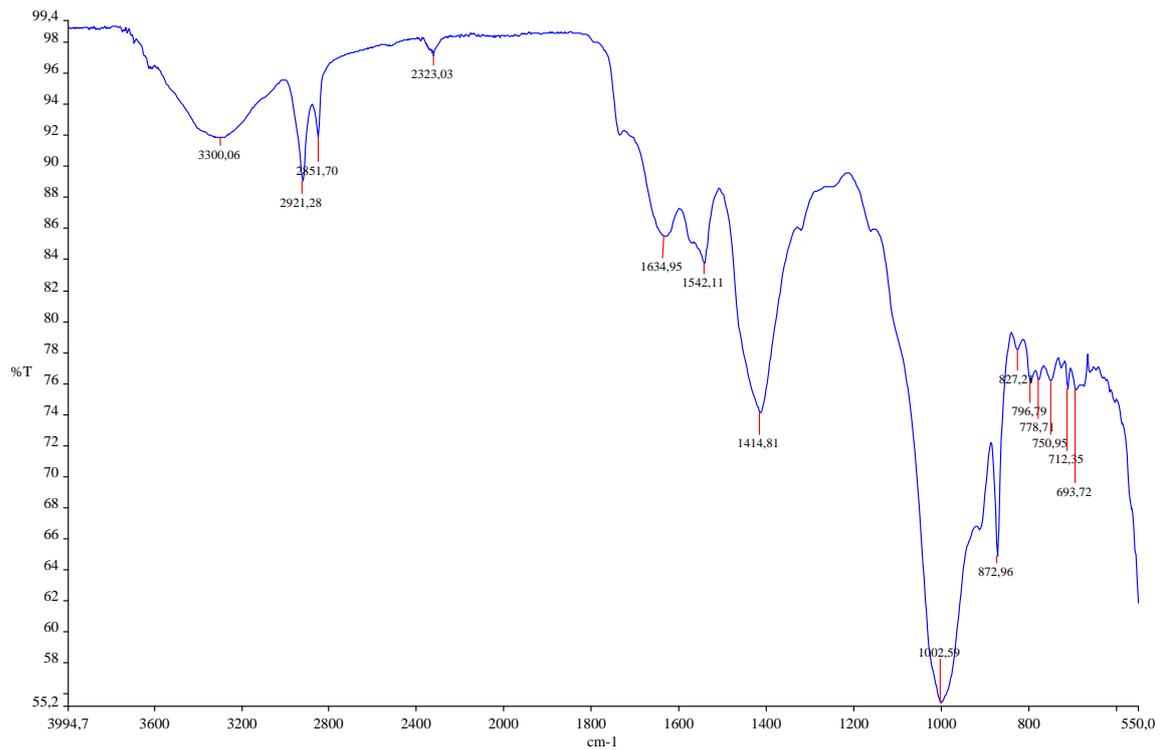
Superficie de la muestra C-10



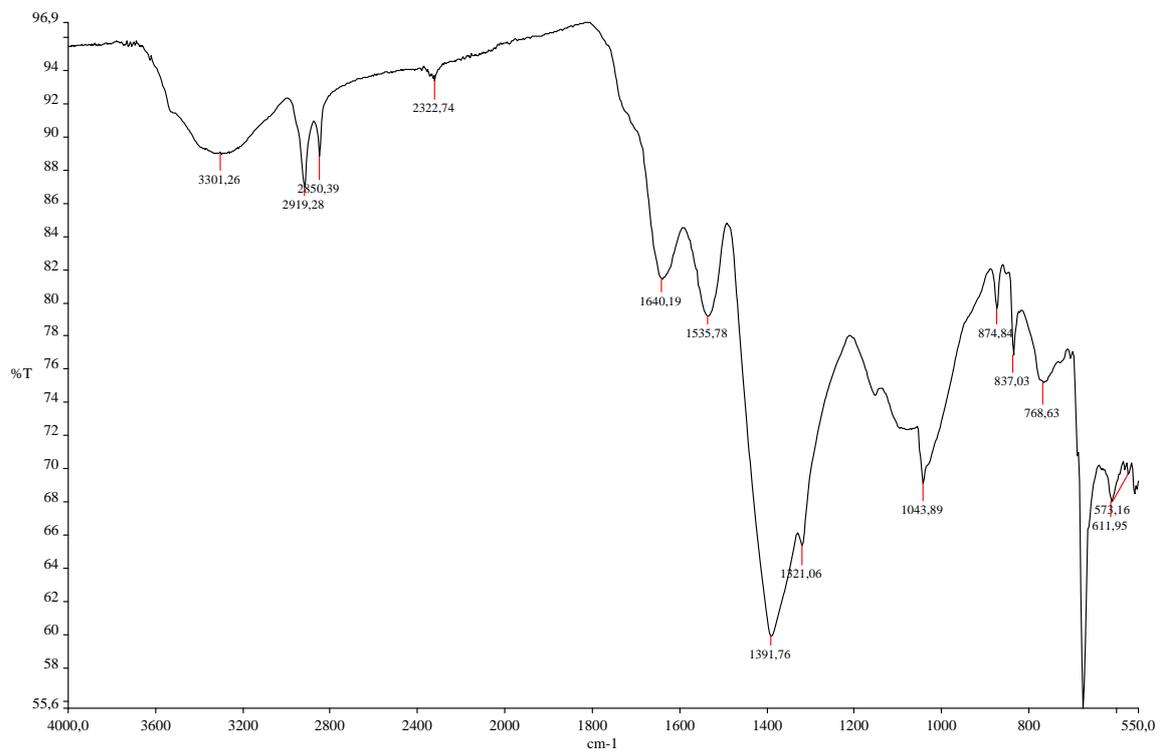
Muestra C-10



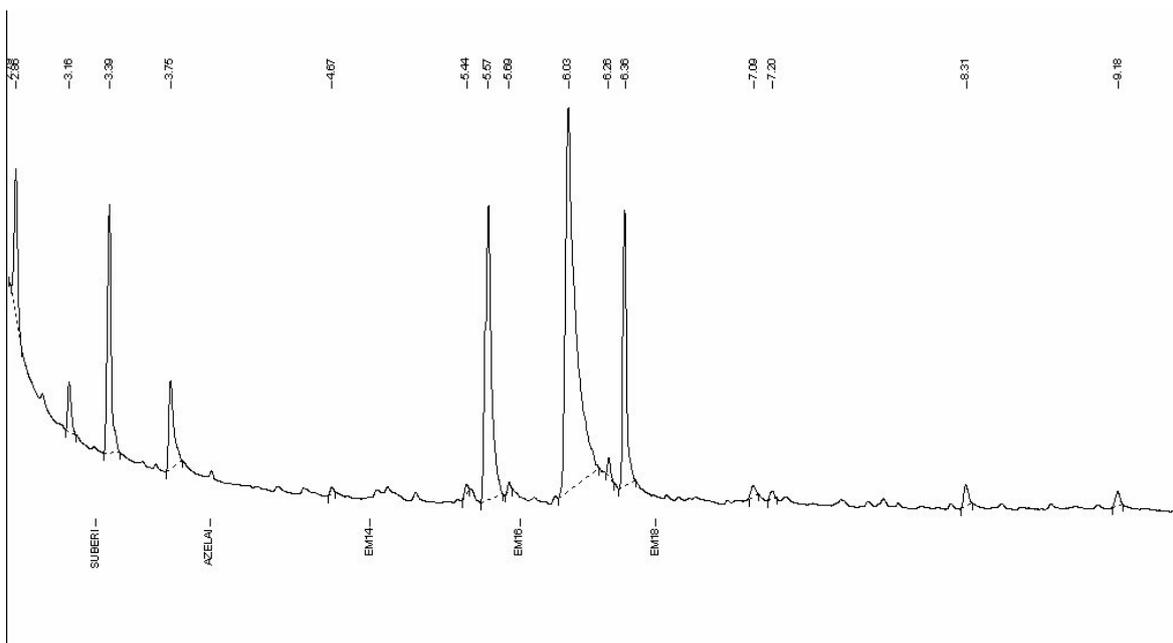
Muestra C-10



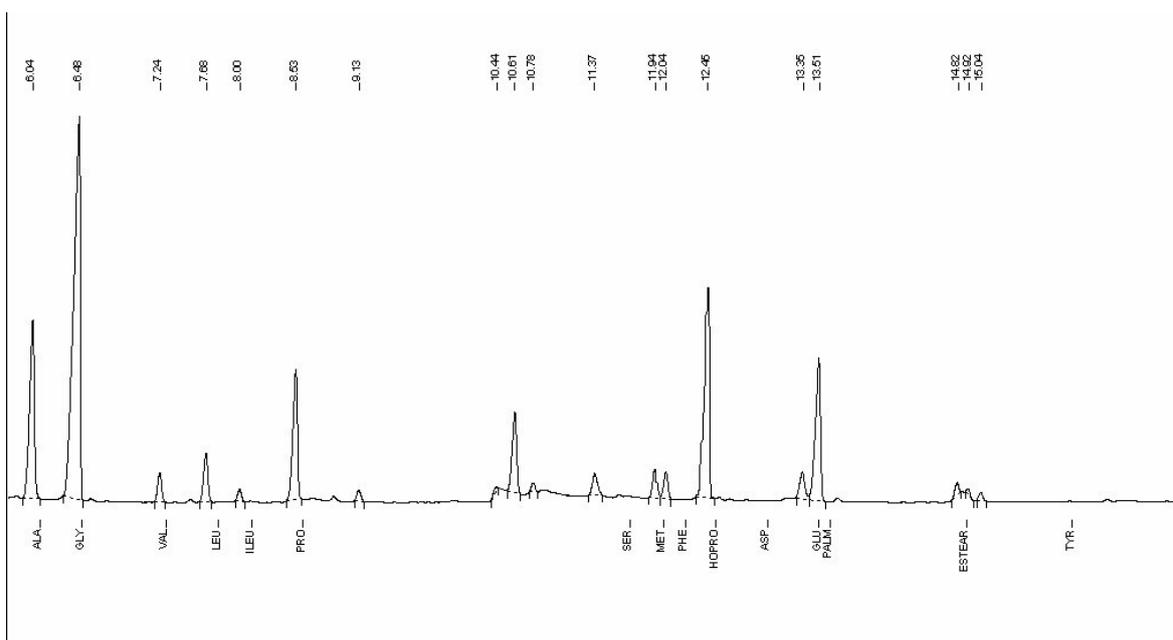
Preparación de la muestra C-11



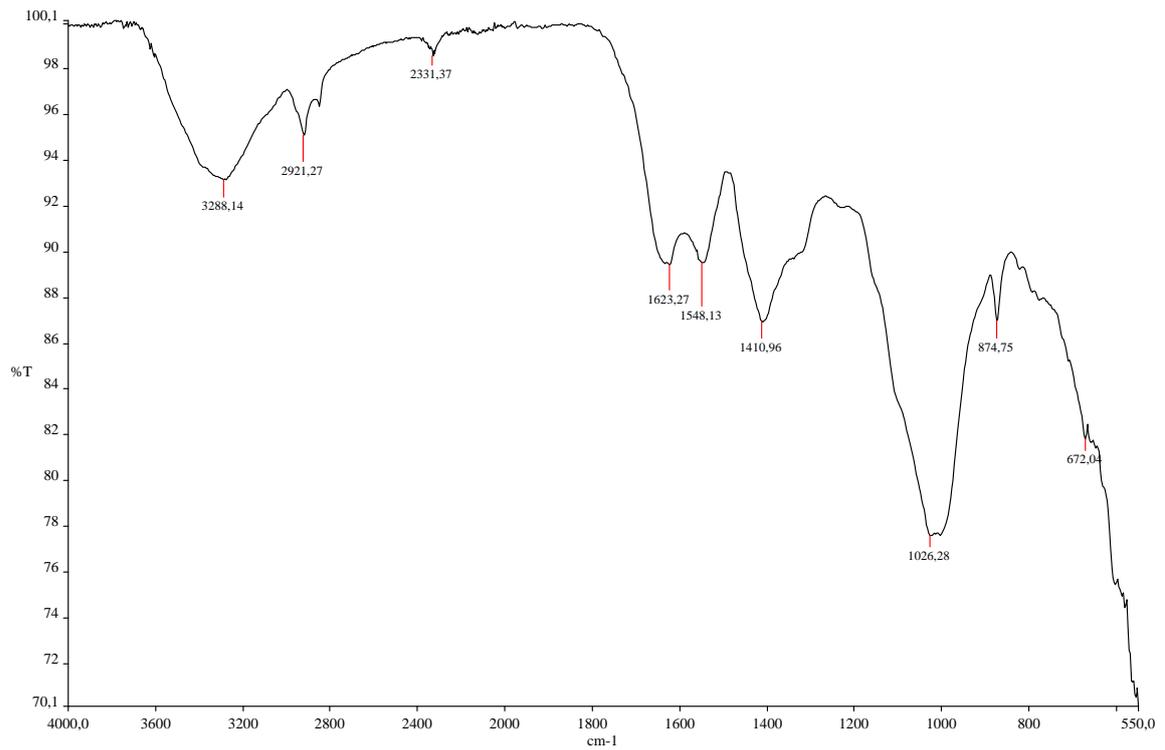
Superficie de la muestra C-11



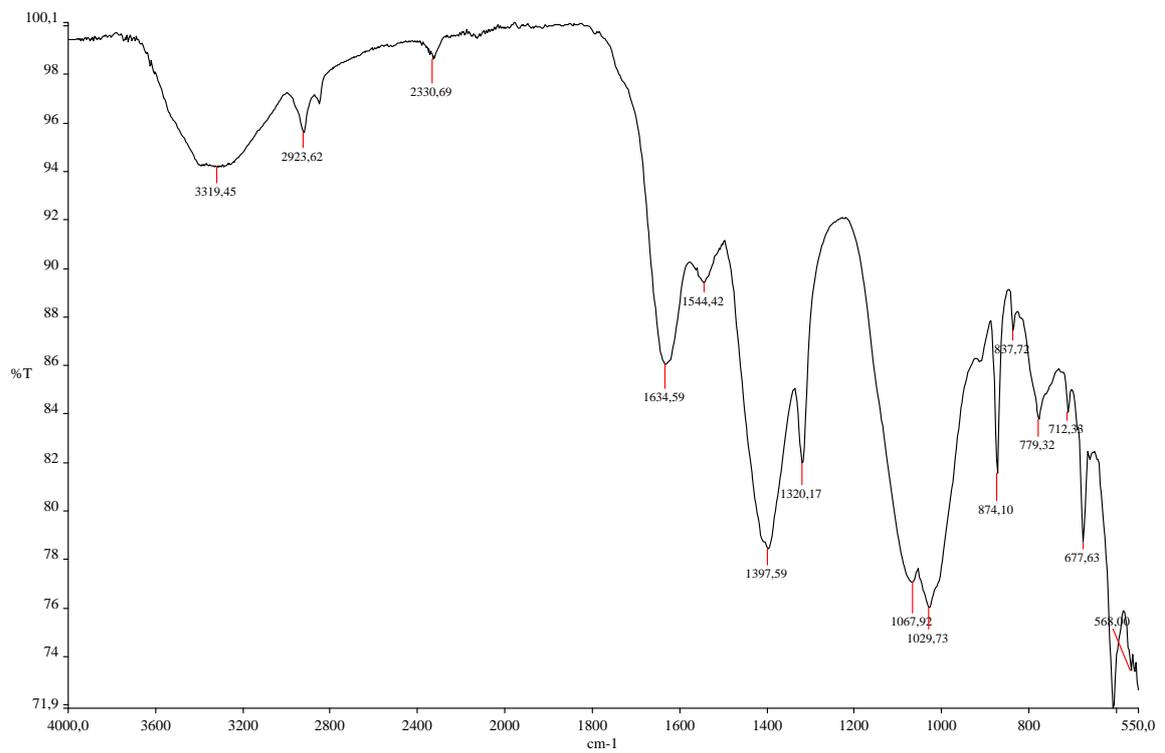
Cromatograma de ácidos grasos de la muestra completa C-11



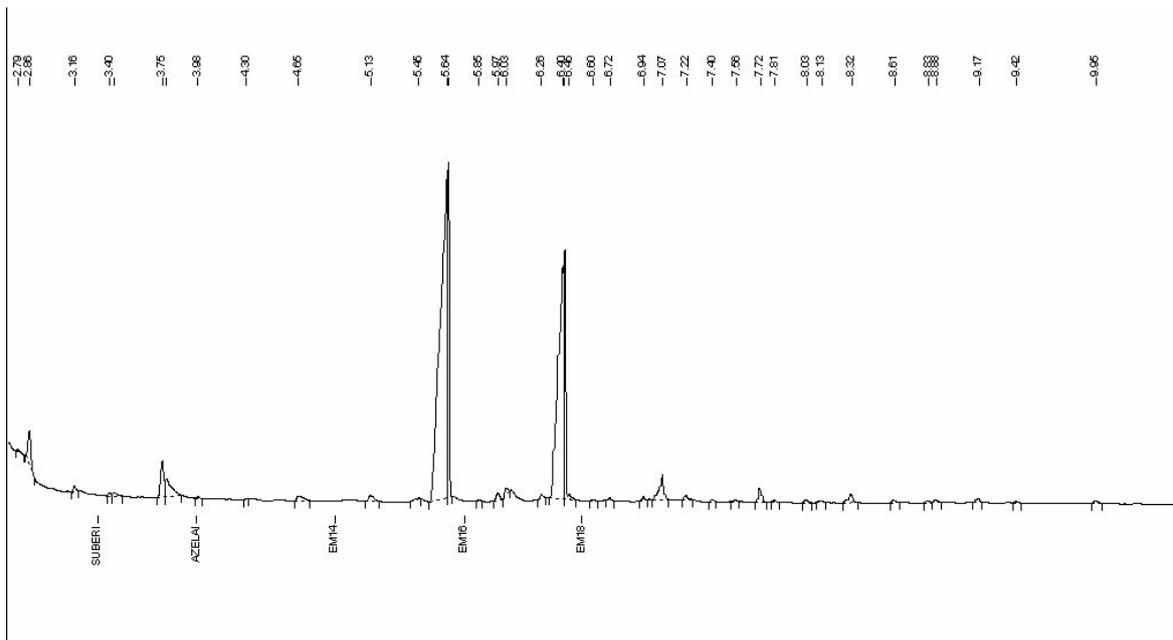
Muestra C-11



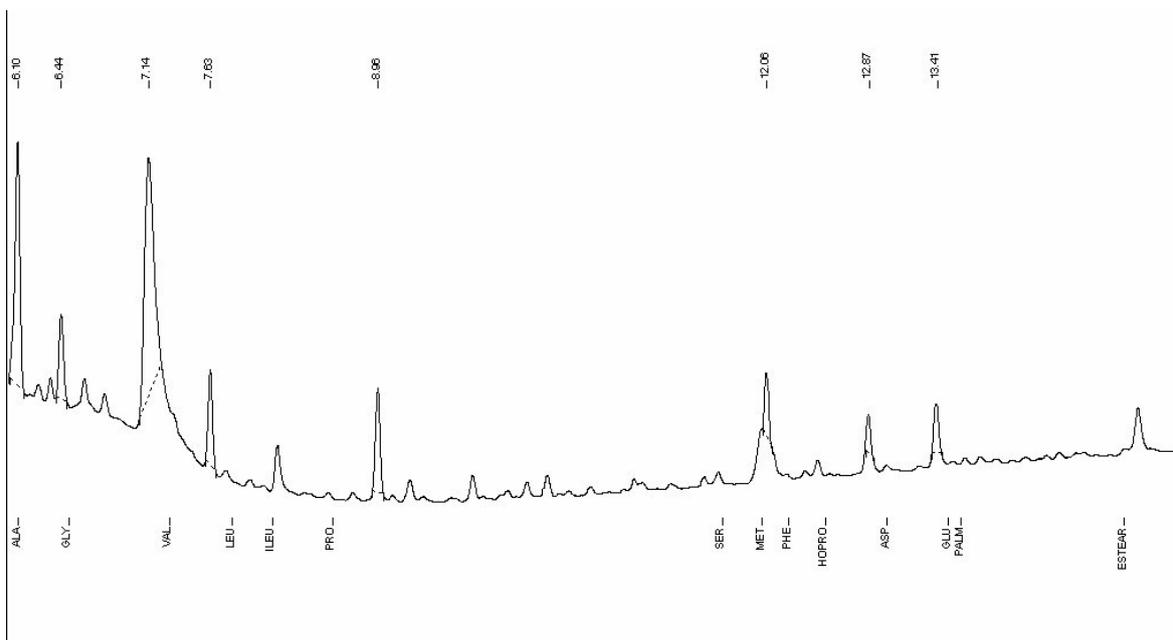
Preparación de la muestra C-12



Superficie de la muestra C-12



Cromatograma de la muestra C-12



Muestra C-12

