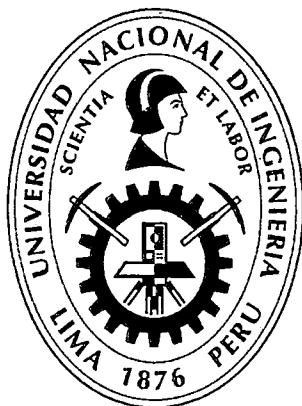


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE FÍSICA



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

LICENCIADA EN FÍSICA

TITULADA:

**ESTUDIO DE ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS DE ENLUCIDOS DE BARRO
CONSOLIDADOS CON MUCÍLAGO DE TUNA, AGAR AGAR Y GELATINA**

PRESENTADA POR:

SHEILA MALPARTIDA TUNCAR

ASESORA:

Dra. SUSANA MARGARITA PETRICK CASAGRANDE

LIMA – PERU

2015

Digitalizado por:

**Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse**

AGRADECIMIENTOS

Mis primeras palabras de agradecimiento son para la Dra. Susana Petrick Casagrande, por haberme propuesto desarrollar este tema como tesis de licenciatura, así como por haberme motivado seguir el camino de la Arqueometría.

Me gustaría agradecer a la directora del Museo de Sitio de Pachacamac, Denise Pozzi-Escot, por la colaboración con el proyecto de investigación, así como a arqueólogos Gianella Pacheco y Gerbert Asencios por habernos ayudado con la extracción de muestras en el Templo Pintado y en el Templo de Sol, respectivamente.

Así mismo me gustaría agradecer al Dr. Arturo Talledo Coronado por la invaluable ayuda en la medición de microdureza Vickers en el Laboratorio de Sputtering de la Facultad de Ciencias.

Un agradecimiento al jefe de los Laboratorios de Física General de la Facultad de Ciencias en el año 2013, por habernos facilitado las instalaciones de los laboratorios para conducir las mediciones de la tasa de abrasión con aire comprimido.

Así mismo, me gustaría agradecer a la asociación Conservando, en especial a la arquitecta Rosanna Kuon Arce, por su colaboración en el préstamo de instrumentos de medición.

Un agradecimiento especial a la arqueóloga Gianella Pacheco por todas las veces que realizó con nosotros el recorrido por el Sitio Arqueológico de Pachacamac, explicándonos a cada paso sobre su fascinante historia.

No quiero olvidarme de agradecer a la Dra. Véronique Wright por la información compartida respecto a los temas de variación de color. Así mismo, un agradecimiento al Sr. Luis Petrick, quién nos ayudó realizando los moldes de facsímiles utilizados en el trabajo.

Toda mi gratitud a mis padres, Alejandro y Magda, por su infinito apoyo.

*Dedicado a mis amados
padres Alejandro y Magda.*

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| Prefacio | 1 |
| Introducción | 2 |
| Capítulo I: el Sitio de Pachacamac | 5 |
| I.1. El sitio arqueológico de Pachacamac | 5 |
| I.2. Problemática del Santuario de Pachacamac | 8 |
| Capítulo II: las muestras | 11 |
| II.1. Las muestras del Templo del Sol | 11 |
| II.1. Las muestras del Templo Pintado | 13 |
| Capítulo III: metodología | 16 |
| Primera parte: determinación de las características texturales de los adobes | 17 |
| III.1. Determinación de las características físicas de los adobes | 17 |
| III.1.1. Análisis textural de los adobes | 17 |
| .1.1. Determinación de las fracciones grava y arena | 18 |
| .1.2. Determinación de las fracciones limo y arcilla | 22 |
| a. Corrección debido al menisco | 24 |
| b. Corrección debido a la temperatura | 25 |
| c. Corrección debido al agente dispersante | 26 |
| d. Corrección por unidad de peso de muestra seca | 26 |
| III.1.2. Determinación de la clase textural | 28 |
| III.1.3. Determinación del límite plástico (LP) | 30 |
| III.1.4. Determinación del contenido de componentes orgánicas | 32 |
| a. Primer protocolo | 32 |
| b. Segundo protocolo | 33 |
| III.1.5. Determinación de la porosidad del adobe | 34 |
| III.1.6. Determinación del contenido de sales solubles | 36 |
| .1.6.1 Recristalización de sales solubles en agua | 36 |
| .1.6.2. Caracterización de sales solubles en agua por espectrometría de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva (EDXRF) | 39 |
| III.1.7. Determinación del contenido de carbonatos | 41 |
| Segunda parte: preparación de los facsímiles | 42 |
| III.2. Preparación de facsímiles | 42 |
| Tercera parte: preparación de los consolidantes | 44 |
| III.3. Los consolidantes | 44 |
| III.3.1. Descripción | 44 |
| a. Acuosa de origen vegetal | 45 |
| b. Proteínas de origen animal | 45 |
| c. Polímeros sintéticos | 46 |
| .1.1. Consolidantes de origen vegetal | 46 |
| a. Agar agar | 46 |
| a.1. Solución de agar agar al 3,7% en P/P | 47 |

| | |
|--|----|
| a.2. Solución de agar agar al 1,2% en P/P | 47 |
| a.3. Solución de agar agar al 0,7% en P/P | 48 |
| b. Mucílago de tuna | 49 |
| b.1. Solución de mucílago de tuna al 46% en P/P | 49 |
| b.2. Solución de mucílago de tuna al 46% en P/P | 50 |
| .1.2. Consolidantes de origen animal | 51 |
| c. Gelatina | 51 |
| c.1. Solución de gelatina al 5% en P/P | 52 |
| c.2. Solución de gelatina al 3% en P/P | 53 |
| .1.3. Consolidante tipo polímero sintético | 53 |
| d. Paraloid B72® | 53 |
| d.1. Solución de Paraloid B72® al 6% en P/P | 54 |
| d.2. Solución de Paraloid B72® al 3,6% en P/P | 55 |
| III.3.2. Aplicación de los consolidantes | 55 |
| Cuarta parte: evaluación de las propiedades físicas del enlucido consolidado | 55 |
| III.4. Test de desprendimiento | 56 |
| III.4.1. Procesamiento de imágenes y conteo | 57 |
| III.5 Medición de dureza | 57 |
| III.5.1. Microdureza Vickers (HV) | 57 |
| .1.1. Preparación del sustrato de vidrio | 59 |
| .1.2 Medición de la microdureza Vickers | 59 |
| III.6. Medición de la profundidad de penetración del consolidante | 60 |
| III.7. Medición de la apariencia en una superficie rugosa | 61 |
| III.7.1. Reflexión especular y difusa | 61 |
| III.7.2. Medición de la reflectancia difusa | 63 |
| III.7.3. Medición de los cambios de la apariencia debido a la luz solar | 64 |
| III.8. Deterioro del sitio arqueológico | 65 |
| III.8.1. Deterioro debido al viento | 66 |
| III.8.2. Medición de la tasa de abrasión debido al viento | 66 |
| a. Inyección de aire comprimido | 67 |
| b. Medición de flujo de aire | 68 |
| c. Recuperación del material desprendido | 69 |
| Capítulo IV: resultados | 70 |
| Primera parte: determinación de las características texturales de los adobes | 71 |
| IV.1. Determinación de las características físicas de los adobes | 71 |
| IV.1.1. Análisis textural de los adobes | 71 |
| .1.1. Determinación de las fracciones grava y arena | 71 |
| .1.2. Determinación de las fracciones limo y arcilla | 79 |
| IV.1.2. Determinación de la clase textural | 80 |
| IV.1.3. Determinación del límite plástico (LP) | 87 |
| IV.1.4. Determinación del contenido de componentes orgánicas | 90 |
| IV.1.5. Determinación de la porosidad del adobe | 91 |
| IV.1.6. Determinación del contenido de sales solubles | 94 |
| .6.1 Recristalización de sales solubles en agua | 94 |
| .6.2. Caracterización de sales solubles en agua por espectrometría de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva (EDXRF) | 96 |
| IV.1.7. Determinación del contenido de carbonatos | 97 |

| | |
|--|-----|
| Segunda parte: preparación de los facsímiles | 99 |
| IV.2. Preparación de facsímiles | 99 |
| Tercera parte: preparación de los consolidantes | 100 |
| IV.3.1. Los consolidantes | 100 |
| .1.1. Consolidantes de origen vegetal | 100 |
| a. Agar agar | 100 |
| b. Mucílago de tuna | 101 |
| .1.2. Consolidantes de origen animal | 102 |
| c. Gelatina | 102 |
| .1.3. Consolidante tipo polímero sintético | 102 |
| d. Paraloid B72® | 102 |
| IV.3.2. Aplicación de los consolidantes | 102 |
| .2.1. Consolidantes de origen vegetal | 103 |
| a. Agar agar | 103 |
| b. Mucílago de tuna | 103 |
| .2.2. Consolidantes de origen animal | 104 |
| c. Gelatina | 104 |
| .2.3. Consolidante tipo polímero sintético | 104 |
| d. Paraloid B72® | 104 |
| Cuarta parte: evaluación de las propiedades físicas del enlucido consolidado | 105 |
| IV.4. Test de desprendimiento | 105 |
| IV.4.1. consolidantes de origen vegetal | 105 |
| a. Agar agar | 105 |
| b. Mucílago de tuna | 111 |
| IV.4.2. Consolidantes de origen animal | 116 |
| c. Gelatina | 116 |
| IV.4.3. Consolidante tipo polímero sintético | 120 |
| d. Paraloid B72® | 120 |
| IV.5 Medición de dureza | 125 |
| IV.5.1. Medición de la microdureza Vickers (HV) | 125 |
| a. Solución de gelatina 5% | 126 |
| b. Solución de agar agar al 0,7% y 1,2% | 126 |
| c. Solución de mucílago de tuna 46% (b1) y 46% (b2) | 127 |
| d. Solución de Paraloid B72® al 3,6% y 6% | 128 |
| e. Lámina portaobjeto sin consolidante | 128 |
| IV.6. Medición de la profundidad de penetración del consolidante | 130 |
| IV.6.1. Consolidantes de origen vegetal | 130 |
| a. Solución de agar agar al 1;2% | 130 |
| b. Solución de mucílago de tuna al 46%(b1) | 131 |
| IV.6.2. Consolidantes de origen animal | 131 |
| c. Solución de gelatina al 5% | 131 |
| IV.6.3. Consolidante tipo polímero sintético | 132 |
| d. Solución de Paraloid B72® al 3,6% | 132 |
| e. Solución de Paraloid B72® al 6% | 132 |
| IV.7. Medición de la apariencia en una superficie rugosa | 133 |
| IV.7.1. Medición del cambio en la apariencia en el enlucido consolidado | 133 |
| .1.1. Consolidantes de origen vegetal | 133 |
| a. Soluciones de agar agar al 0,7% y al 1;2% | 133 |

| | |
|--|-----|
| b. Soluciones de mucílago de tuna al 46%(b1) y al 46% (b2) | 134 |
| .1.2. Consolidantes de origen animal | 135 |
| c. Soluciones de gelatina al 5% y al 3% | 135 |
| .1.3. Consolidante tipo polímero sintético | 136 |
| d. Soluciones de Paraloid B72 [®] al 3,6% y al 6% | 136 |
| IV.7.2. Medición de los cambios en la apariencia debido a la luz solar | 137 |
| .2.1. Consolidantes de origen vegetal | 138 |
| a. Soluciones de agar agar al 0,7% y al 1;2% | 138 |
| b. Soluciones de mucílago de tuna al 46%(b1) y al 46% (b2) | 138 |
| .2.2. Consolidantes de origen animal | 139 |
| c. Soluciones de gelatina al 3% y al 5% | 139 |
| .2.3. Consolidante tipo polímero sintético | 140 |
| d. Soluciones de Paraloid B72 [®] al 3,6% y al 6% | 140 |
| IV.8. Medición de la tasa de abrasión | 141 |
| IV.8.1. Enlucido sin consolidante | 142 |
| IV.8.2. Consolidantes de origen vegetal | 143 |
| a. Solución de agar agar | 143 |
| b. Solución de mucílago de tuna | 144 |
| IV.8.3. Consolidantes de origen animal | 145 |
| c. Solución de gelatina | 145 |
| IV.8.4 Consolidante tipo polímero sintético | 147 |
| d. Solución de Paraloid B72 [®] | 147 |
| Capítulo V: conclusiones | 149 |
| Capítulo VI: perspectivas de futuros trabajos | 158 |
| Bibliografía. | 160 |

PREFACIO

La presente tesis está inscrita dentro del marco del proyecto de investigación “*Caracterización de materiales constructivos de los templos del Sitio Arqueológico de Pachacamac*” presentado en el año 2012 ante el Instituto de Investigación de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería, además de contar con la colaboración del Museo de Sitio de Pachacamac.

El trabajo realizado da cuenta de los resultados obtenidos en el estudio de la mejora de algunas propiedades físicas de enlucidos consolidados con soluciones de agar agar, mucílago de tuna y gelatina. La elección de estos materiales como consolidantes obedece a la búsqueda de nuevas alternativas para un uso en conservación de adobes y enlucidos en el Sitio Arqueológico de Pachacamac.

El uso de soluciones de gelatina y mucílago de tuna como consolidantes ha sido ampliamente investigado y existen publicaciones científicas nacionales e internacionales que dan cuenta de resultados prometedores. Sin embargo, no es el caso del agar agar; la utilización de éste en conservación no está muy difundida, ni investigada. Este hecho ha representado una dificultad al momento de establecer las concentraciones de las soluciones a emplear. En este trabajo proponemos tener como referencia la concentración utilizada en la solución de gelatina, dado que ambas presentan similitudes al momento de solidificar, a pesar de tener diferente origen.

En adición a estos tres materiales, hemos trabajado también con Paraloid B72[®], consolidante ampliamente usado en conservación de bienes culturales. Esta elección ha sido con el fin de comparar las propiedades entre los enlucidos consolidados con los materiales llamados *alternativos* y los enlucidos consolidados con paraloid B72[®].

INTRODUCCIÓN

Los sitios arqueológicos, en los que se pueden encontrar estructuras monumentales están expuestos a una serie de factores que afectan su integridad, provocando la degradación de sus elementos estructurales, así como desprendimientos de capas pictóricas y de enlucidos. El deterioro es inevitable, ya sea por paso del tiempo, por factores físicos, químicos, biológicos e incluso por acción antrópica.

Ante esta problemática, la investigación en conservación ha venido desarrollando herramientas con la misión de retrasar el deterioro en los sitios arqueológicos; para ello ha sido necesario implementar nuevas técnicas y materiales que ayuden a cumplir el objetivo, teniendo en cuenta los principios y fundamentos en la conservación de monumentos arqueológicos, propuestos por expertos provenientes de organismos como ICOMOS (Consejo Internacional de Monumentos y Sitios) e ICCROM (Centro Internacional de Estudios para la Conservación y la Restauración de los Bienes Culturales). Entre estas herramientas, se considera que el tratamiento realizado sobre el bien cultural no debe alterar su apariencia, el tratamiento debe ser reversible y las zonas consolidadas puedan ser tratadas nuevamente. Desde luego que estas condiciones no siempre son fáciles de cumplir, ya que muchas veces la solución que se utilice para el tratamiento *i.e.* consolidante, cumple algunas de estas condiciones, pero no todas.

Este es el caso del Paraloid B72[®]. Este polímero acrílico ha sido ampliamente utilizado por los conservadores de bienes culturales. Una de las ventajas de esta solución es que permite mejorar notablemente la adhesión de las superficies desprendidas, sin embargo provoca un cambio en la apariencia de la zona tratada.

Podemos mencionar dos casos en los que se reportan dichas alteraciones. Primero podemos citar el trabajo realizado por Wright (2007), quien realizó mediciones colorimétricas, sobre relieves del Personaje Mayor I de la Huaca de la Luna, tratadas el año 2003 con Paraloid B72[®]. Sus resultados demostraron variaciones en la apariencia del color, con tendencia a presentar un amarillamiento bastante perceptible a ojo desnudo. También podemos citar los trabajos realizados por Morales y Torres en 1995, quienes condujeron una evaluación de diversos materiales utilizados en conservación. Este consistió en consolidar diversas partes de un muro de pruebas, en la Huaca de la Luna.

Entre estos materiales estudiados se encuentran dos soluciones de Paraloid B72® al 2% y 5%. Al cabo de cinco años de investigaciones observaron que las zonas tratadas presentaron un cambio en los colores, siendo ésto medido con una escala Munsell. Complementario a esto, concluyeron que las zonas tratadas presentaron una buena fijación, ya que no se desprendió material al frotar y roda un hisopo seco y no hubo desprendimiento por erosión causada por la lluvia de la región.

Los ejemplos mencionados en el párrafo anterior no son los únicos. Hay muchos otros ejemplos de cómo el Paraloid B72® termina alterando la apariencia final de la zona tratada. Con estos antecedentes, ha sido imperativo investigar la utilización de nuevos consolidantes de origen orgánico, soluciones que llamaremos *alternativas*. Este ha sido el caso del mucílago de tuna (*Opuntia Tuna*).

Otro material utilizado por Morales y Torres (1995) en el muro de pruebas en la Huaca de la Luna, fueron dos soluciones de mucílago de tuna al 2% y al 5%. Sus resultados mostraron que se produjo desprendimiento de la capa pictórica consolidada al rodar y al frotar un hisopo seco, así mismo se registró un evidente cambio de color, medido con escala Munsell; además se registró una completa pérdida de la capa consolidada debido a la erosión causada por la lluvia. También podemos mencionar el estudio realizado por Hoyle (1990) en el Complejo Arqueológico de Chan Chan, en donde emplearon mucílago de tuna al 5% como consolidante de superficies y manufactura de mortero. Sus evaluaciones concluyeron que las zonas tratadas tuvieron una mejora notable en la readherencia de las superficies y una buena resistencia a la abrasión eólica; además permitió la retratabilidad de las zonas trabajadas. Respecto al cambio de apariencia, Hoyle da cuenta que, inicialmente se observó una alteración en el color de las zonas tratadas, sin embargo éstas regresaron a su tono inicial.

Otra sustancia alternativa estudiada es la gelatina natural de uso comercial. Al respecto podemos mencionar los trabajos de investigación realizados a lo largo de más de diez años en el Parque Nacional Mesa Verde (Estados Unidos), tal como se puede leer en las tesis de Carr (2002), Ferron (2007) y Aloiz (2011). Los tratamientos realizaros fueron en diversas zonas del Parque, empleando soluciones de gelatina al 5%, 3% y 2,5%. Entre los resultados que se reportaron, podemos mencionar que se registró la mejora en la

fijación de las superficies tratadas, aunque se produjo un cambio en la apariencia final de las superficies, siendo estas medidas con la escala Munsell.

Además de las sustancias alternativas mencionadas en los párrafos anteriores, también podemos citar los trabajos de readherencia con solución de almidón de arroz, en el Templo Pintado en el Sitio Arqueológico de Pachacamac y las pruebas sobre enlucidos de adobe, con consolidante obtenido a partir de una solución del tallo de la planta de plátano (Vargas). Finalmente, podemos mencionar una sustancia extraída de las algas marinas, el agar agar, cuyas características son similares a la gelatina de origen animal. El agar agar presenta un gran potencial para ser empleado como un consolidante alternativo, por lo tanto es de nuestro interés conducir las primeras pruebas sobre enlucidos, ya que no hemos encontrado publicaciones realizadas con esta sustancia.

Con todos estos antecedentes mencionados planteamos como objetivo general investigar el empleo de los consolidantes alternativos, tal como mucílago de tuna, gelatina y agar agar, sobre los enlucidos del Templo Pintado y del Templo del Sol. Las acciones a desarrollar para cumplir con el objetivo mencionado serán conocer las características texturales de las muestras extraídas del Templo Pintado, preparar las soluciones consolidantes de mucilago de tuna, gelatina y agar agar; además de soluciones de Paraloid B72®, medir algunas propiedades físicas tales como dureza de las soluciones, profundidad de penetración de los consolidantes, variación de la apariencia de los enlucidos y tasa de abrasión por aire comprimido. Finalmente; comparar todos los resultados obtenidos entre las sustancias alternativas y el Paraloid B72®.

CAPÍTULO I: EL SITIO DE PACHACAMAC

1.1. El sitio arqueológico de Pachacamac

El sitio arqueológico de Pachacamac comprende un área de 465 hectáreas y se encuentra ubicado sobre la margen derecha del río Lurín (figura 1). Fue el centro religioso más importante de la costa central, hasta el lugar venían en peregrinaje los antiguos pobladores, quiénes traían consigo ofrendas para el dios Pachacamac. El santuario alberga alrededor de 50 edificios prehispánicos (Pozzi-Escot, Chávez *et al*, 2011).

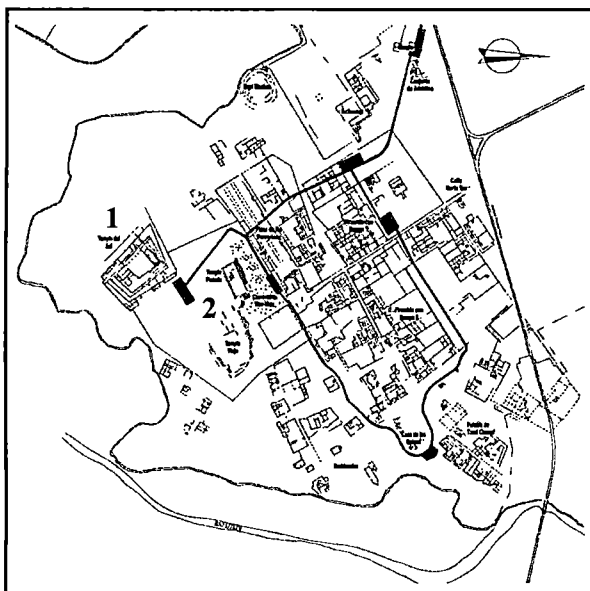
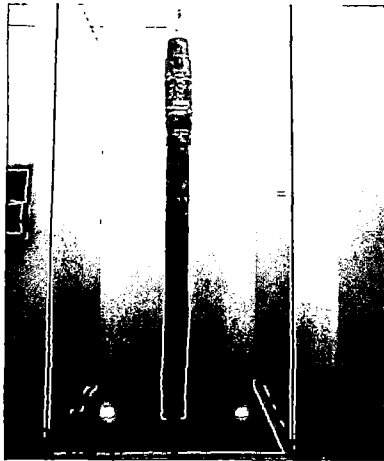


Figura 1: plano del santuario de Pachacamac. (1) Templo del Sol, (2) Templo Pintado. Fuente: pachacamac.cultura.pe, consultado el 20/05/2014.

Pachacamac significa “*hacedor del mundo*” (Pozzi – Escot, Chávez *et al*, 2011) y está representado en una talla de madera (fotografía 1.1a), en cuyo extremo superior se puede distinguir un personaje tallado en los lados opuestos (fotografía 1.1b).

El santuario de Pachacamac mantuvo una ocupación a lo largo de 1500 años aproximadamente, se estima que la cronología y las culturas que la ocuparon fueron Lima (200 d.C. hasta 600 d.C.), Wari (600 d.C. – 1100 d.C.), Ychma (1100 d.C. 1470 d.C.) e Inca (1470 d.C. – 1533 d.C.). Finalmente en 1 533 Pachacamac fue saqueado por los españoles invasores, al mando de Hernando Pizarro, quiénes aún mantuvieron la ocupación del sitio hasta que éste fue completamente abandonado, sin tener datos exactos de este último evento (Pozzi – Escot, Chávez *et al*, 2011).



(a)



(b)

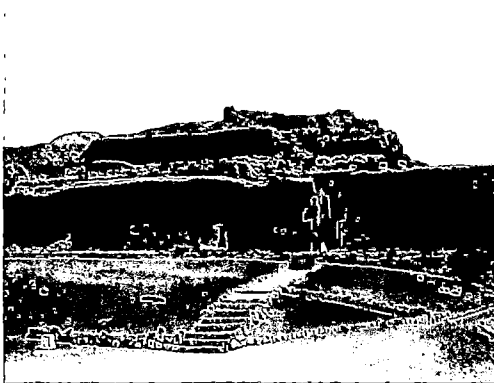
Fotografía 1.1: (a) idolo en talla de madera encontrado en 1939 por Alberto Giesecke en el Templo Pintado. Foto: S. Malpartida. (b) personaje principal del idolo. Fuente: pachacamac.cultura.pe, consultado el 20/05/2014.

El sitio arqueológico está constituido por diversas edificaciones monumentales que tuvieron diferentes funciones, entre ellas se pueden distinguir templos, pirámides y otro tipo de edificaciones, siendo todas éstas construidas en adobe y piedra (Pozzi – Escot, Chávez *et al*, 2011). Entre estos templos destacan el Templo del Sol y el Templo Pintado.

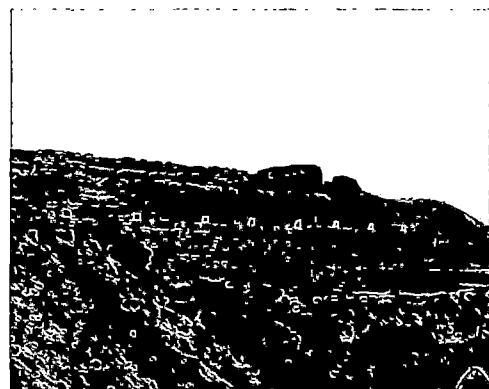
- ***El Templo del Sol***

Construido alrededor del año 1470, durante el periodo de ocupación Inca. El propósito del templo era mantener el culto al Sol (pachacamac.cultura.pe, consultado el 20/05/2014).

El Templo del Sol ocupa la parte más elevada del santuario, el ingreso principal está orientado hacia el frontis este (fotografía 1.2a) y el frontis principal está orientado hacia el mar, en donde se pueden apreciar grandes hornacinas (fotografía 1.2b).



(a)



(b)

Fotografía 1.2: Templo del Sol en Pachacamac (a) entrada al Templo, frontis este. Fuente: pachacamac.cultura.pe, consultado el 20/05/2014. (b) Hornacinas, frontis oeste. Foto: S. Malpartida

Las paredes del templo estuvieron recubiertas con un enlucido de color rojo (fotografía 1.3).



Fotografía 1.3: paredes con enlucido rojo, frontis este. Foto: S. Malpartida.

- ***El Templo Pintado***

Se estima que la construcción del templo fue durante la ocupación Ychma (1100 d.C. 1470 d.C.). La función de este templo habría sido albergar al ídolo principal de Pachacamac, hasta la llegada de los españoles en 1533, de quienes se dice, habrían destruido el ídolo (Pozzi-Escot, Pacheco *et al.*, 2013); sin embargo en 1938 los trabajos de limpieza conducidos por Alberto Giesecke condujeron al hallazgo del ídolo de madera de Pachacamac, el mismo que actualmente se expone en el Museo de Sitio.

El frontis norte está constituido por varios escalones, los cuales estuvieron recubiertos con pintura mural policroma (fotografía 1.4a) con diferentes motivos, entre los cuales se podían distinguir peces y figuras antropomorfas delineadas en color negro (fotografía 1.4b). Actualmente es la única construcción dentro del Santuario que aun conserva pintura mural.



(a)



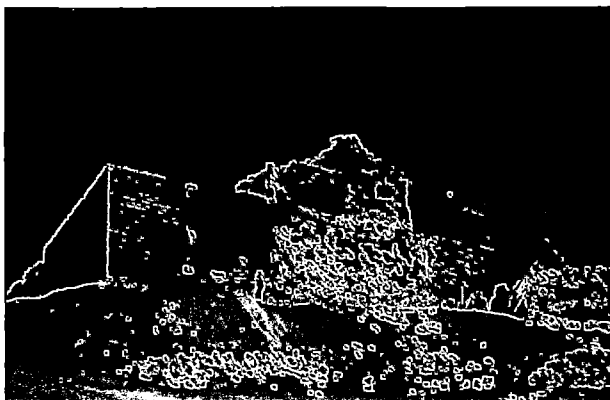
(b)

Fotografía 1.4: Templo Pintado en Pachacamac (a) escalones recubiertos con pintura mural, frontis norte. Fuente: pachacamac.cultura.pe, consultado el 20/05/2014 (b) figuras antropomorfas delineadas en color negro, frontis norte. Foto: S. Malpartida.

1.2 Problemática del Santuario de Pachacamac

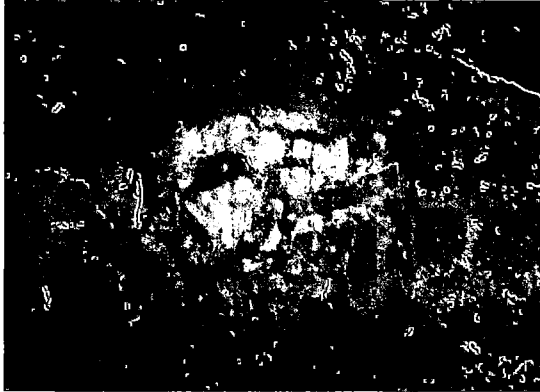
El santuario de Pachacamac está expuesto a una serie de problemas que han sido identificados por los conservadores encargados del sitio. Estos problemas pueden resumirse en (Pozzi-Escot, Torres *et al*, 2013):

- Movimientos sísmicos: los continuos sismos propios a nuestra región producen inestabilidad en las estructuras, teniendo como resultado desplomes, asentamientos, y colapsos (fotografía 1.5).
- La humedad relativa de la zona: la cercanía al mar, la alta humedad relativa en los meses de invierno producen problemas en la conservación de las superficies, manchas oscuras, movilidad de sales solubles, todo esto causando pulverización de las superficies, desprendimientos de enlucidos y capas pictóricas.
- Vientos: la brisa marina y los vientos provenientes del suroeste (Pozzi-Escot, Pacheco, *et al*, 2013) actúan como un agente abrasivos para las superficies porque lleva consigo arena.
- Variaciones de temperatura: las variaciones de temperatura a lo largo del año producen contracciones y retracciones que afectan la conservación de las superficies.
- Radiación solar: producen alteraciones en las capas pictóricas (Pozzi-Escot, Pacheco *et al*, 2013).
- Causas antrópicas: daños producidos por los visitantes al sitio produciendo actos de vandalismo, grafitis, rayaduras, huaqueos.
- Biodeterioro: la presencia de aves que anidan en los adobes, los insectos que perforan los adobes; así como la presencia de algas, hongos y líquenes.



Fotografía 1.5: desplome de una parte de un muro del frontis norte del Templo del Sol. Foto: S. Malpartida.

Todos estos problemas producen deterioro en diferentes grados y ponen en serio riesgo no solamente la estabilidad de las estructuras, sino también producen deterioro en los adobes, morteros y desprendimiento de los enlucidos, más aun si tienen capas pictóricas, produciendo su completa pérdida (fotografía 1.6).



Fotografía 1.6: desprendimiento de la capa pictórica en el frontis norte del Templo Pintado. Foto: S. Malpartida.

Ante esta problemática compleja, el trabajo de conservación en el santuario es una tarea ardua y se desarrolla en un contexto multidisciplinar siguiendo las pautas establecidas por la carta de Cracovia (ICOMOS, 2003). Entre estas acciones realizadas por el equipo de conservación del Sitio Arqueológico de Pachacamac, podemos mencionar la instalación de cortavientos en el Templo Pintado (fotografía 1.7), apuntalamientos de las estructuras en riesgo, colocación de morteros y adobes, inyección de arcilla líquida aplicando anastilosis (técnica que consiste en utilizar partes de la estructura colapsada para reconstruirlas a su posición original), consolidación de enlucidos realizando humectación con una solución de agua y alcohol (Pozzi-Escot, Pacheco *et al.*, 2013).



Fotografía 1.7: cortavientos en el frontis norte del Templo Pintado. Foto: S. Malpartida.

Así mismo se han realizado pruebas experimentales de conservación, consolidación y readherencia de capas pictóricas, enlucido y morteros con consolidantes alternativos como el mucílago de tuna y el almidón de arroz (Pozzi-Escot, Pacheco *et al.*, 2013).

Retrasar el inevitable deterioro del sitio arqueológico nos obliga a continuar con la investigación de nuevos consolidantes que se puedan utilizar en Pachacamac. Nuestra propuesta, como ya ha sido mencionada, es utilizar consolidantes alternativos obtenidos a partir del mucílago de tuna, agar agar y gelatina sobre los enlucidos del Templo Pintado y Templo de Sol y estudiar si éstos son compatibles con los materiales provenientes del mismo.

CAPÍTULO II: LAS MUESTRAS

Las muestras que formaron parte del corpus de estudio fueron extraídas del Templo del Sol y del Templo Pintado del sitio arqueológico de Pachacamac.

II.1 Las muestras de Templo del Sol

Las muestras pertenecientes al Templo de Sol fueron extraídas durante las excavaciones realizadas en el año 2011 y fueron aportadas por la arqueóloga Carolina Jiménez.

Las muestras fueron extraídas del primer nivel del frontis norte del templo (figura 2.1). El círculo rojo marca el lugar de extracción.

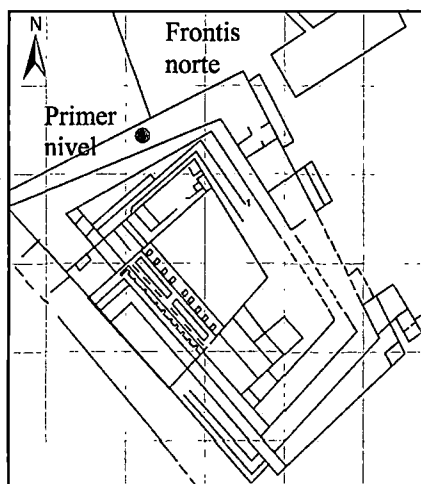


Figura 2.1: plano de sectorización del Templo del Sol. Fuente: archivos Museo de Sitio de Pachacamac.

Nuestro trabajo se realizó sobre tres muestras de este Templo: muestra 8, muestra 9 y muestra 10. Éstas son morteros que están asociados al relleno de piedras y de adobes (fotografía 2.1).



Fotografía 2.1 relleno de piedras y de adobes. Dibujo: Luis Tokuda.

❖ **Muestra 8**

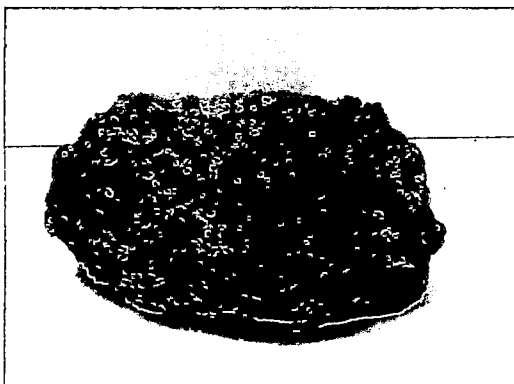
Esta muestra es un mortero asociado a relleno de piedras bajo nivel de enlucido (fotografía 2.2). No se observaron otros materiales agregados como conchas de moluscos o piedras grandes.



Fotografía 2.2: mortero asociado a relleno de piedras.

❖ **Muestra 9**

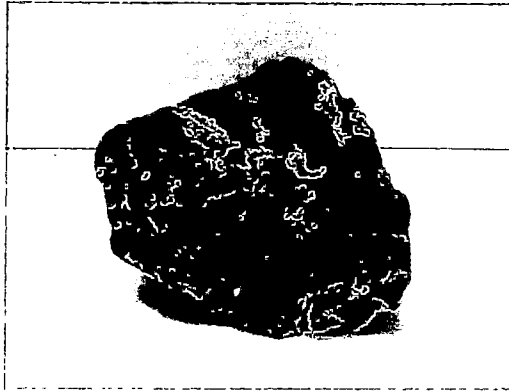
Esta muestra es un mortero asociado a relleno de adobes en el primer nivel (fotografía 2.3). No se observaron de otros materiales agregados como conchas de moluscos o piedras grandes.



Fotografía 2.3: mortero asociado a relleno de adobes.

❖ **Muestra 10**

Esta muestra es un mortero asociado a relleno de piedras en el primer nivel (fotografía 2.4). No se observaron otros materiales agregados como conchas de moluscos o piedras grandes.



Fotografía 2.4: mortero asociado a relleno de piedras.

II.2 Las muestras del Templo Pintado

Las muestras pertenecientes al Templo de Pintado fueron extraídas por la arqueóloga Gianella Pacheco durante la visita que realizamos al santuario en mayo del 2012.

En la figura 2.2 se muestran los lugares de extracción de las muestras 1, 2, 3 y 4, extraídas del frontis norte del Templo Pintado y de la muestra 5 extraída del área de Almacenes, hacia el frontis este. Los círculos rojos indican los lugares de extracción.

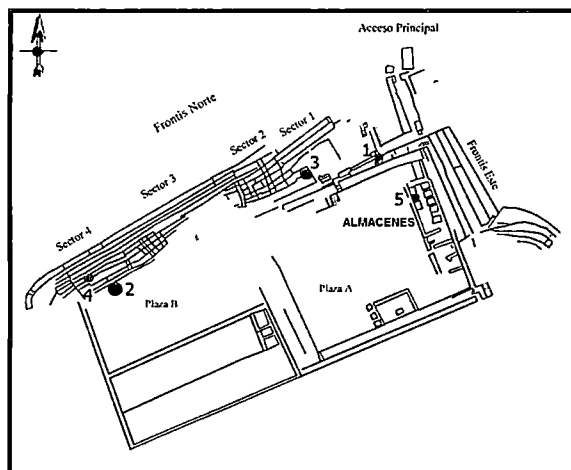
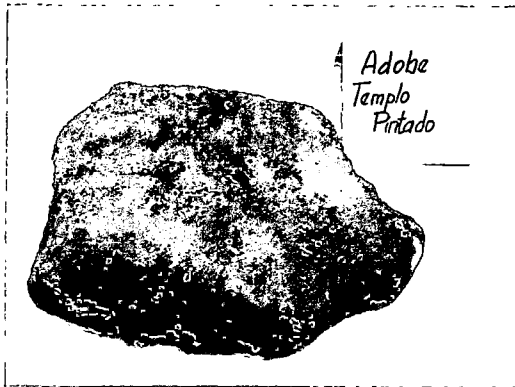


Figura 2.2: plano de sectorización del Templo Pintado en Pachacamac. Fuente: archivo Museo de Sitio de Pachacamac.

❖ Muestra 1

Esta muestra es un fragmento de adobe extraído del sector 1, escalón 9. El lugar de extracción está marcado como el lugar 1 en la figura 2.2. Se observan materiales agregados como conchas de moluscos (fotografía 2.5).



Fotografía 2.5: fragmento de adobe perteneciente al sector 1, escalón 9.

❖ **Muestra 2**

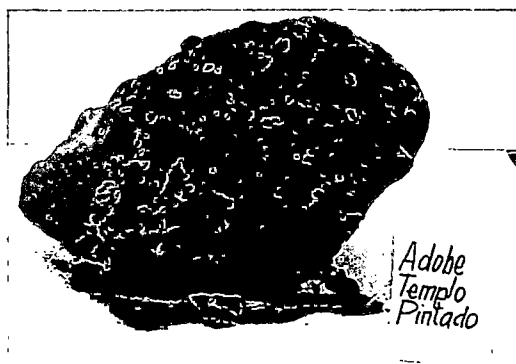
Esta muestra es un fragmento de adobe extraído del sector 4, escalón 9. El lugar de extracción está marcado como el lugar 2 en la figura 2.2. Se observan materiales agregados de conchas de moluscos (fotografía 2.6).



Fotografía 2.6: fragmento de adobe perteneciente al sector 4, escalón 9.

❖ **Muestra 3**

Esta muestra es un fragmento de adobe extraído del sector 1, escalón 6. El lugar de extracción está marcado como el lugar 3 en la figura 2.2. Se observan materiales agregados de conchas de moluscos (fotografía 2.7).



Fotografía 2.7: fragmento de adobe perteneciente al sector 1, escalón 6.

❖ **Muestra 4**

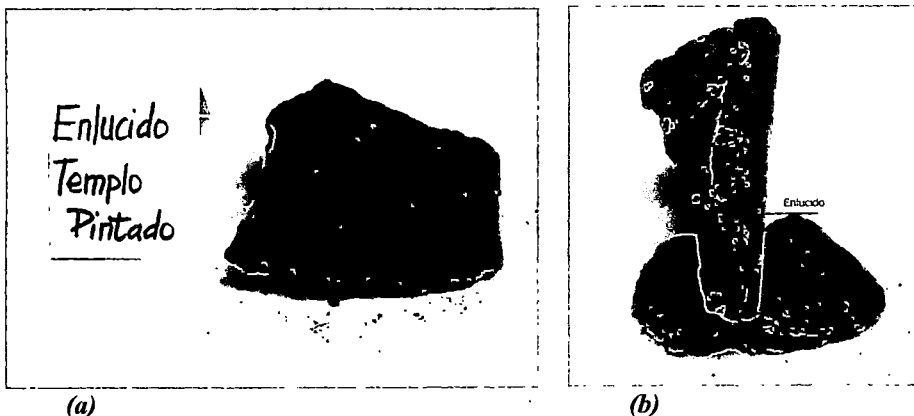
Esta muestra es un fragmento de mortero extraído del sector 4, escalón 6 (fotografía 2.8). El lugar de extracción está marcado como el lugar 4 en la figura 2.2. No se observaron otros materiales agregados como conchas de moluscos o piedras grandes.



Fotografía 2.8: fragmento de mortero perteneciente al sector 4, escalón 6.

❖ **Muestra 5**

Esta muestra es un fragmento de enlucido sin pintura extraído del sector Almacenes, muro oeste, frontis este del Templo (fotografía 2.9a). El lugar de extracción está marcado como el lugar 5 en la figura 2.2. El espesor del enlucido es variable, se midió como mínimo ($3,0 \pm 0,5$) mm y como máximo ($4,0 \pm 0,5$) mm (fotografía 2.9b).



Fotografía 2.9: (a) fragmento de enlucido extraído del sector Almacenes, muro oeste. (b) Enlucido de espesor variable, de valor promedio 3,5 mm.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

En este capítulo expondremos todas las pruebas que hemos empleado para el desarrollo del presente trabajo. Este ha sido dividido en cuatro partes:

- Primera parte: detallaremos las técnicas seguidas para la determinación de características texturales de los adobes.
- Segunda parte: describiremos la técnica desarrollada para la preparación de los facsímiles.
- Tercera parte: desarrollaremos los métodos de preparación de los consolidantes utilizados y la aplicación sobre los enlucidos de los facsímiles.
- Cuarta parte: detallaremos las técnicas empleadas para la evaluación de las propiedades físicas del enlucido consolidado.

PRIMERA PARTE: DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS TEXTURALES DE LOS ADOBES

En esta primera parte expondremos las técnicas que hemos seguido para determinar las características texturales de los adobes: la determinación de la respectiva clase textural, determinación del límite plástico, determinación del contenido de componentes orgánicas, determinación de la porosidad de adobe, determinación del contenido de sales solubles y la determinación del contenido de carbonatos.

III.1. Determinación de las características físicas de los adobes

El suelo que se usa como material de construcción debe ser rico en arcilla para asegurar que sea plástico cuando esté húmedo.

La composición ideal del suelo para que éste pueda ser usado como un material de construcción eficiente varía en 70 % - 80% de arena y en 20% - 30% de limo y arcilla (Torraca, 2009), además se adicionan otros materiales como fibras vegetales, estiércol, conchas de moluscos, etc., cuyo objetivo es mejorar las propiedades mecánicas como materiales de construcción.

III.1.1. Análisis textural de los adobes.

Los análisis que se realizaron para determinar el tamaño de grano en las muestras fueron de acuerdo a los test publicados en Teutónico (1988), que a su vez están basadas en la norma ASTM D422 - 63.

Las fracciones del suelo se dividen de acuerdo al tamaño de grano. Existen varios sistemas de clasificación. Dos de estos sistemas son los más utilizados: el sistema unificado USCS (Unified Soil Classification System) y el sistema norteamericano ASTM (American Section of the International Association for Testing Materials). En la tabla 3.1 se muestra las diferencias de clasificación en las fracciones grava, arena, limo y arcilla. (Torraca, 2009).

Es importante notar que la clasificación de componentes del suelo difiere ligeramente entre los sistemas europeo y norteamericano (ASTM).

En el presente trabajo se realizó la clasificación textural de acuerdo al sistema ASTM (tabla 3.1).

Tabla 3.1: fracciones del suelo de acuerdo al USCS y al ASTM.

| Fracción de suelo | Tamaño de grano USCS (mm) | Tamaño de grano ASTM (mm) |
|-------------------|---------------------------|---------------------------|
| Grava | 75 - 2 | 76,2 - 4,75 |
| Arena muy gruesa | 2 - 1 | 4,75 - 2,00 |
| Arena gruesa | 1,0 - 0,5 | |
| Arena mediana | 0,50 - 0,25 | 2,000 - 0,425 |
| Arena fina | 0,250 - 0,125 | |
| Arena muy fina | 0,125 - 0,075 | 0,425 - 0,075 |
| Limo | 0,075 - 0,004 | 0,075 - 0,005 |
| Arcilla | < 0,004 | < 0,005 |

Fuente: Torraca (2009)

Los procedimientos para llevar a cabo la clasificación textural se dividen en dos partes (Teutonico, 1988). La primera parte consiste en determinar las fracciones grava y arena y la segunda parte determina las fracciones limo y arcilla.

III.1.1.1. Determinación de las fracciones grava y arena

Las fracciones de grava (76,2 mm – 4,75 mm) y arena (4,75 mm – 0,075 mm) no poseen fuerzas cohesivas por sí mismas, es por eso que ellas constituyen un relleno que limita la contracción de los suelos plásticos cuando éstos se secan (Torraca, 2009).

Los pasos que describiremos a continuación están basados en el protocolo descrito en el TEST 18 A de Teutonico (1988).

Materiales empleados:

- Mortero y pilón de diamonita
- Balanza con legibilidad a 0,01 g
- Estufa
- Tamices de tamaños de malla N° 4 (4,75 mm) y N° 200 (75 µm)
- Vasos de precipitado de 600 ml
- Agitador de vidrio

- Agitador magnético y barra agitadora magnética cubierta de teflón de 5cm
- 1 litro de solución de hexametáfosfato de sodio ($1.1\text{Na}_2\text{O}:1\text{P}_2\text{O}_5$) al 4% que no tenga antigüedad mayor a un mes.

El procedimiento que se ha seguido en el presente trabajo se detalla en el diagrama 3.1.

1. Para comenzar con la determinación de estas fracciones se debe seleccionar una porción de la muestra, desde luego que ésta tiene que ser cuidando que sea representativa del total. El protocolo utilizado sugiere que se debe contar como mínimo con 100 g de muestra.

2. Disgregar la muestra en el mortero, cuidando no fracturar los granos de la misma.

3. Secar la muestra en estufa entre 90°C y 100°C durante 12 horas aproximadamente.

4. Pesar en una balanza sensible, con legibilidad de 0,01g.

5. Suspender la muestra en 200. ml de solución de hexametáfosfato de sodio ($1,1 \text{Na}_2\text{O}: 1 \text{P}_2\text{O}_5$) al 4%.

6. Remover bien con la ayuda del agitador de vidrio para homogenizar la muestra y esté completamente húmeda. Dejar en remojo durante 12 horas aproximadamente.

7. Luego del tiempo de suspensión en la solución de hexametáfosfato de sodio, se procede a agitar con la ayuda del agitador magnético y la barra magnética cubierta de teflón, a máxima velocidad y durante 20 min. Esto ayuda a separar los granos finos de los gruesos en la muestra.

8. Una vez que el procedimiento de agitado magnético terminó, se procede a hacer un tamizado al húmedo, para ello se debe disponer de un vaso de precipitado, lo suficientemente grande para sostener la base del tamiz y se recupere la solución que logre atravesar la malla.

9. Enjuagar con agua destilada la muestra que queda retenida en el tamiz No 200. Repetir esta operación hasta que el agua que caiga esté clara, esto significa que se ha logrado desprender los granos más finos.

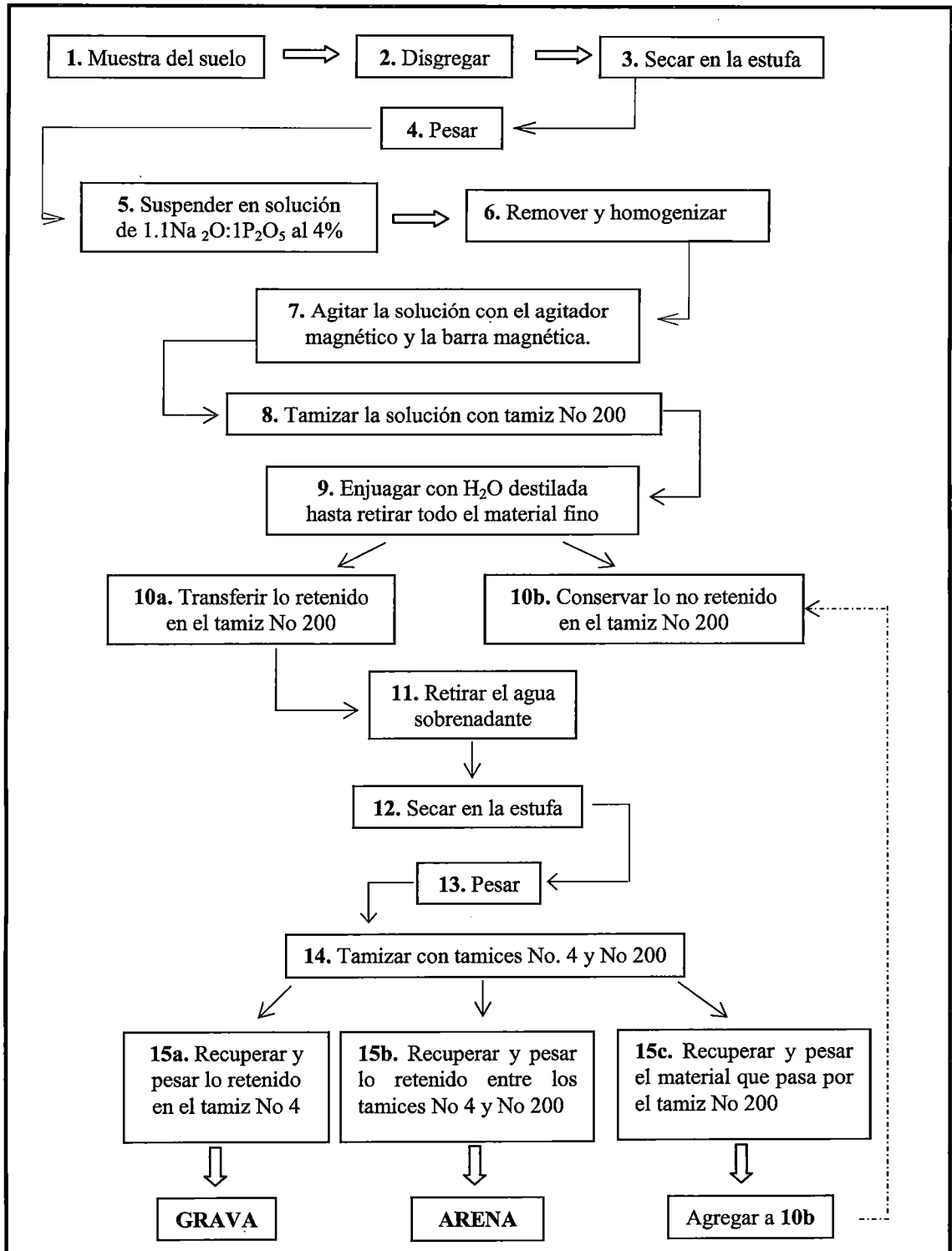


Diagrama 3.1: determinación del contenido de grava y arena de acuerdo al TEST 18A (Teutonico, 1988).

10a. Transferir todo lo retenido en el tamiz No 200 a otro vaso de precipitado y con el agua destilada retirar todos los granos atrapados entre la malla del tamiz. Dejar reposar unos minutos hasta que se observe que todos los granos gruesos sedimentaron.

10b. La solución que pasó por el tamiz No 200 contiene fracciones de limo y arcilla que se deben reservar para continuar con la prueba de determinación del porcentaje de limo y arcilla. Se sugiere cubrir el vaso con un papel film para evitar cualquier contaminación y/o evaporación del agua.

11. Una vez que los granos gruesos del ítem 10a sedimentaron, retirar el líquido sobrenadante, cuidando de no perder parte de los granos.

12. Secar en la estufa entre 90°C y 100°C durante 12 horas aproximadamente.

13. Una vez pasado el tiempo de secado, esperar que la muestra esté a temperatura ambiente para poder pesar.

14. Tamizar. El protocolo seguido sugiere utilizar tamices de diferente abertura de malla para poder determinar el porcentaje de grava, arena gruesa, arena mediana y arena fina. En nuestro trabajo se ha determinado únicamente el contenido de grava y arena, por lo que se utilizó los tamices de tamaño No 4 y No 200.

15a. Recuperar lo retenido en el tamiz No 4 y pesar. Este resultado nos da el contenido de grava en la muestra.

15b. Recuperar lo retenido entre los tamices No 4 y No 200. Este resultado nos da el contenido total de arena (gruesa, mediana y fina) en la muestra.

15c. Recuperar lo que logró pasar el tamiz No 200 y pesar. Este material recuperado se añade a la solución reservada en el ítem 10b.

III.1.1.2 Determinación de las fracciones limo y arcilla

Las fracciones de limo y arcilla devienen plásticas al contacto con el agua y actúan como ligantes para los granos más gruesos del suelo (grava y arena), de tal manera que se puedan utilizar como material de construcción (Torraca, 2009).

Los pasos que describiremos a continuación están basados en el protocolo descrito en el TEST 18 B: sedimentación por el método del hidrómetro de (Teutónico, 1988).

El objetivo es establecer una relación de variación entre el diámetro de grano (**D**) y el porcentaje de material fino (**% fino**).

Materiales empleados:

- Hidrómetro de suelo calibrado para lecturas de gramo por litro, ASTM 152H.
- Dos probetas de vidrio graduadas de 1 litro.
- Termómetro
- Papel film para cubrir los cilindros
- Cronómetro.
- Agua destilada

El procedimiento que se ha seguido en el presente trabajo se detalla en el diagrama 3.2.

1. Recuperar la solución que se obtuvo en el paso 10b del test 18A.

2a. Transferir a una probeta de vidrio graduado de 1 litro y completar con agua destilada hasta dicho volumen.

2b. Completar con agua hasta 1 litro la segunda probeta, la cual servirá para contener el hidrómetro.

3. Cubrir con papel film la probeta que contiene la solución, es necesario asegurar que el film esté herméticamente puesto para evitar derrames de solución, lo que invalidaría la prueba.

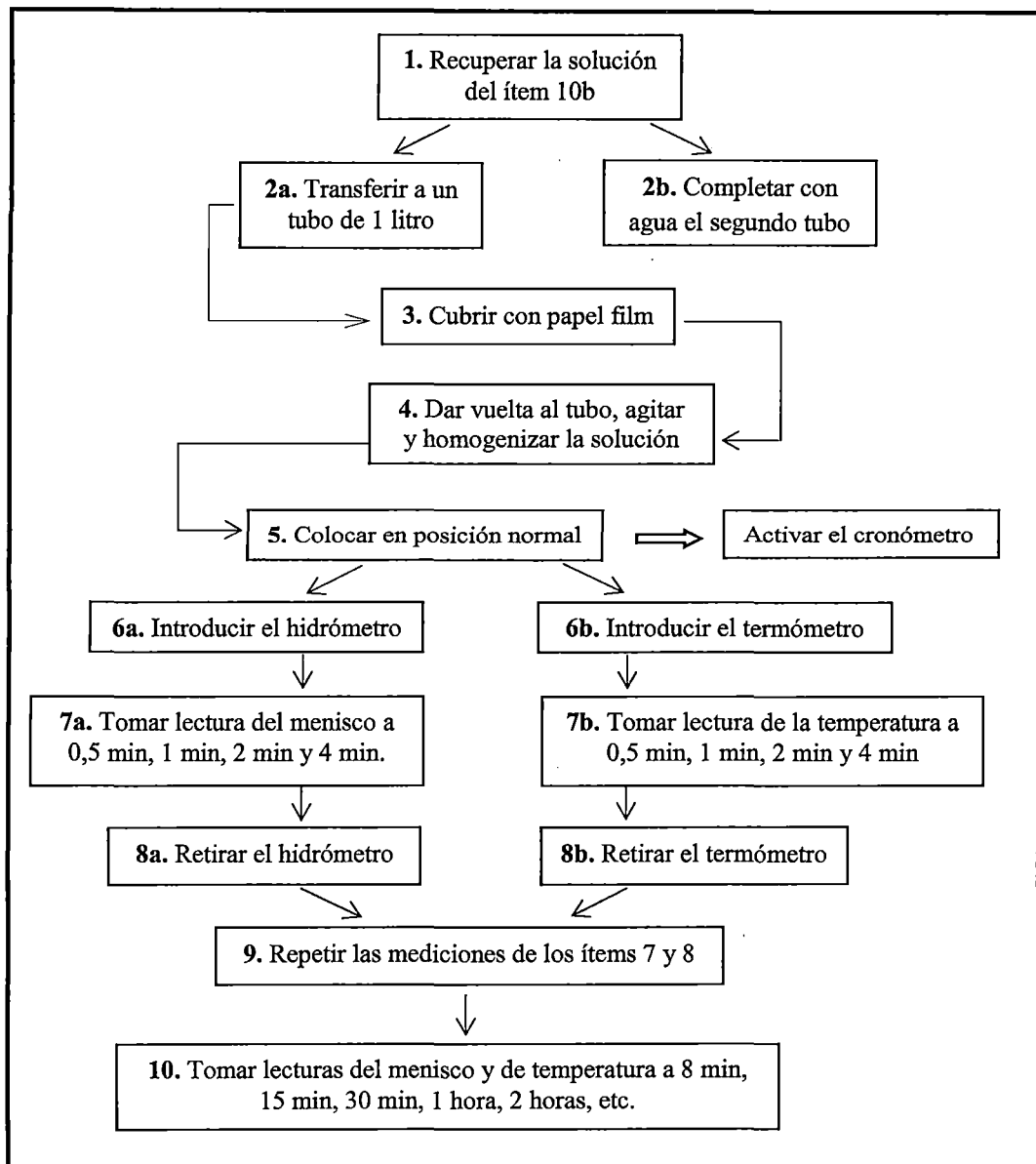


Diagrama 3.2: determinación del contenido de limo y arcilla según el TEST 18B de Teutonico (1988).

4. Cubrir con la palma de la mano la boca de la probeta, dar vuelta y agitar suavemente de tal forma que el material sedimentado comience a dispersarse hasta lograr homogenizar la solución. Una vez logrado esto, invertir completamente el tubo por unos segundos.

5. Volver el tubo a la posición normal y dejar reposar sobre la mesa de trabajo y simultáneamente activar el cronómetro.

6a. Introducir el hidrómetro de manera muy sutil, evitando que se eleve, se hunda o rote.

6b. Introducir el termómetro, sostenerlo sin dejarlo caer al fondo del tubo.

7a. Luego de 30s de activado el cronómetro, tomar la lectura del menisco mayor en el hidrómetro. Repetir lo mismo luego de 1 min, 2 min y 4 min.

7b. Tomar las temperaturas respectivas a 30s de activado el cronómetro. Repetir lo mismo luego de 1 min, 2min y 4 min. De la misma manera tomar las temperaturas para los mismos tiempos en la probeta que contiene agua destilada.

8a. Retirar con mucho cuidado el hidrómetro de la solución, evitando movimientos bruscos. Introducirlo en el tubo que contiene agua destilada.

8b. Retirar el termómetro.

9. Repetir los pasos descritos en los ítems 7 y 8 hasta que se obtenga dos juegos de lecturas en las que la diferencia de las cuatro mediciones a tiempos diferentes, sea como máximo una unidad.

10. Una vez que se consigue lo requerido en el ítem 9, continuar con las lecturas de menisco y las lecturas de temperatura a 8 min, 15min, 30 min, 1 hora, 4 horas, etc. En el trabajo realizado se tomaron lecturas hasta 24 horas después.

Las lecturas que se realizan con hidrómetros están sujetas a correcciones debidas al menisco formado, a la temperatura, al agente dispersor de la solución, a la corrección por unidad de peso de muestra seca y a la profundidad de penetración efectiva del hidrómetro (Teutonico, 1988).

a. Corrección debida al menisco (C_m):

Los hidrómetros están calibrados para medir al nivel de la superficie del líquido, pero en casos en los que el líquido es opaco, la lectura del menisco se realiza en la parte superior (figura 3.1a). La corrección C_m se obtiene mediante la ecuación 3.1:

$$C_m = (B - A) \times 1000$$

(ec. 3.1)

Los valores de A y B se determinan siguiendo el siguiente procedimiento: en un tubo de vidrio graduado de 1 litro, se completan las tres cuartas partes con agua destilada, se introduce el hidrómetro, se espera que se estabilice y se observa que el plano de la superficie del agua es visto como una elipse justo debajo de la superficie, levantar ligeramente los ojos hasta observar que la superficie sea vista como una línea recta, en ese instante tomar la lectura del parámetro A. El parámetro B es el menisco superior (figura 3.1b).

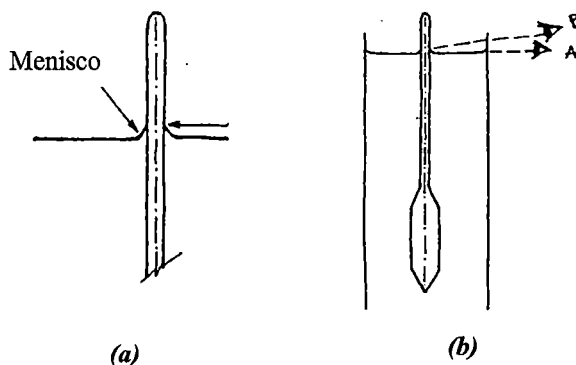


Figura 3.1: (a) lectura del menisco en el hidrómetro. (b) Lecturas de los valores A y B en el hidrómetro. Fuente: Teutónico (1988).

b. Corrección debida a la temperatura (Ct):

Los hidrómetros están calibrados a 20 °C, si las mediciones se realizaran a diferentes temperaturas, la densidad del agua puede variar. Estos valores se corrigen con las constantes que se muestran en la tabla 3.2 (Teutónico, 1988).

Tabla 3.2: constantes de corrección Ct.

| Temperatura (°C) | Ct | Temperatura (°C) | Ct |
|------------------|-------|------------------|-------|
| 15 | -1,10 | 23 | +0,70 |
| 16 | -0,90 | 24 | +1,00 |
| 17 | -0,70 | 25 | +1,30 |
| 18 | -0,50 | 26 | +1,65 |
| 19 | -0,30 | 27 | +2,00 |
| 20 | 0,00 | 28 | +2,50 |
| 21 | +0,20 | 29 | +3,05 |
| 22 | +0,40 | 30 | +3,80 |

c. Corrección debido al agente dispersante (x)

Llamada también “corrección cero”. Para calcular este valor se completa en un cilindro de vidrio el mismo volumen de agua con la solución dispersante que se utilizó para realizar las suspensiones. Se introduce el hidrómetro y se toman las lecturas. Se consideran como negativos los valores de lectura menores a cero y como positivos las lecturas mayores a cero (Teutónico, 1988).

d. Corrección por unidad de peso de muestra seca (a)

Los hidrómetros están calibrados para leer suelos de gravedad específica de 2,65 en 1 000 cm³ de suspensión, a 20°C. Si la gravedad específica (G_s) del suelo no es 2,65 y la temperatura de medición no es 20°C, se realizan correcciones de acuerdo a los valores mostrados en la tabla 3.3 (Teutónico, 1988).

Mencionamos que el objetivo es determinar una relación de variación entre el diámetro de la partícula y el porcentaje de material fino (%fino) durante el proceso de sedimentación; estos parámetros están determinados por las ecuaciones 3.2 y 3.3 (Teutónico, 1988).

Tabla 3.3: factor de corrección “a”

| Unidad de peso de suelo sólido (g/cm ³) | Factor de corrección (a) |
|---|--------------------------|
| 2,85 | 0,96 |
| 2,80 | 0,97 |
| 2,75 | 0,98 |
| 2,70 | 0,99 |
| 2,65 | 1,00 |
| 2,60 | 1,01 |
| 2,55 | 1,02 |

$$D = k \sqrt{\frac{L}{t}} \quad (\text{ec. 3.2})$$

Donde:

D: diámetro de la partícula en mm.

k: factor de corrección (tabla 3.4).

L: profundidad de penetración del hidrómetro (tabla 3.5).

t: tiempo transcurrido (min).

La ecuación para el cálculo del porcentaje fino se muestra a continuación:

$$\% \text{ fino} = \frac{a \cdot R_c}{W_s} \times 100 \% \quad (\text{ec. 3.3})$$

Donde:

R_c : lecturas corregidas para el hidrómetro (ecuación 3.5).

a : factor de corrección por unidad de peso de suelo sólido (tabla 3.3).

W_s : masa de la muestra original en suspensión (g).

El factor de corrección “ k ” de la ecuación 3.2 se obtiene a partir de la gravedad específica (G_s) y la temperatura. Los valores de k para los valores de G_s 2,65 g/cm³ y 2,70 g/cm³, a diferentes temperaturas se muestran en la tabla 3.4 (Teutónico, 1988).

Tabla 3.4: factor de corrección “ k ”

| Temperatura (°C) | k 2,65 g/cm ³ | k 2,70 g/cm ³ |
|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 19 | 0,0138 | 0,0136 |
| 20 | 0,0137 | 0,0134 |
| 21 | 0,0135 | 0,0133 |
| 22 | 0,0133 | 0,0131 |
| 23 | 0,0132 | 0,0130 |
| 24 | 0,0130 | 0,0128 |
| 25 | 0,0129 | 0,0127 |
| 26 | 0,0127 | 0,0125 |
| 27 | 0,0126 | 0,0124 |

Los valores de la profundidad efectiva de penetración del hidrómetro L (figura 3.2) están relacionados con las lecturas reales (R) del hidrómetro (ecuación 3.4), dichos valores se muestran en la tabla 3.5 (Teutónico, 1988).

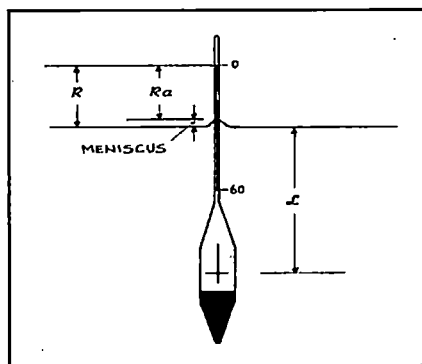


Figura 3.2: parámetros R , R_a y L . Fuente: Teutónico (1988.)

Las lecturas tomadas del hidrómetro en los ítems 7a y 10 del diagrama 3.2 se les denomina valores actuales (Ra). A estos valores de Ra se les resta la primera corrección debida al menisco (Cm) y se obtienen los valores reales de lectura del hidrómetro (R) (Teutónico, 1988).

$$R = Ra - Cm \quad (\text{ec. 3.4})$$

Tabla 3.5: valores de L y R. Fuente: Teutonico (1988)

| R | L | R | L | R | L |
|----|------|----|------|----|------|
| 10 | 14,7 | 19 | 13,2 | 28 | 11,7 |
| 11 | 14,5 | 20 | 13,0 | 29 | 11,5 |
| 12 | 14,3 | 21 | 12,9 | 30 | 11,4 |
| 13 | 14,2 | 22 | 12,7 | 31 | 11,2 |
| 14 | 14,0 | 23 | 12,5 | 32 | 11,1 |
| 15 | 13,8 | 24 | 12,4 | 33 | 10,9 |
| 16 | 13,7 | 25 | 12,2 | 34 | 10,7 |
| 17 | 13,5 | 26 | 12,0 | 35 | 10,5 |
| 18 | 13,3 | 27 | 11,9 | 36 | 10,4 |

Los valores de lectura del hidrómetro corregidos (Rc) se calcula por la siguiente relación:

$$Rc = Ra - x + Ct \quad (\text{ec. 3.5})$$

Finalmente, los valores calculados mediante las ecuaciones 3.2 y 3.3 permiten construir una curva de sedimentación que representa la variación entre el %fino y el diámetro de la partícula.

III.1.2 Determinación de la clase textural

La textura es una propiedad de los suelos y da cuenta de características como la permeabilidad, distribución de poros, etc.

La determinación de la clase textural del suelo se realiza de acuerdo a si éste será utilizado como material de construcción o si será utilizado para la agricultura.

El departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) clasifica al suelo de acuerdo a las fracciones de su composición granulométrica en arena, limo y arcilla, determinándose así doce clases texturales (figura 3.3).

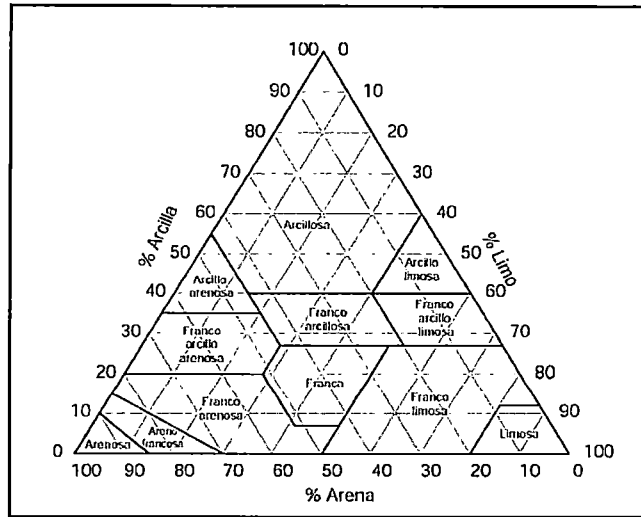


Figura 3.3: triángulo textural para clasificar suelos. Fuente: Gabriels, Lobos (2006).

La clasificación de suelos para estudios geológicos y para fines de construcción emplea el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS). Este sistema determina clases texturales de acuerdo a dos letras, la primera, que identifica la fracción granulométrica correspondiente. La segunda letra que hace referencia a la plasticidad y a la distribución del tamaño de partícula (tabla 3.6).

Tabla 3.6: clases texturales de acuerdo a la clasificación de la USCS. Fuente: ASTM D2487 – 11.

| Símbolo del grupo | Nombre del grupo | Símbolo del grupo | Nombre del grupo | Símbolo del grupo | Nombre del grupo |
|-------------------|--|-------------------|---------------------------|-------------------|---------------------------------------|
| GW | Grava bien graduada, grava fina a gruesa | SP | Arena pobremente graduada | OL | Limo orgánico, arcilla orgánica |
| GP | Grava pobremente graduada | SM | Arena limosa | MH | Limo de alta plasticidad |
| GM | Grava limosa | SC | Arena arcillosa | CH | Arcilla de alta plasticidad |
| GC | Grava arcillosa | ML | Limo | OH | Arcilla orgánica, limo orgánico |
| SW | Arena bien graduada, arena fina a gruesa | CL | arcilla | Pt | Suelos turbosos o altamente orgánicos |

En el presente trabajo hemos optado por clasificar texturalmente los adobes de acuerdo a lo establecido por el USDA (figura 3.3).

III.1.3 Determinación del límite plástico (LP)

El comportamiento plástico de un suelo depende de la cantidad de agua que esté presente, definiéndose el término “consistencia” que es la capacidad que presenta el suelo para mantenerse estable e integrado, sin romperse o deformarse (Bañón, Beviá, 2000).

Considerando la consistencia del material de construcción se clasifica como:

- Líquido: caracterizado por la cantidad excesiva de agua, el suelo es un líquido viscoso, sin capacidad resistente.
- Plástico: fácilmente moldeable, presenta deformaciones con la aplicación de pequeños esfuerzos.
- Semisólidos: no es moldeable, se quiebra antes de cambiar de forma.
- Sólido: es estable, su volumen no varía con los cambios de humedad.

La humedad correspondiente a los puntos de transición entre cada estado son los límites líquido (LL), límite plástico (LP) y límite de retracción (LR) (figura 3.4). Estos límites son conocidos como los límites de Atterberg. De acuerdo con las interpretaciones de Atterberg un suelo es más plástico cuando la diferencia entre LL y LP es mayor. La determinación del índice de plasticidad de un suelo está dada por la suma de LP y LL.

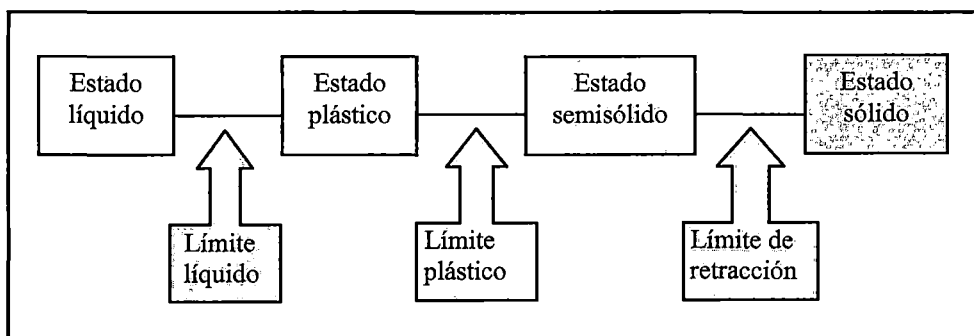


Figura 3.4: descripción de estados de consistencia del suelo. Fuente: diagrama tomado y modificado de Bañón y Beviá (2000).

En el presente trabajo se ha calculado únicamente los valores del límite plástico (LP), que es definido como el menor contenido de agua en el suelo, a partir del

cual se puede formar sin romper, ni quebrar cilindros de 3mm de diámetro (Teutonico, 1988).

El protocolo que hemos utilizado para la determinación del LP está basado en el TEST No 19 de Teutonico (1988), que a su vez está basado en la norma ASTM D4318 – 84.

Materiales empleados:

- Espátula
- Agua destilada
- Plancha de vidrio para formar los cilindros
- Contenedores con tapa
- Alambre de 3 mm de diámetro
- Balanza con legibilidad a 0,01 g
- Estufa
- Tamiz No 60 (apertura de malla 0,250 mm)

El primer paso es tomar 20 g de muestra y tamizar con tamiz No 60.

Pesar el contenedor con la tapa puesta, este valor obtenido es la *masa contenedor*.

Ir agregando agua destilada poco a poco hasta formar una pasta, tomar la mitad y formar una esfera con las manos.

Inmediatamente comenzar a formar un cilindro sobre la plancha de vidrio, el objetivo es formar un cilindro de 3 mm de diámetro sin que se rompa o presente rajaduras. Durante este proceso la porción de suelo pierde agua, para rectificar esto se tiene que agregar agua en poca cantidad.

Una vez que se ha logrado formar el cilindro, cortar con la ayuda de la espátula en tres partes, unir las y volver a formar otro cilindro de 3 mm de diámetro. Repetir esta acción hasta que ya no se pueda seguir formando un cilindro. Cuando se alcanza este punto es porque estamos en el límite plástico del suelo.

Tomar los pedazos que se tengan y guardarlos en el contenedor con tapa. Pesarse en la balanza, este valor obtenido es la *masa inicial*.

Destapar y secar en la estufa a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante dos días para asegurar que toda el agua se ha evaporado.

Luego de los dos días de secado, retirar la muestra de la estufa, esperar que se enfríe y pesarse, este valor obtenido es la *masa final*.

Repetir los pasos antes mencionados hasta obtener por lo menos 4 cilindros.

El cálculo del límite plástico (LP) se realiza mediante las ecuaciones 3.6, 3.7 y 3.8:

$$\text{masa de agua} = \text{masa inicial} - \text{masa final} \quad (\text{ec. 3.6})$$

$$\text{masa de suelo seco} = \text{masa final} - \text{masa contenedor} \quad (\text{ec. 3.7})$$

$$\text{Límite plástico (LP)} = \frac{\text{masa de agua}}{\text{masa de suelo seco}} \times 100\% \quad (\text{ec. 3.8})$$

III.1.4. Determinación del contenido de componentes orgánicas

El contenido de las componentes orgánicas en el suelo están conformados por el material vegetal (maderas, raíces, etc.), materiales carbonáceos como el lignito o carbón, etc. Este contenido orgánico está ligado directamente a la porosidad de los materiales de construcción (Borrelli, 1998).

La determinación del porcentaje de componentes orgánicos se realizó mediante la aplicación de dos protocolos. El primer protocolo consistió en utilizar una solución de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) para disolver toda la materia orgánica y el segundo protocolo fue de acuerdo a la norma AASHTO T267 - 86 (2004).

a. Primer protocolo:

Materiales utilizados:

- Solución de peróxido de hidrógeno a 50 volúmenes

- Agua destilada
- Papel de filtro (previamente pesado)
- Vaso de precipitado de vidrio
- Estufa
- Balanza legible a 0,01g
- Tamiz No 60 (apertura de malla 0,250 mm)

Tomar una masa de muestra de suelo, no menor de 15 g. Tamizar con el tamiz No 60. Llevar a secar a la estufa por una noche a 100 °C - 110 °C.

Sacar de la estufa y esperar a que se enfríe. Pesar, este valor es la *masa inicial*.

Verter 50 ml de solución de peróxido de hidrógeno (50 volúmenes). Dejar en remojo por 3 días o más, hasta que ya no se observe efervescencia en la mezcla.

Enjuagar con agua destilada varias veces. Filtrar el agua de enjuague con el papel filtro para evitar perder masa de muestra.

Poner a secar la muestra, así como el papel filtro en estufa a 100 °C - 110 °C durante 24 horas.

Sacar de la estufa, esperar que enfríe. Pesar, este valor es la *masa final*.

La ecuación 3.9 permite calcular el porcentaje de contenido de materia orgánica:

$$\% \text{ comp. orgánicas} = \left(\frac{\text{masa inicial} - \text{masa final}}{\text{masa inicial}} \right) \times 100 \% \quad (\text{ec. 3.9})$$

b. Segundo protocolo

Materiales utilizados:

- Estufa
- Horno mufla
- Balanza legible a 0,01g

- Crisol de porcelana
- Tamiz No 10 (diámetro de apertura 2,00 mm).

Tomar por lo menos 100 g de muestra, asegurándose que ésta sea representativa del total. Tamizar con el tamiz No 10.

Dejar la muestra a secar en la estufa durante la noche a 100 °C - 110 °C.

Pesar el crisol de porcelana, este es el valor *masa crisol*.

Retirar de la estufa y tomar una parte de muestra, ésta debe estar entre 10 g y 40 g de muestra.

Colocar la muestra en el crisol de porcelana. Pesar y a este resultado restarle el valor de *masa crisol*. El valor resultante es *masa inicial*.

Calcinar en mufla a 455 °C ± 10 °C, durante seis horas.

Retirar de la mufla, esperar que enfríe. Pesar y a resultado restarle el valor de *masa crisol*. El valor resultante es *masa final*.

El contenido de materia orgánica se determina con la ecuación 3.10.

$$\% \text{ comp. orgánicas} = \left(\frac{\text{masa inicial} - \text{masa final}}{\text{masa inicial}} \right) \times 100 \% \quad (\text{ec. 3.10})$$

III.1.5. Determinación de la porosidad del adobe

Los materiales de construcción, como el adobe, poseen cierto volumen vacío distribuido en todo el material, en forma de cavidades o poros, de tamaños y formas diferentes. La totalidad de espacios vacíos se denomina porosidad (Borrelli, 1998)

Borelli (1998) menciona tres formas de clasificación de los poros: de acuerdo a la tipología (abierta o cerrada), a la geometría (esféricos, cilíndricos, alargados, poros fracturados, etc.) y al tamaño (microporos, mesoporos, macroporos).

Cerisola *et al.* (2005) menciona que la porosidad total del suelo está estrechamente ligada a la textura y a la estructura. La llamada porosidad textural depende directamente de la constitución mineralógica y de la composición orgánica. La porosidad estructural depende de los antecedentes del suelo para fabricación de adobes, es decir depende de la acción de factores externos: climatológicos, mecánicos y biológicos. Los poros microscópicos están ocupados en gran parte por agua retenida por fuerzas capilares

Conocer la porosidad del adobe es muy importante porque es una característica que afecta las propiedades físicas del mismo. Dentro de la red de poros ocurre el transporte de agua (líquida y/o vapor); ocurre el transporte de sales solubles y el proceso de recristalización y provee un espacio para el crecimiento microbiológico. Además, la porosidad del suelo es importante para tener una referencia del volumen que se ocupará en caso de tratamientos de impregnación (Teutonico, 1998).

La determinación de la porosidad que realizaremos está basada en la comparación entre las densidades aparentes y las densidades reales. El protocolo seguido está basado en el TEST No 11 de Teutonico (1988).

Materiales usados:

- Tubo de vidrio graduado
- Agua destilada
- Estufa
- Balanza legible a 0,01g
- Lija de grano grueso
- Pie de rey

El primer paso consiste en dar forma de ortoedro regular a las muestras, para conseguir esto, lijamos un fragmento grueso de muestra hasta obtener un volumen de 10 cm³. Poner a secar en la estufa durante toda la noche a 60°C.

Retirar de la estufa y esperar que se enfríe antes de pesar, este valor es la *masa del ortoedro*.

Con la ayuda del pie de rey, tomamos las dimensiones del ortoedro. Con éstos datos se podrá calcular el volumen aparente y la *densidad aparente*.

Completar un volumen de agua conocido en el tubo de vidrio graduado (*volumen inicial*). Se recomienda que este volumen sea menor a 90 ml porque se volverá a utilizar la muestra de suelo.

Sumergir el ortoedro dentro del tubo, este procedimiento se debe hacer con mucho cuidado, evitando salpicar. Tomar la lectura del nuevo volumen (*volumen final*).

Los cálculos de la porosidad se realizan de acuerdo a las ecuaciones 3.11, 3.12, 3.13 y 3.14.

$$\text{Volumen desplazado} = \text{volumen final} - \text{volumen inicial} \quad (\text{ec. 3.11})$$

$$\text{densidad real} = \frac{\text{masa ortoedro}}{\text{volumen desplazado}} \quad (\text{ec. 3.12})$$

$$\text{densidad aparente} = \frac{\text{masa ortoedro}}{\text{volumen ortoedro}} \quad (\text{ec. 3.13})$$

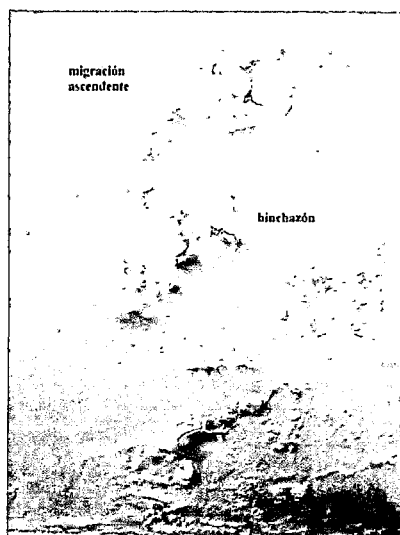
$$\text{Porosidad } (\varepsilon) = \left(1 - \frac{\text{densidad aparente}}{\text{densidad real}}\right) \times 100 \% \quad (\text{ec. 3.14})$$

III.1.6 Determinación del contenido de sales solubles

III.1.6.1. Recristalización de sales solubles en agua

La presencia de sales solubles en los materiales de construcción, como el adobe, es uno de los principales problemas en la conservación de los sitios arqueológicos. La recristalización en los poros provoca deterioros que son frecuentemente visibles en la superficie, por ejemplo, pérdida de cohesión, migración ascendente, descamación e hinchazón (fotografía 3.1). Las sales solubles se encuentran en el mismo material, así como en el suelo, en materiales usados en la conservación, en contaminantes atmosféricos, así como en productos generados por microorganismos (Borrelli, 1999).

Las sales solubles que se encuentran presentes en los adobes son principalmente sulfatos, cloruros, nitratos y carbonatos de sodio, potasio, calcio y magnesio, además de sales de bromo en muy baja concentración.



Fotografía 3.1: eflorescencia de sales recristalizadas en una pared. Se observa la hinchazón producida por la cristalización y la migración ascendente. Fotografía: S. Malpartida

Estas sales disueltas presentan una gran movilidad a través de los poros en el suelo. La presencia de sales en concentraciones superiores a los 1 000 ppm (0,1%) atrae con mayor facilidad la humedad e incluso altera el pH del suelo, favoreciendo así el biodeterioro (Aloiz, 2011).

Éstas pueden ser incorporadas al material de construcción a partir del suelo en el que se construye, por acción del aire, por capilaridad, Los mecanismos de transporte de las sales pueden ser a través de la lluvia, aumento en la humedad ascendente, infiltración y condensación o por otros medios. Cuando el agua se evapora, las sales pueden recristalizar ya sea en la superficie (eflorescencia) o dentro de los poros internos (subeflorescencia) de los materiales de construcción, representando un riesgo para las edificaciones. Las condiciones climatológicas determinan que tipo de cristalización prevalecerá, e.g. en sitios donde predomina un clima caluroso, seco y con presencia habitual de vientos, la subeflorescencia prevalecerá (Torraca, 1980).

Para realizar esta prueba seguimos un procedimiento de disolución de sales solubles en agua.

Materiales utilizados:

- Vaso de precipitado de vidrio graduado
- Agitador de vidrio
- Lunas de reloj
- Termómetro
- Papel filtro
- Pipeta
- Cristalizador
- Agua destilada
- Agitador magnético con calentador
- Barra magnética cubierta de teflón
- Balanza legible a 0,01g
- Estufa

Recuperamos el tubo graduado de vidrio que contiene la muestra (masa ortoedro) y el agua que se utilizó en la prueba de determinación de la porosidad (ítem III.4). Agregar agua destilada hasta completar 100 ml (volumen total) y transferir a un vaso de precipitado. Con la ayuda de la varilla de vidrio, mover constantemente la mezcla durante varios minutos.

Introducir la barra magnética, cubrir con la luna de reloj y llevar el vaso de precipitado al agitador magnético con calentador. Agitar la muestra durante el tiempo de realización de la prueba.

Calentar hasta un intervalo de 85 °C a 90 °C. Controlar la temperatura constantemente.

Con la pipeta, extraer 40 ml de la solución y filtrar. Esto ayudará a retener los granos gruesos. Dejar enfriar.

Pesar el cristalizador, este valor es *masa cristalizador*.

Tomar 20 ml de la solución filtrada y verter en el cristizador. Llevar a la estufa entre 100°C y 110°C, durante un día o más, hasta que el agua se haya evaporado completamente.

Retirar de la estufa el cristizador y dejar que se enfríe. Pesar, este valor obtenido es *masa total*.

Las ecuaciones para encontrar el contenido de sales solubles en agua se muestran a continuación:

$$\text{masa sales solubles recristalizadas} = \text{masa total} - \text{masa cristizador.} \quad (\text{ec. 3.15})$$

$$\% \text{ sales solubles} = \frac{(\text{volumen total}) \times (\text{masa sales solubles recristalizadas})}{20 \times \text{masa ortoedro}} \times 100\% \quad (\text{ec 3.16})$$

III.1.6.2. Caracterización de sales solubles en agua por espectrometría de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva (EDXRF) (Nascimento, 1999)

La fluorescencia es una técnica no destructiva de caracterización multielemental. Esta técnica mide la intensidad de los rayos X emitidos por los elementos que constituyen una muestra.

Los rayos X producidos en un tubo de rayos X inciden sobre la muestra y excitan los electrones de las capas más internas de los átomos de los elementos constituyentes del material, creándose un estado excitado; los electrones de las capas externas decaen para cubrir la vacancia creada y en este decaimiento se emiten rayos X de energías características (figura 3.5).

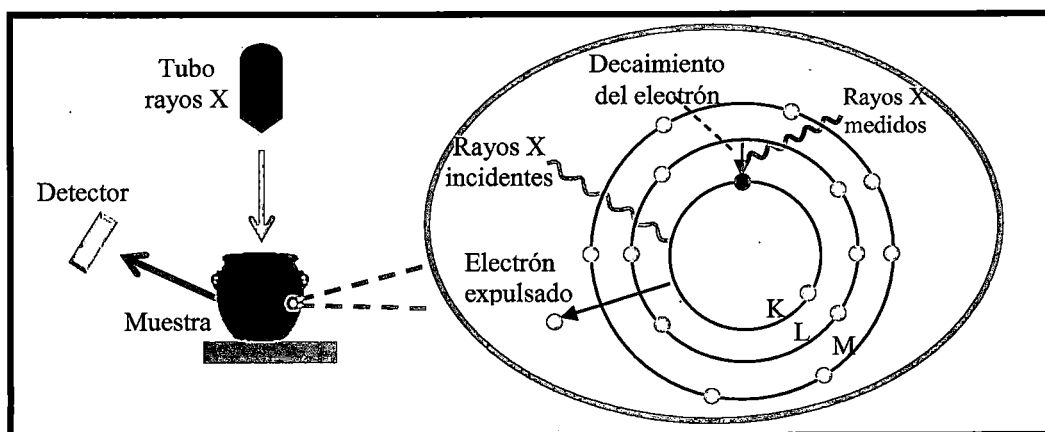


Figura 3.5: fluorescencia de rayos X dispersión de energía. Fuente: diagrama tomado y modificado de www.oxford-instruments.com, consultado el 06/11/2013.

La energía de los electrones en las capas es función del número atómico del elemento (Z), de la constante de Moseley (b) y el número cuántico principal (n) de acuerdo con la ecuación 3.17:

$$E = 13,65 \frac{(Z-b)^2}{n^2} \quad (\text{ec. 3.17})$$

La constante de Moseley toma valores de 1 y 7,4, para las capas K y L, respectivamente. El número cuántico principal del nivel electrónico toma valores de 1 para capa K, 2 para capa L, etc.

Existen dos modos de detección de fluorescencia: detección de energía dispersiva de rayos X (EDXRF) y detección de longitudes de onda de rayos x dispersiva (WDXRF).

En el modo dispersión por longitud de onda (WDXRF), los rayos X característicos se difractan por un cristal, que según a la Ley de Bragg, selecciona longitudes de onda (figura 3.6a).

En el modo EDXRF la selección de energías de rayos x características se realiza gracias al detector semiconductor utilizado (figura 3.6b). Los detectores más utilizadas son los centelladores sólidos y semiconductores de Si(Li) y Ge(Li).

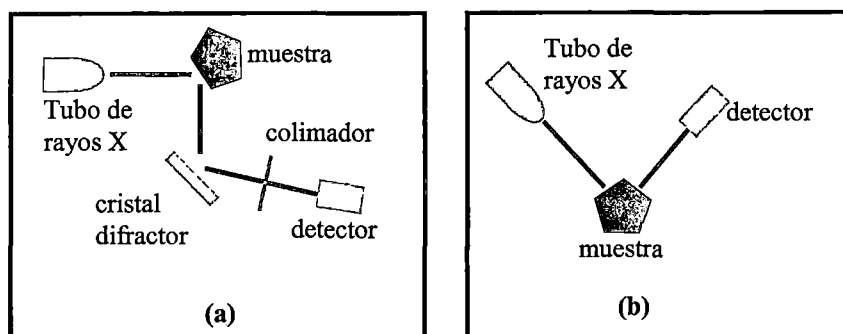


Figura 3.6: fluorescencia de rayos x (a) en WDXRF (b) en EDXRF. Fuente: diagrama tomado y modificado de www.oxford-instruments.com, consultado el 06/11/2013.

III.1.7 Determinación del contenido de carbonatos

Los carbonatos de sodio, potasio, calcio, magnesio y amonio en los materiales de construcción reaccionan con el ácido presente en la lluvia o en el rocío. Estos carbonatos pueden ser transportados y depositados en otro lugar diferente de donde ocurrió la reacción o puede depositarse en el mismo lugar si hubiera poca cantidad de agua (Torraca 1988).

En el presente trabajo se realizó la eliminación de carbonatos mediante un protocolo estándar por ataque con ácido clorhídrico diluido.

Materiales utilizados:

- Ácido clorhídrico diluido 1N
- Agua destilada
- Tamiz No 60 (abertura de malla 0,250 mm)
- Papel filtro
- Agitador de vidrio
- Estufa
- Balanza legible a 0,01g
- Vaso de precipitado de vidrio
- Papel film
- Medidor de pH Extech Instruments.

Tomar alrededor de 40 g de muestra representativa. Tamizar con el tamiz No 60.

Tomar como mínimo 10 g de la muestra que ha logrado pasar por el tamiz. Pesar la muestra, este valor es *masa inicial*.

Colocar la muestra en el vaso de precipitado y agregar 50 ml de HCl (1N) durante 80 minutos. Agitar bien con ayuda del agitador de vidrio. Cubrir el vaso con el papel film.

Luego del tiempo, filtrar la solución para no perder muestra.

Enjuagar con agua destilada hasta obtener pH neutro.

Secar la muestra en la estufa por dos días, entre 100 °C - 110 °C.

Retirar la muestra de la estufa, dejar enfriar. Pesar la muestra, este valor es *masa final*.

La ecuación utilizada para calcular el contenido de carbonatos se muestra a continuación:

$$\% \text{ carbonatos} = \left(\frac{\text{masa inicial} - \text{masa final}}{\text{masa inicial}} \right) \times 100\% \quad (\text{ec. 3.18})$$

SEGUNDA PARTE: PREPARACIÓN DE LOS FACSIMILES

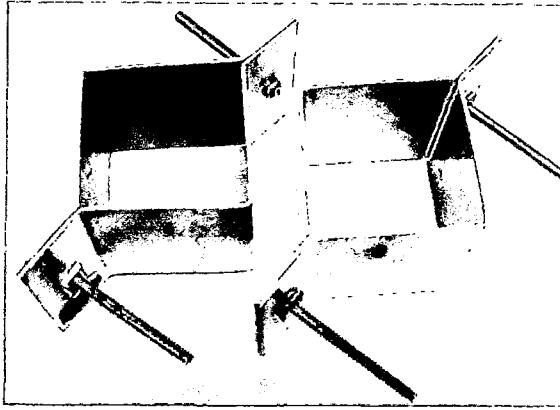
En esta segunda parte describiremos los procedimientos que se utilizaron para el armado de facsímiles. Los facsímiles son pequeñas réplicas de los adobes con una capa de enlucido, tal cual se encuentran en el Templo Pintado del Sitio de Pachacamac.

III.2. Preparación de facsímiles

Realizamos pequeñas réplicas de los adobes recubiertos con una capa de enlucido con el fin de facilitar la manipulación durante la conducción de las diversas pruebas realizadas. Esto está basado en los trabajos realizados por Carr (2002) y Ferron (2007).

Los facsímiles se realizaron con el adobe de la muestra 1 del Templo Pintado.

Los facsímiles se armaron con una base de tierra del adobe, conservando todas las características granulométricas de la muestra 1. El enlucido del facsímil se realizó conservando las fracciones granulométricas y el espesor del enlucido de la muestra 5. El armado se realizó con la ayuda de un molde desmontable de aluminio de dimensiones 5,0 cm x 5,0 cm x 5,0 cm (fotografía 3.2).



Fotografía 3.2: moldes desmontables de aluminio. Las dimensiones del molde son 5 cm x 5 cm x 5 cm.

La proporción utilizada para la base fue de 125,0 g de tierra de adobe con alrededor de 35,0 ml de agua. Con esta cantidad de mezcla se completó el molde armado hasta 4,0 cm de espesor.

Una vez que la mezcla se vierte sobre el molde, se deja reposar durante cinco minutos y luego se desmolda.

Se dejó secar al aire libre durante dos o tres días, luego se terminó el secado en una estufa a $90^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante dos días y finalmente se completó el ciclo dejando por dos días al aire libre. Una vez que la base estuvo seca, se colocó nuevamente en los moldes para completar el enlucido.

En la preparación del enlucido también se utilizó la tierra de la muestra 1 porque no se contó con cantidad suficiente de la muestra 5. Para preparar el enlucido del facsímil, se realizó previamente una separación granulométrica de la muestra 1 (grava, arena y limo más arcilla).

La proporción utilizada para realizar una capa de enlucido fue de 24,0 g. de tierra con 10 ml de agua. La mezcla se coloca sobre la base de adobe del facsímil, previamente humedecido para facilitar la adherencia del enlucido, hasta completar un espesor de 4,0 mm. El ciclo de secado del enlucido es similar al de la base mencionada anteriormente.

TERCERA PARTE: PREPARACIÓN DE LOS CONSOLIDANTES

En esta tercera parte expondremos las consideraciones importantes acerca de los consolidantes, su origen y el procedimiento de preparación que hemos realizado

III.3. Los consolidantes

III.3.1 Descripción

Los consolidantes son sustancias adhesivas, orgánicas o inorgánicas, que se aplican sobre el bien cultural con el fin de mantener la cohesión y mejorar sus propiedades mecánicas retrasando el deterioro inevitable. El consolidante debe adherir la zona que presente un desprendimiento al resto de la estructura que no presenta daño alguno.

Un bien cultural se debe intervenir a través de una consolidación únicamente cuando se identifiquen problemas de cohesión. Estas intervenciones se hacen de acuerdo a los artículos establecidos en la Carta Internacional sobre la Conservación y la Restauración de Monumentos y Sitios (Carta de Venecia 1964).

Villegas *et al.* (2003) e Illescas (2012) mencionan que los consolidantes deben tener diferentes cualidades que los califiquen como ideales para un uso correcto, algunas de estas características se mencionan a continuación:

- Capacidad de mejorar las propiedades mecánicas de la superficie, como: la resistencia a la compresión y a la tracción, la dureza superficial o la resistencia a la abrasión.
- Profundidad de penetración, debe ser suficiente para asegurar la cohesión entre las zonas dañadas y las no dañadas; sin embargo se tiene que tomar en cuenta la variación en la región de interfase, ya que si se observa un cambio brusco puede llegar a suceder un desprendimiento de la capa superficial tratada.
- Mínima capacidad de alterar la porosidad, pues si un tratamiento produce una disminución en la porosidad, el material es susceptible a alteraciones.

- Permitir la libre circulación de la humedad para que no se presenten problemas de eflorescencia.

- Debe ser compatible con el material de construcción, en el caso del sitio de Pachacamac, se busca consolidantes compatibles con el adobe, esto significa que debe tener propiedades químicas y físicas similares, sin causar tensiones internas.

- No producir cambios en el aspecto, se tiene que considerar que la zona consolidada no debe producir alteraciones en la apariencia (brillo y color).

- Debe ser reversible, es decir, que pueda retirarse en cualquier momento.

Ferron (2007) menciona más características que un consolidante debería tener. Desde luego que mientras más características exigimos al consolidante, menor será la probabilidad de encontrar uno que cumpla con todos los requisitos. Las siete características mencionadas anteriormente nos parecen las más importantes a evaluar en un consolidante.

La aplicación de los consolidantes puede realizarse de diversas formas, éstas varían de acuerdo a la naturaleza del sustrato, de la fragilidad y el área a tratar. En algunos casos se puede aplicar directamente sobre la superficie a consolidar con la ayuda de una brocha, en otros casos la aplicación se realiza por medio de un gotero, de un spray o con una brocha y papel japonés.

Smith *et al.* (1989) realizan una clasificación de los consolidantes de acuerdo a su origen:

a. Acuosa de origen vegetal:

- Adhesivos de almidón: pasta de almidón de arroz, pasta de almidón de trigo.
- Adhesivos vegetales: goma arábica, agar agar, funori, goma de tragacanto.
- Derivados de celulosa: éter de celulosa, celulosa metil, celulosa acetato, etc.

b. Proteínas de origen animal:

- Colágeno: gelatina, goma de huesos, goma de colágeno de pergamino, etc.

- Caseína: leche.
- Albúmina

c. Polímeros sintéticos

- Soluciones de acetato de polivinilo.
- Soluciones de alcohol de polivinilo.
- Soluciones de resinas acrílicas, por ejemplo paraloid B72®

En el desarrollo de nuestro trabajo hemos aplicado dos adhesivos de origen vegetal, tales como mucílago de tuna, agar agar; un adhesivo de origen animal, tal como gelatina y un adhesivo tipo polímero sintético, tal como paraloid B72®.

III.3.1.1 Consolidantes de origen vegetal (según Smith et al, 1989)

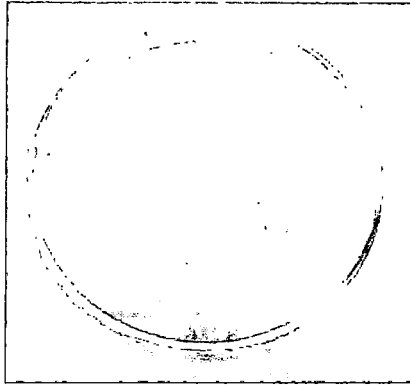
Los consolidantes de origen vegetal son utilizados desde tiempos antiguos, aunque sus propiedades adhesivas son relativamente débiles, aun así funcionan bien como coloides protectores, previniendo la aglomeración y asentamiento de partículas finas. Debido a esta propiedad es que han sido utilizados como aglutinantes en pinturas. Las gomas son complejos polisacáridos, coloides amorfos no cristalinos. Se extraen de la exudación natural de ciertos árboles o algas marinas.

Las gomas naturales pueden ser solubles en agua (agar agar, goma arábica, etc.), parcialmente solubles (goma de tragacanto, etc.) e insolubles en agua (celulosa acetato, etc.), además son susceptibles a ataques microbianos.

a. Agar agar

El agar agar o agar se obtiene al aislar el hidocoloide agarosa de las algas marinas. Es usado ampliamente como medio de cultivo microbiológico.

Este polisacárido puede absorber hasta 20 veces su peso en agua. Comercialmente es disponible en tiras finas largas y fibrosas (fotografía 3.3) o en forma granulada. Es de color blanco a amarillo pálido, sin olor. El agar agar es insoluble en agua fría y en alcohol, pero se disuelve en agua caliente.



Fotografía 3.3: tiras de agar agar comercial.

No nos fue posible encontrar publicaciones que den cuenta sobre los trabajos de conservación en los que hayan empleado agar agar como consolidante, decidimos preparar soluciones a tres concentraciones diferentes: 3,7%, 1,2% y 0,7%

a.1. Solución de agar agar al 3,7% en P/P:

Materiales utilizados:

- Vaso de precipitado de 100 ml
- Plancha calentadora
- 2,7 g de agar agar
- 70 g de agua destilada
- Agitador de vidrio
- Agitador magnético
- Barra magnética forrada de teflón

Verter los 70 g de agua en el vaso de precipitado y llevar a hervor. Una vez alcanzada esta temperatura, agregar las tiras de agar agar y revolver con el agitador de vidrio hasta que la mayor parte se haya disuelto. Introducir la barra magnética para mantener una agitación constante y disolver todo el agar agar.

Una vez que todo está disuelto, retirar la solución de la plancha.

a.2. Solución de agar agar al 1,2% en P/P:

Materiales utilizados

- Vaso de precipitado de 100 ml
- Plancha calentadora

- 1,3 g de agar agar
- 110 g de agua destilada
- Agitador de vidrio
- Agitador magnético
- Barra magnética forrada de teflón

Verter los 110 g de agua en el vaso de precipitado y llevar a hervor. Una vez alcanzada esta temperatura, agregar las tiras de agar agar y revolver con el agitador de vidrio hasta que la mayor parte se haya disuelto. Introducir la barra magnética para mantener una agitación constante y disolver todo el agar agar.

Una vez que todo está disuelto, retirar la solución de la plancha.

a.3. Solución de agar agar al 0,7% en P/P:

Materiales utilizados

- Vaso de precipitado de 100 ml
- Plancha calentadora
- 0,7 g de agar agar
- 100 g de agua destilada
- Agitador de vidrio
- Agitador magnético
- Barra magnética forrada de teflón

Verter los 100 g de agua en el vaso de precipitado y llevar a hervor. Una vez alcanzada esta temperatura, agregar las tiras de agar agar y revolver con el agitador de vidrio hasta que la mayor parte se haya disuelto. Introducir la barra magnética para mantener una agitación constante y disolver todo el agar agar.

Una vez que todo está disuelto, retirar la solución de la plancha.

b. Mucílago de tuna

Es un polisacárido de alto peso molecular extraído de los cladodios de tuna. Es de consistencia muy viscosa. Al estar en remojo en agua destilada, el mucílago desprendido presenta coloración verdosa. Reúne todas las características descritas para consolidantes de origen vegetal.

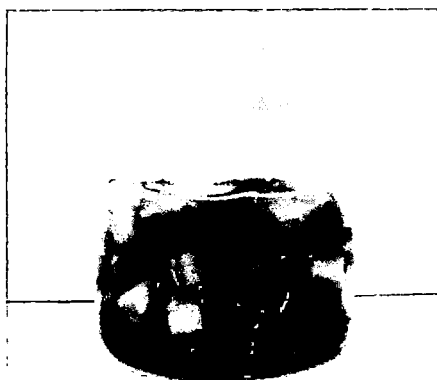
El siguiente procedimiento está basado en los trabajos de investigación del equipo de conservadores del Templo Pintado en Pachacamac (Pozzi-Escot, Pacheco *et al.*, 2013).

b.1. Solución de mucílago al 46% en P/P:

Materiales utilizados

- Vaso de precipitado de 500 ml
- 275 g de agua destilada
- 233,4 g de cladodio de tuna, sin piel
- Agitador de vidrio
- Papel film
- Colador

Verter los 275 g de agua en el vaso de precipitado y agregar el cladodio de tuna sin piel, en trozos pequeños. Remover con el agitador de vidrio. Cubrir el vaso de precipitado con el papel film y dejar remojar durante dos días (fotografía 3.4).



Fotografía 3.4: mucílago de tuna extraído al remojar trozos de cladodio sin piel.

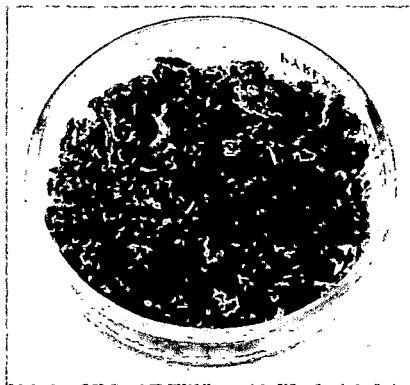
Una vez transcurrido el tiempo de remojo, colar lo que se obtuvo para eliminar residuos de cladodio.

b.2. Solución de mucilago al 46% en P/P:

Materiales utilizados:

- 269 g de cladodio de tuna, sin cáscara y en trozos.
- Dos cristalizadores
- Estufa
- 30 g de agua destilada.
- Vaso de precipitado
- Colador

Se colocaron los trozos de cladodio repartidos en los dos cristalizadores y se llevó a secar a la estufa a 65° por dos días. Luego de este tiempo se retiró de la estufa y luego de dejarlo enfriar, se pesó. El resultado fue 26,8 g de cladodio seco (fotografía 3.5). Este procedimiento se realizó solo para obtener el cladodio concentrado, sin agua.



Fotografía 3.5: cladodio de tuna deshidratado.

En un vaso de precipitado se colocó el cladodio seco y se agregó aproximadamente los 30 ml de agua y se dejó remojar durante un día.

Finalmente, la solución se coló para eliminar cualquier resto de cladodio.

III.3.1.2 Consolidantes de origen animal (según Smith et al, 1989)

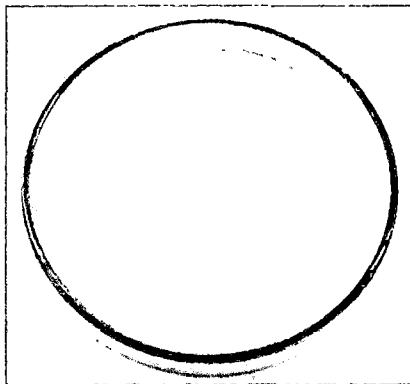
c. Gelatina

Los adhesivos como la gelatina, cola de pergamino, cola de patas de animales, cola de huesos y cola extraídas de peces, están formados por colágenos. Este tipo de adhesivos de origen animal han sido usados desde tiempos antiguos.

El colágeno es la proteína estructural de los tejidos conectivos, piel de los animales y peces. Cuando estos materiales son calentados en agua, degradan parcialmente la proteína, la gelatina es filtrada a partir de esto. Un hervido prolongado también extrae las impurezas y forma compuestos que son de color oscuro. La gelatina y la cola de pergamino son el resultado de tiempos de calentamiento cortos.

Los adhesivos de origen animal en general tienen pesos moleculares entre el rango 20 000 y 250 000, mientras que los adhesivos de origen ictiológico tienen peso molecular entre 30 000 y 60 000.

Los adhesivos de origen animal están disponibles en forma de goma, granos cristalinos (fotografía 3.6), hojas, así como pegamientos líquidos fríos. Su viscosidad es del orden de milipoises.



Fotografía 3.6: gelatina comercial en granos.

Los rangos de color varían desde el blanco hasta el amarillo pálido para la gelatina, y en sus formas menos puras presentan matices oscuros.

La gelatina es soluble en agua e insoluble en solventes orgánicos. Los pegamentos de origen ictiológico son miscibles con alcohol y acetona. Las soluciones de gelatina y la cola de pergamino pueden ser diluidas con etanol o alcohol isopropílico.

Cuando el adhesivo está constituido de colágeno impuro, éste puede devenir quebradizo, puede retraerse y oscurecerse con el transcurrir del tiempo. Con el tiempo la gelatina puede oscurecerse, aunque esta variación es apenas perceptible si se usa una solución diluida.

Los adhesivos de colágeno pueden perder fuerza en el tiempo como resultado de impurezas. Son susceptibles al ataque microbacteriano, siendo las gelatinas alcalinas las más susceptibles a este ataque.

En la realización de nuestro trabajo hemos preparado dos soluciones de gelatina, una al 5% y otra al 3%, estos procedimientos están basados en los trabajos de consolidación llevados a cabo por Ferron (2007).

c.1 Solución de gelatina al 5% en P/P:

Materiales utilizados:

- 7,1 g de gelatina natural granulada
- Vaso de precipitado de 200 ml
- Plancha calentadora
- 135 g de agua destilada
- Agitador de vidrio.
- Termómetro

Se colocó la gelatina granulada en el vaso de precipitado y se agregó una parte del volumen total de agua, disolviendo todo completamente.

Se llevó a calentar la solución sobre una plancha y se removió constantemente con la ayuda del agitador de vidrio. Mantuvimos una temperatura alrededor de los 50°C para diluir completamente la gelatina, cuidando de no elevar la temperatura a más de 50°C.

c.2. Solución de gelatina al 3% en P/P:

Materiales utilizados:

- 15 ml de solución de gelatina al 5%
- Vaso de precipitado de 100 ml
- Plancha calentadora
- 10 ml de agua destilada
- Agitador de vidrio.
- Termómetro

Se agregó al vaso de precipitado los 15 ml de solución de gelatina al 5% y se calentó sobre la plancha calentadora hasta los 50°C. Agregamos los 10ml de agua y con el agitador de vidrio se homogenizó completamente la solución.

III.3.1.3 Consolidante tipo polímero sintético (según Smith et al, 1989)

d. Paraloid B72 ®

Vendido bajo el nombre de paraloid B72 ®, esta resina está formada por 70% de etil metacrilato, 30% de metil acrilato o acrilato de metilo, la estructura química se muestra en la figura 3.7 Esta marca comercial es un polímero creado por Rohm y Haas.

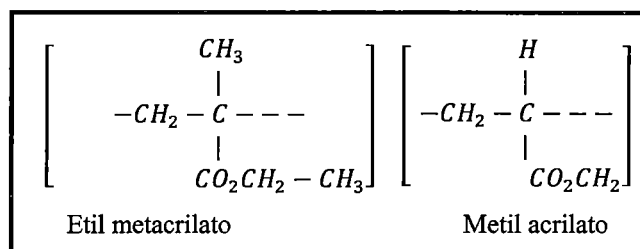
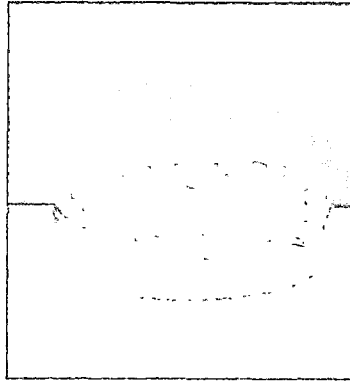


Figura 3.7: estructura química del paraloid B72®

El paraloid B72 es soluble en tolueno, xylene, acetona, etil acetato, amyl acetato y metil etil cetona. Permanece soluble durante el envejecimiento.

La plasticidad interna da a estas resinas una excelente flexibilidad y es por esta razón que son típicamente usadas como consolidantes, fijativos o como recubrimientos de superficies. Las resinas acrílicas son adhesivos fuertes y durables, son

transparentes y sin color. Comercialmente son disponibles en forma de pequeñas cuentas (fotografía 3.7) o disueltas en solventes de soluciones concentradas.



Fotografía 3.7: cuentas de paraloid B72 ® antes de la disolución.

La resina acrílica presenta un acabado estable, resistente al deterioro y no presenta un acabado amarillento, en concentraciones bajas (menores a 3%). Sin embargo cambia la apariencia en algunos colores. Es compatible con vinil, resinas celulósicas y siliconas. No son susceptibles a ataques bacterianos.

En la realización de nuestro trabajo hemos preparado dos soluciones de gelatina, una al 6% y otra al 3,6%.

d.1 Solución de Paraloid B72 al 6% en P/P:

Materiales utilizados:

- 4,0g de paraloid B72
- 80 ml de thinner
- Agitador de vidrio
- Frasco de vidrio con tapa hermética

Se colocó toda la masa de paraloid dentro del frasco de vidrio y se agregó todo el volumen de thinner. Tapamos el frasco y dejamos reposar durante 24 horas.

Al cabo de este tiempo, destapamos el frasco y agitamos para remover lo que se pudo haber adherido a la base del frasco.

d.2 Solución de Paraloid B72 al 3,6% en P/P:

Materiales utilizados:

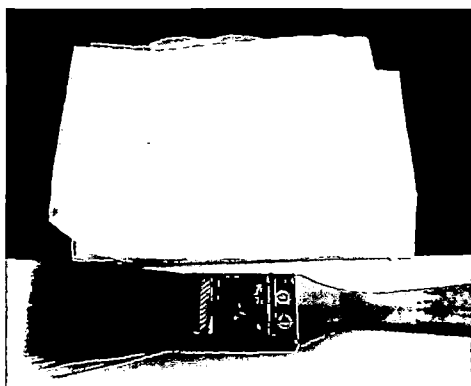
- 2,4g de paraloid B72
- 80 ml de thinner
- Agitador de vidrio
- Frasco de vidrio con tapa hermética

Se colocó toda la masa de paraloid dentro del frasco de vidrio y se agregó todo el volumen de thinner. Tapamos el frasco y dejamos reposar durante 24 horas.

Al cabo de este tiempo, destapamos el frasco y agitamos para remover lo que se pudo haber adherido a la base del frasco.

III.3.2 Aplicación de los consolidantes

Dada la naturaleza porosa y no homogénea de los enlucidos en los facsímiles, optamos por aplicar los consolidantes con una brocha, pero no aplicarla directamente, sino utilizando papel japonés a manera de filtro y evitar arrastrar partículas de la superficie (fotografía 3.8). Así mismo, recomendamos la utilización de guantes de látex durante la aplicación del consolidante, para trabajar sobre el facsímil, disminuyendo el riesgo de contaminación por manipulación.



Fotografía 3.7: papel japonés y brocha utilizados en la aplicación de los consolidantes.

CUARTA PARTE: EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL ENLUCIDO CONSOLIDADO

En esta última parte del capítulo describiremos las pruebas que hemos conducido sobre los enlucidos consolidados para evaluar los cambios en las propiedades físicas. Estas

pruebas son: test de desprendimiento, medición de la dureza del consolidante, medición de la profundidad de penetración, medición de la apariencia y la medición de la abrasión por aire comprimido.

III.4 Test de desprendimiento

Este test está basado en la norma ASTM D4214 - 07 que describe procedimientos recomendados para evaluar el grado de pulverización de pinturas exteriores. Este estándar provee dos métodos, uno de ellos es la utilización de cinta adhesiva para desprender cierta cantidad de pintura a evaluar y luego compararla con un patrón.

En el presente trabajo, realizamos la prueba de la cinta adhesiva para medir el grado de fijación de los consolidantes al enlucido luego de cada capa de aplicación. Así mismo, este test nos ha permitido determinar el número de aplicaciones necesarias para obtener el mínimo de desprendimiento sobre los enlucidos.

Materiales utilizados:

- Cinta adhesiva transparente de polipropileno, marca 3M Scotch™.
- Bombilla de jebe
- Lápiz con borrador en el extremo
- Tijeras
- Papel blanco, tipo bond

Con la bombilla de jebe soplamos la superficie del enlucido para retirar todos los granos desprendidos.

Cortamos un pedazo de cinta transparente y adherimos al enlucido tratado con el consolidante.

Con el borrador del lápiz, pasamos por toda la cinta adhesiva, sin aplicar demasiada presión.

Desprendimos la cinta y adherimos sobre un papel blanco para no perder los granos desprendidos.

III.4.1. Procesamiento de imágenes y conteo

Para procesar la información obtenida a partir del test de adherencia, necesitamos estimar la cantidad de granos desprendidos. Con este fin hemos utilizado el programa de uso libre *Image Tool*© versión 3.00.

Lo primero a realizar es la conversión a escala de grises de las fotografías obtenidas del test de adherencia. A partir de ésta, se realiza un ajuste en el “tono del fondo” (threshold), obteniendo imágenes en blanco y negro. Con la herramienta conteo de objetos se determina la cantidad de objetos encontrados en la imagen.

III.5. Medición de la dureza

La dureza de un material es característica de su superficie y está relacionada con el comportamiento elástico y plástico del mismo. Los ensayos de dureza miden la resistencia al rayado, la resistencia a la indentación del material, la resistencia elástica o de rebote (Santos *et al*, 2001).

Existen varios métodos para realizar los ensayos de dureza: Rockwell, Brinell, Vickers, Knoop, Shore, etc. La diferencia entre estos métodos es la forma del indentador, que puede ser una esfera, diamante en forma de cono de 120° de apertura o un diamante en forma piramidal de 136° de apertura (Benavente, 2011).

En el presente trabajo hemos realizado los ensayos de dureza por el método de Vickers, que de acuerdo a las características pequeñas de la indentación producida en la superficie se le denomina microdureza Vickers.

III.5.1 Microdureza Vickers (HV)

Este método está caracterizado por el indentador de diamante de forma piramidal, de base cuadrada y ángulo de apertura 136°. El indentador desciende de forma vertical y a velocidad constante hasta la muestra, con una carga **P** constante. Una vez que se tiene la huella de indentación (figura 3.8), se mide la longitud de las diagonales d_1 y d_2 , tal como se muestra en la fotografía 3.9.

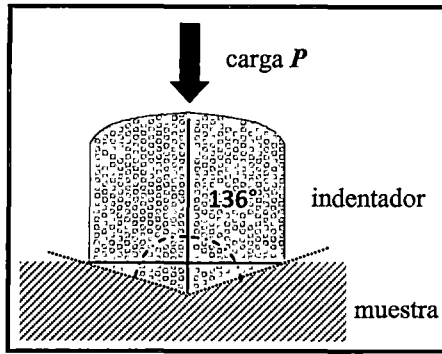
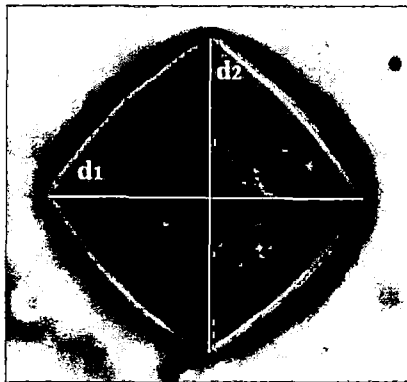


Figura 3.8: Diagrama del ensayo de microdureza Vickers.



Fotografía 3.9: huella de indentación sobre una película de solución de gelatina al 5%.

Se calcula el valor medio de la diagonal d , de acuerdo a la siguiente relación

3.19:

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (\text{ec. 3.19})$$

La microdureza Vickers (HV) se calcula mediante la relación 3.20.

$$HV = \frac{1,8544 P}{d^2} \quad (\text{ec. 3.20})$$

Los valores resultantes de la ecuación 3.20 se encuentran en tablas que relacionan la carga P (expresada en kgf), la dureza HV y la distancia d promedio.

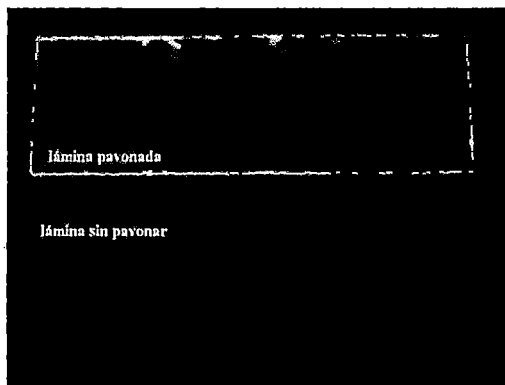
El valor de microdureza consta del número hallado en las tablas, seguido de las siglas HV (hardness Vickers) y por último, el valor de la carga utilizada en kgf.

III.5.1.1 Preparación del sustrato de vidrio

Para medir la microdureza de los consolidantes es necesario adherirlas sobre un sustrato que permita su manipulación. Con este objetivo aplicamos los consolidantes sobre láminas de vidrio portaobjeto.

Es necesario aumentar la rugosidad de las láminas portaobjetos para lograr la completa adherencia del consolidante, para ello utilizamos una pasta comercial Grabaglass™, que es especial para dar un efecto pavonado al vidrio. Esta pasta es una mezcla de ácidos corrosivos tal como HF, HCl entre otros.

El procedimiento de pavonado de las láminas portaobjetos consistió en cubrir toda la superficie de éstas con la pasta Grabaglas™, dejándola actuar durante doce horas. Al cabo de este tiempo, se enjuagó con abundante agua (fotografía 3.10).



Fotografía 3.10: láminas portaobjetos pavonada (arriba) y sin pavonar (abajo).

III.5.1.2 Medición de la microdureza Vickers

A continuación exponemos el método utilizado para la medición de la microdureza Vickers.

Materiales e instrumentos utilizados

- Láminas portaobjetos pavonadas
- Tinte de color oscuro de uso comestible, a base de propilen glicol y agua
- 20 ml de solución de consolidante
- Gotero
- Microdurómetro Buehler®, con cargas de 100 kgf y 300 kgf
- Microscopio metalográfico Nikon®

- Escala de 200 $\mu\text{m} \pm 10 \mu\text{m}$
- Cámara fotográfica
- Pinceles

Tomamos 20 ml del consolidante y agregamos tres gotas de tinte, removimos bien hasta lograr que el consolidante esté homogéneamente coloreado.

Con la ayuda del pincel colocamos y esparcimos el consolidante coloreado sobre toda la superficie de la lámina portaobjeto pavonada. Dejar secar, si es posible en estufa a 60°C, durante dos a tres días. Volver a repetir el procedimiento aplicando dos capas más de consolidante.

Una vez que se tuvo listo el montaje del consolidante sobre las láminas, se colocan sobre el portamuestra del microdurómetro. Realizamos un mínimo de cinco huellas de indentación, en diferentes lugares y por cada lámina portaobjetos. Repetimos lo mismo sobre una lámina que no tenía ningún consolidante adherido, éste se utilizó como blanco.

Retiramos las láminas del microdurómetro y las colocamos en el portamuestra del microscopio metalográfico. Identificamos las indentaciones y fotografiamos, así como la escala de 200 μm .

Aplicando la ecuación 3.20 a los valores medidos se obtuvieron los valores correspondientes de HV.

III.6. Medición de la profundidad de penetración del consolidante

La medición de la profundidad de penetración del consolidante en el enlucido es un parámetro importante porque es una medida de la extensión del mejoramiento de la adhesión del enlucido al adobe.

El procedimiento utilizado en el presente trabajo lo describimos a continuación.

Materiales e instrumentos utilizados

- 30 ml de soluciones de consolidantes
- Tintes vegetales de colores oscuros a base de propilen glicol
- Facsímiles
- Taladro-torno multipropósito Karson™
- Lupa binocular
- Cámara fotográfica
- Escala calibradora de $200\ \mu\text{m} \pm 10\ \mu\text{m}$
- Láminas portaobjetos
- Plastilinas

Para medir la penetración tinturamos la solución de consolidante con colorante oscuro comestible. Para esto mezclamos dos gotas de colorante con 30 ml de solución de consolidante y mezclamos hasta obtener una coloración homogénea.

Aplicamos el consolidante sobre el enlucido de los de los facsímiles, de la forma descrita en el ítem III.3.2. Dejamos secar. Aplicamos únicamente una capa de consolidante sobre cada enlucido.

Con el taladro realizamos cortes en los facsímiles, de tal forma que obtengamos pedazos cúbicos. Adherimos con la plastilina sobre los portaobjetos, los nivelamos de forma que estén lo más horizontal posible. Realizamos observaciones con la lupa binocular y tomamos fotografías de las áreas tinturas y de la escala, conservando el mismo aumento.

III.7 Medición de la apariencia en una superficie rugosa

III.7.1. Reflexión especular y difusa

Los materiales opacos reflejan la mayor parte de la luz incidente. Cuando la luz incide sobre una superficie, una parte de ella se transmite y otra se refleja. Si la superficie de reflexión presenta muy poca rugosidad, la mayor parte de la reflexión será especular (figura 3.9a); mientras que en las superficies rugosas la mayor parte de la reflexión será difusa (figura 3.9b).

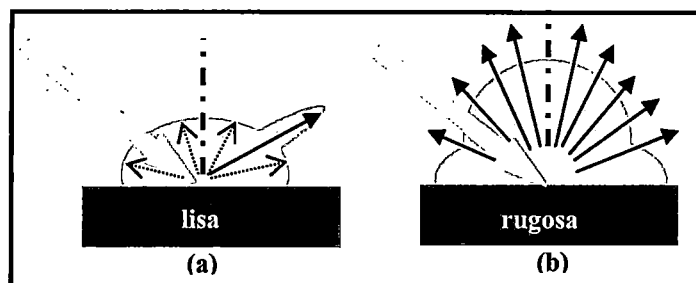


Figura 3.9: (a) reflexión especular sobre una superficie lisa. (b) reflexión difusa sobre una superficie rugosa. Fuente: figuras tomadas y modificadas de <http://www.hunterlab.com/application-notes.html>, recuperado el 15/10/2012.

La apariencia de una superficie está caracterizada por el brillo y el color (HunterLab, 2012), por ejemplo, si comparamos dos superficies que tengan el mismo color, pero diferente textura, será la superficie lisa quien tenga apariencia oscura y saturada, mientras que la superficie rugosa tendrá apariencia brillante y menos saturada (figura 3.10), esto se debe a la combinación de la reflexión difusa (color) y al aumento en la dispersión debida a la reflexión especular (brillo).

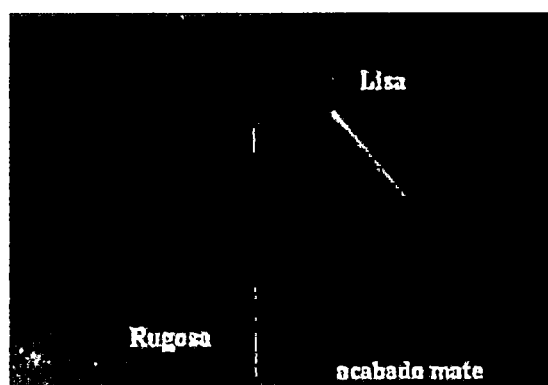


Figura 3.10: la superficie rugosa es de apariencia brillante y menos saturada y la superficie lisa es de apariencia oscura y saturada. Fuente: figura tomada y modificada de <http://www.hunterlab.com/application-notes.html>, recuperado el 15/10/2012.

Las superficies en los sitios arqueológicos son altamente rugosas y la mayor parte de ellas no tienen iluminación en dirección preferencial; bajo estas condiciones podemos decir que la iluminación sobre ellas es difusa.

Cuando la iluminación es este tipo, la luz reflejada también será difusa (Curiel, 2004), por lo tanto nuestro trabajo ha sido limitado únicamente a realizar

iluminación difusa y medir la reflexión difusa sobre las superficies consolidadas de los facsímiles para evaluar si el tratamiento produjo algún cambio en la apariencia.

III.7.2. Medición de la reflectancia difusa

Se denomina reflectancia a la relación entre el flujo radiante reflejado y el radiante incidente. La reflectancia se puede medir con los llamados dispositivos de geometría direccional ($45^\circ/0^\circ$ o $0^\circ/45^\circ$) o difusa ($d/8^\circ$ o $8^\circ/d$).

En nuestro trabajo hemos utilizado un dispositivo de geometría difusa $d/8^\circ$. La configuración de estos dispositivos $d/8^\circ$ utiliza iluminación difusa y el detector se ubica a 8° respecto de la normal (figura 3.11). Así mismo, se puede incluir o excluir la reflectancia especular cerrando la trampa (figura 3.11a) o abriendo la trampa (figura 3.11b), respectivamente. Los elementos que constituyen esta configuración son el iluminador, una esfera integradora y un espectrofotómetro.

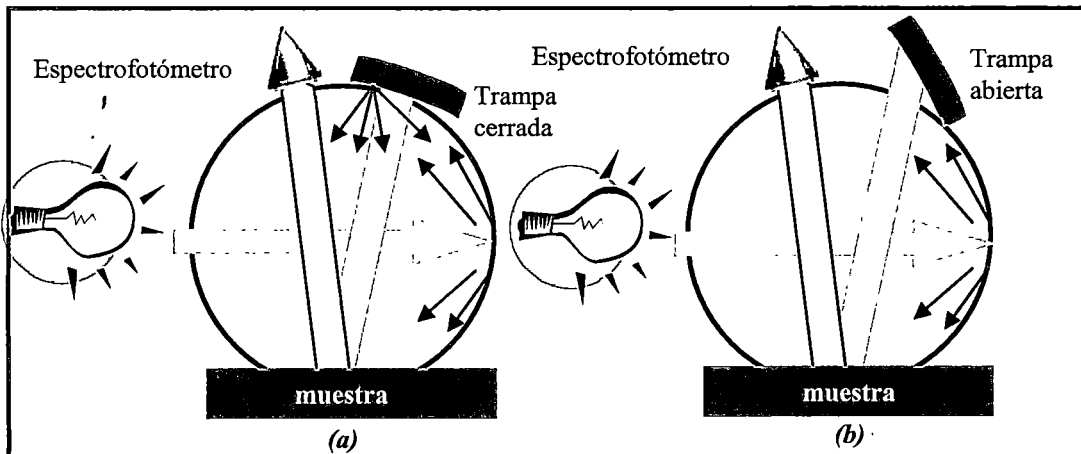


Figura 3.11: dispositivo de geometría direccional $d/8^\circ$. (a) trampa cerrada (b) trampa abierta. Fuente: figura tomada y modificada de <http://www.hunterlab.com/application-notes.html>, recuperado el 15/10/2012.

El iluminador utilizado fue una fuente de luz halógena de tungsteno de 5W, de corriente constante, modelo BPS 100, de la empresa B&W TEK. El rango de emisión espectral de la lámpara es de 350 nm hasta 600 nm.

Los espectrofotómetros de reflectancia miden la luz reflejada en función de las longitudes de onda. Utilizamos un espectrofotómetro CCD, de la empresa Edmund Industrial Optics. El rango espectral del espectrofotómetro está en el intervalo de 380 nm a 750 nm.

Una esfera integradora es un elemento utilizado para coleccionar toda la luz que la muestra refleja en todas las direcciones gracias al recubrimiento con una película blanca altamente reflectante que posee. En nuestras mediciones hemos utilizado una esfera integradora modelo RSA-FO-150, de 1,5 pulgadas de diámetro interno, de rango espectral de 250 - 2 500 nm, de la empresa Labsphere.

Con esta configuración la curva de reflectancia $R(\lambda)$ se construye de acuerdo a la ecuación 3.21.

$$R(\lambda) = \frac{(S(\lambda) - B_0(\lambda))}{(B_{100}(\lambda) - B_0(\lambda))} C(\lambda) \quad (\text{ec. 3.21})$$

Donde:

$B_0(\lambda)$ es la reflectancia medida con patrón negro

$B_{100}(\lambda)$ es la reflectancia medida con patrón blanco

$S(\lambda)$ es la reflectancia de la muestra

$C(\lambda)$ es la reflectancia del estándar de normalización SRS – 99 - 010

El software BWSpec™ v3.03 fue utilizado para la adquisición de espectros de reflectancia, con un tiempo de integración de 1 000 ms.

III.7.3. Medición de los cambios de la apariencia debido a la luz solar

Muchas veces hemos comprobado cómo la luz solar influye en el cambio de color, por ejemplo, en el amarillamiento del papel o la decoloración de la ropa. Todos los objetos sufren alteraciones de diferente clase en su coloración o en su estructura debido a la exposición a la luz solar.

La luz solar comprende tres rangos de radiación electromagnética: radiación ultravioleta (UV), cuyo rango de longitud de onda está comprendido entre 100 nm y 400 nm, luz visible, comprendido entre 400 nm hasta 700 nm y la radiación infraroja (IR) comprendida entre 700 nm hasta 1 mm de longitud de onda.

La luz visible decolora, oscureciendo o blanqueando los colores. Algunos colores pueden desaparecer luego de un corto tiempo de exposición a la luz solar directa, otros colores no se decoloran a lo largo de los años.

La radiación UV causa amarillamiento, pérdida de cohesión, debilitamiento, y hasta desintegración de los materiales, por ejemplo, la pérdida de cohesión de los aglutinantes en pinturas, que es generalmente confundida con la decoloración de los pigmentos. La radiación IR calienta la superficie de los objetos, y por lo tanto genera que la temperatura de eleve sobre la superficie, esto puede causar agrietamiento, debilitar el material, incluso provocar algún tipo de fundición en alguno de sus constituyentes (Michalski, 2011).

Todas estas alteraciones ocurren simultáneamente, son acumulativas e irreversibles.

Si bien los enlucidos que hemos preparado no contienen ninguna capa pictórica, es de nuestro interés estudiar el cambio en la apariencia del enlucido consolidado debido a la exposición a luz solar, dado que en promedio ésta puede llegar hasta 30 000 lux de iluminancia.

Los cambios en la apariencia se llevaron a cabo midiendo la reflectancia difusa sin componente especular en el rango de luz visible.

III.8 Deterioro del sitio arqueológico

Los sitios arqueológicos están expuestos a una serie de agentes que causan deterioro sobre su estructura, que debido al paso de tiempo, se hace menos resistente a todos estos ataques.

Existen diferentes formas de clasificar el origen de estos deterioros: físicos, químicos, biológicos, atmosféricos y por acción antrópica.

En el desarrollo de nuestro trabajo nos hemos interesado por el deterioro atmosférico, precisamente por el deterioro debido a la erosión que produce el viento.

III.8.1. Deterioro debido al viento

El viento actúa como un agente abrasivo, no solo por la velocidad que éste puede llegar a alcanzar, sino porque arrastra consigo diferentes materiales (agua, sales, polvo y gases) que pueden contribuir de gran forma al deterioro del monumento, ya que una vez que el material arrastrado se instala en el monumento, en él se desencadenan una serie de procesos de alteración, por ejemplo, la formación de pátinas negras, una población de bacterias o líquenes, etc.

Las zonas arqueológicas ubicadas cerca de las costas marinas son más propensas a a la acción abrasiva del viento debido al arrastre de arena, siendo más vulnerables las zonas más bajas de las construcciones (Lian-You, 2003).

En esta sección se expondrá la metodología que realizamos para medir la tasa de abrasión debida al viento sobre los enlucidos consolidados.

El sitio arqueológico de Pachacamac cuenta con una estación meteorológica Vantage Pro2™ desde el año 2009. Este se encuentra ubicado a 30 m del ingreso al complejo arqueológico.

Los valores promedio de velocidad del viento registrados desde marzo hasta diciembre del año 2010 fue 1,3 m/s; desde enero hasta diciembre del año 2011 fue 1,3 m/s y desde enero hasta abril del año 2012 fue 1,1 m/s. Dentro de todos los datos registrados la velocidad del viento no supera 1,5 m/s.

III.8.2. Medición de la tasa de abrasión debido al viento

El procedimiento que llevamos a cabo está basado en el trabajo publicado por Lian-You (2003) sobre el estudio de la abrasión debido a flujo de arena sobre adobes. Este trabajo consiste en colocar una pila de adobes dentro de un túnel de viento e inyectar flujos de aire y arena para provocar abrasión a diferentes velocidades por diferentes tiempos, para luego medir el desprendimiento en cada adobe a diferentes alturas.

La tasa de abrasión es calculada por la siguiente ecuación:

$$q_a = \frac{q_w}{S.t} \quad (\text{ec 3.22})$$

Donde:

q_a : tasa de abrasión ($\text{g/cm}^2 \cdot \text{minutos}$)

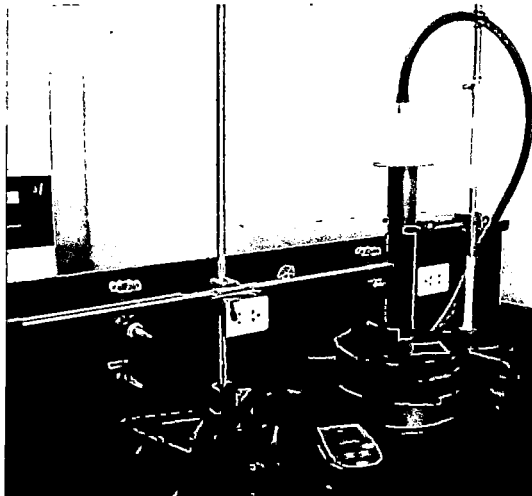
q_w : masa del material desprendido (g)

S : área normal de impacto (cm^2)

t : tiempo de exposición a la abrasión (minutos)

El procedimiento que hemos seguido para producir abrasión sobre los enlucidos consolidados es algo diferente al procedimiento propuesto por Lian-You. El agente abrasivo que empleamos fue aire comprimido en lugar de arena. Los facsímiles no fueron colocados dentro de un túnel de viento, sino al extremo de un tubo de PVC que conduce aire comprimido.

Los equipos utilizados, así como la disposición de los mismos se muestran en la fotografía 3.11.

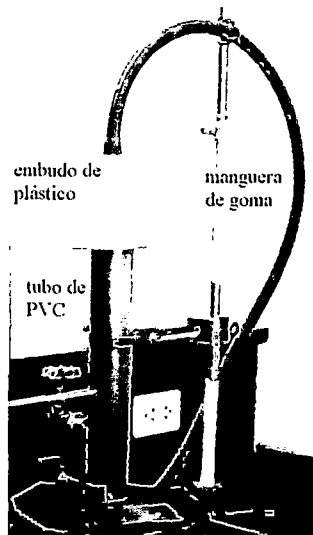


Fotografía 3.11: sistema para producir abrasión por aire comprimido.

La disposición de nuestro sistema consta de tres partes: inyección de aire comprimido, medición de flujo de aire y recuperación del material desprendido.

a. Inyección de aire comprimido

Los elementos que empleamos para la conducción del aire comprimido fueron una manguera de goma, embudo de plástico y un tubo de PVC (fotografía 3.12).

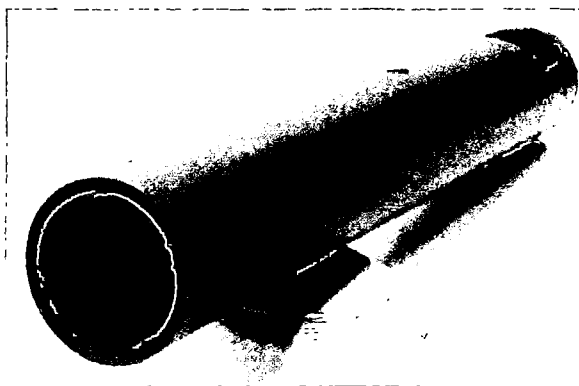


Fotografía 3.12: sistema de inyección de aire comprimido.

La manguera de goma conduce aire desde la llave de salida hasta el embudo de plástico.

El embudo de plástico tiene el papel de difusor, de tal manera que logremos reducir la velocidad del aire comprimido antes de inyectarlo sobre el tubo de PVC.

El tubo de PVC, de $(35,0 \pm 0,5)$ cm de largo y $(4,0 \pm 0,5)$ cm de diámetro, tiene por objetivo conducir el aire comprimido hasta los facsímiles. En un extremo del tubo colocamos un grupo de cañitas de plástico, alrededor de 8,0 cm de largo (fotografía 3.13) con el objetivo de conducir un flujo estable de aire a lo largo del tubo.

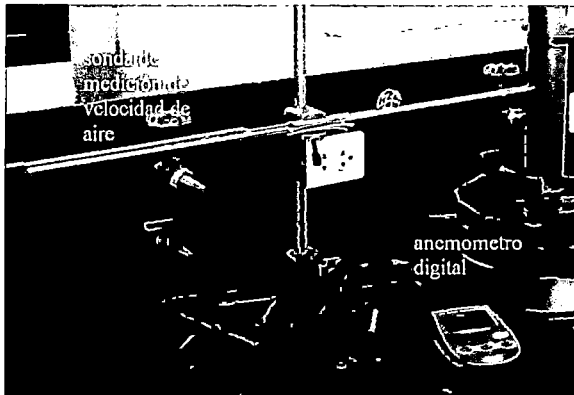


Fotografía 3.13: tubo de PVC de 35 cm de largo. En un extremo se muestra un grupo de cañitas de plástico con el objetivo de ingresar un flujo estable de aire.

b. Medición de flujo de aire

La medición del flujo de aire se realizó con un anemómetro digital DELTA OHM™, acoplado a una sonda de medición de velocidad de aire DELTA OHM™, con rango de medición de velocidades de aire entre 0,1 m/s hasta 5,0 m/s (fotografía 3.14).

La sonda acopló al tubo PVC a través de un agujero de 9,0 mm de diámetro, permitiendo medir continuamente la velocidad del aire incidente sobre el facsímil.



Fotografía 3.14: anemómetro y sonda de medición de velocidad de aire acoplada al tubo de PVC.

c. Recuperación del material desprendido

La parte final de nuestro dispositivo de abrasión es la recuperación del material desprendido (fotografía 3.15.a). Este sistema consiste en un tamiz de cernido No 4, el fondo de tamices y una tapa de cartón grueso, con un agujero en medio, en donde se acopla un extremo del tubo (fotografía 3.15.b).



(a)



(b)

Fotografía 3.15: (a) sistema de recuperación del material desprendido. (b) tamiz No 4, el fondo de tamices y una tapa de cartón; en medio se observa el facsímil.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

En este capítulo expondremos los resultados que hemos obtenidos luego de aplicar todos los métodos expuestos en el capítulo III.

Al igual que el capítulo anterior, este también ha sido dividido en cuatro partes:

- Primera parte: expondremos los resultados obtenidos tras aplicar las técnicas seguidas para la determinación de las características texturales de los adobes.
- Segunda parte: expondremos los resultados obtenidos en la preparación de los facsímiles.
- Tercera parte: expondremos los resultados obtenidos en la preparación de los consolidantes utilizados, así como los resultados en la aplicación sobre los enlucidos de los facsímiles.
- Cuarta parte: expondremos los resultados obtenidos en la evaluación de las propiedades físicas del enlucido consolidado.

PRIMERA PARTE: DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS TEXTURALES DE LOS ADOBES

En esta primera parte expondremos los resultados obtenidos tras aplicar las técnicas que nos permitieron determinar algunas de las propiedades físicas de los adobes, entre ellas el análisis textural de los adobes, la determinación de la respectiva clase textural, determinación del límite plástico, determinación del contenido de componentes orgánicas, determinación de la porosidad de adobe, determinación del contenido de sales solubles y la determinación del contenido de carbonatos.

IV.1. Determinación de las características físicas de los adobes

IV.1.1. Análisis textural de adobes

IV.1.1.1 Determinación de las fracciones grava y arena

Los resultados que presentaremos a continuación se hicieron siguiendo los pasos descritos en el diagrama 3.1 descrito en el ítem III.1.1.1 No hemos realizamos separaciones de arena gruesa, mediana ni fina para ninguna muestra.

Muestras Templo del Sol

❖ Muestra 8

Masa muestra utilizada: $(104,1 \pm 0,1)$ g

Masa grava: $(2,0 \pm 0,1)$ g.

Masa de arena: $(63,4 \pm 0,1)$ g.

La fracción grava separada representa el 2% del total de muestra analizada.

En la fotografía 4.1 se observa que la fracción grava está conformada por pequeños fragmentos de restos vegetales, por pedazos pequeños de conchas blancas de molusco, así mismo se observó una importante cantidad de lo que parece ser caparazones marrones de algún insecto. Estos caparazones son de color marrón oscuro, aproximadamente de 2 mm de largo y presentan pequeños pelos adheridos a ellos.

La fracción arena representa el 61% del total de muestra analizada.



Fotografía 4.1: grava de la muestra 8, compuesta por fragmentos de restos vegetales, conchas de molusco y caparazones de insectos. Fotografía tomada a 15x.

❖ *Muestra 9*

Masa muestra utilizada: $(102,0 \pm 0,1)$ g

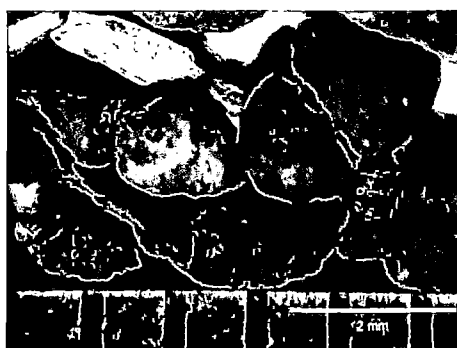
Masa grava: $(1,5 \pm 0,1)$ g.

Masa de arena: $(63,4 \pm 0,1)$ g.

La fracción grava separada representa el 1,5% del total de muestra analizada.

En la fotografía 4.2 se observa la grava encontrada y está formada casi en su totalidad por piedras de diferente tamaño, así mismo se observó la poca presencia de fragmentos pequeños de restos óseos.

La fracción arena representa el 62% del total de muestra analizada.



Fotografía 4.2: pequeños fragmentos óseos y piedras de diferentes tamaños encontrados como parte de la grava de la muestra 9. Fotografía tomada a 20x.

❖ *Muestra 10*

Masa muestra utilizada: $(100,7 \pm 0,1)$ g

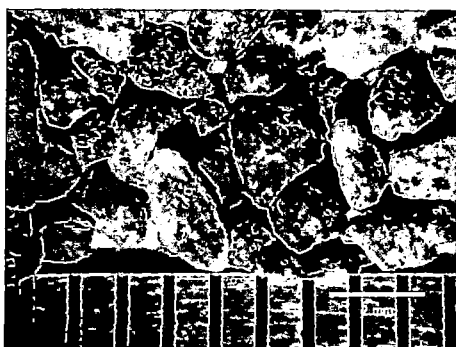
Masa grava: $(0,5 \pm 0,1)$ g.

Masa de arena: $(63,2 \pm 0,1)$ g.

La fracción grava separada representa el 0,5% del total de muestra analizada.

En la fotografía 4.3 se observa la grava encontrada y está formada casi en su totalidad por piedras de diferente tamaño, no se observó la presencia de restos óseos o restos vegetales.

La fracción arena representa el 63% del total de muestra analizada.



Fotografía 4.3: piedras de diferentes tamaños encontradas como parte de la fracción grava en la muestra 10. Fotografía tomada a 10x.

Muestras Templo Pintado

❖ *Muestra 1*

Masa muestra utilizada: $(117,0 \pm 0,1)$ g

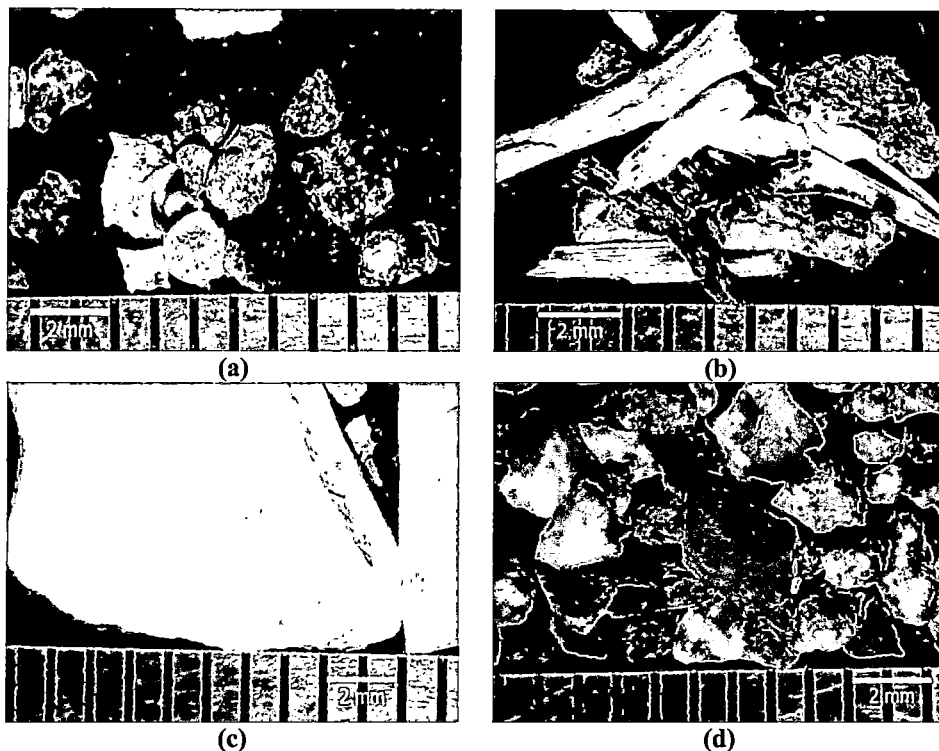
Masa grava: $(2,0 \pm 0,1)$ g.

Masa de arena: $(83,4 \pm 0,1)$ g.

La fracción grava representa el 1,6% del total de muestra analizada.

Como parte de la grava se encontraron vértebras pequeñas de peces y restos de carbones de aproximadamente 2 mm de largo (fotografía 4.4a), restos de huesecillos y pequeños fragmentos de fibras vegetales secas (fotografía 4.4b), así mismo se encontraron restos de conchas de molusco (fotografía 4.4c) y piedras de diferentes tamaños (fotografía 4.4d).

La fracción arena representa el 71% del total de muestra analizada.



Fotografías 4.4: (a) restos de vértebras de peces pequeños y restos de carbones, (b) fibras vegetales secas, (c) restos de conchas de molusco y (d) piedras de diferentes tamaños. Fotografías tomadas a 10x.

❖ *Muestra 2*

Masa muestra utilizada: $(117,6 \pm 0,1)$ g

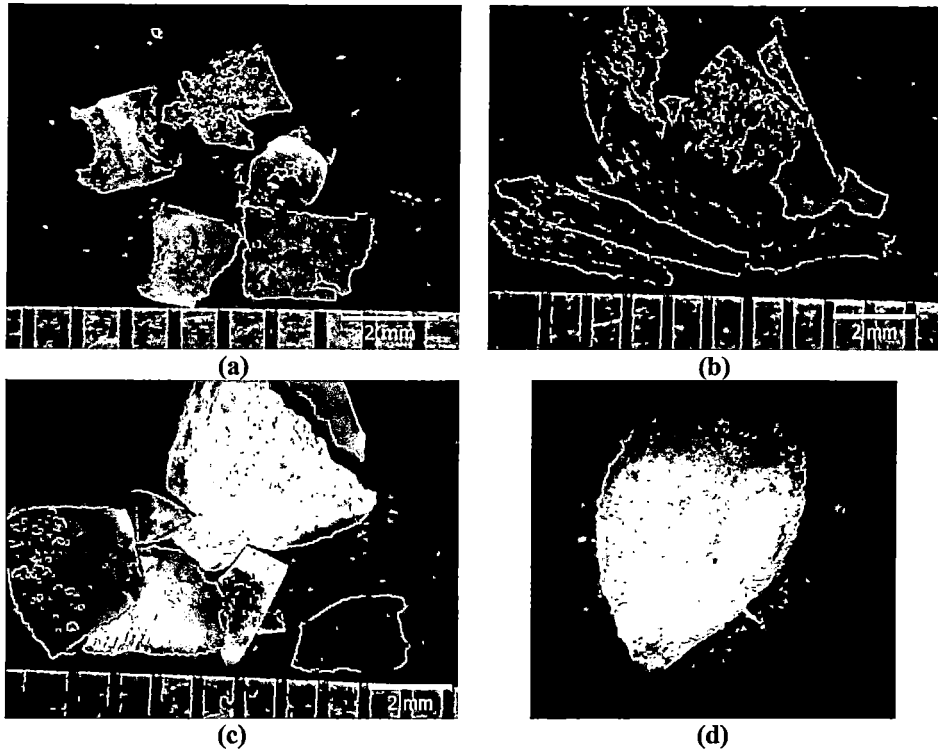
Masa grava: $(4,6 \pm 0,1)$ g.

Masa de arena: $(79,4 \pm 0,1)$ g.

La fracción grava representa el 4% del total de muestra analizada.

Se encontraron vértebras pequeñas de peces como parte de la grava (fotografía 4.5a), pequeños fragmentos de fibras vegetales secas (fotografía 4.5b), así mismo se encontraron restos de conchas de molusco de diferentes tamaños (fotografía 4.5c), además de semillas y piedras diversas (fotografía 4.5d).

La fracción arena representa el 67% del total de muestra analizada.



Fotografía 4.5: (a) vértebras pequeñas de pece. Fotografía tomada a 15x, (b) fibras vegetales secas. Fotografía tomada a 10x (c) restos de conchas de molusco. Fotografía tomada a 10x (d) semilla seca. Fotografía tomada a 10x.

❖ *Muestra 3*

Masa muestra utilizada: $(127,3 \pm 0,1)$ g

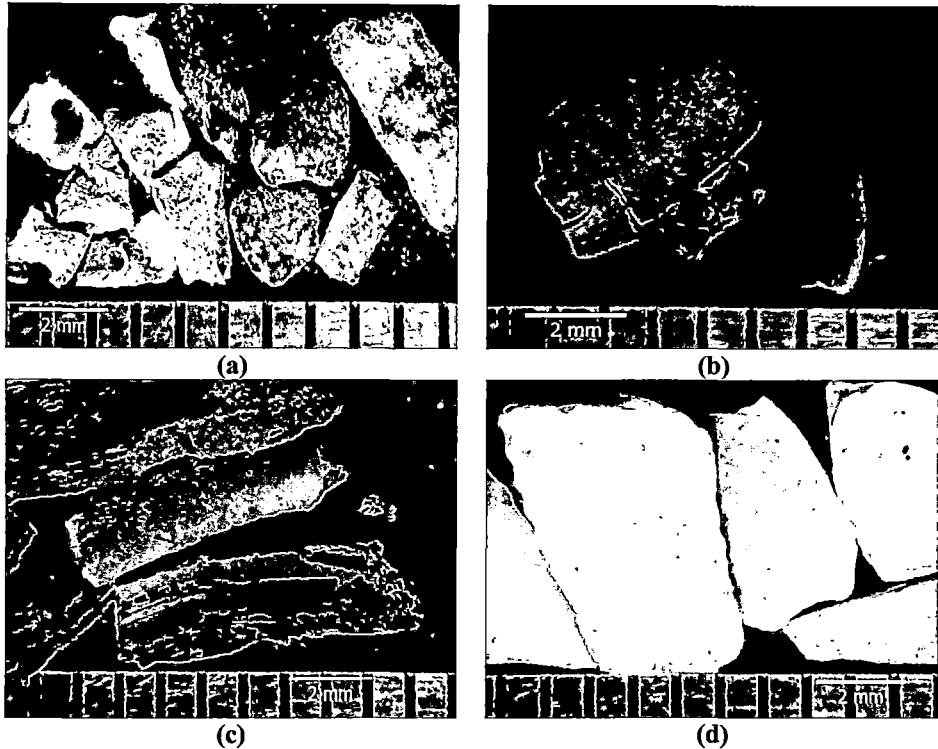
Masa grava: $(7,4 \pm 0,1)$ g.

Masa de arena: $(79,0 \pm 0,1)$ g.

La fracción grava representa el 6% del total de muestra analizada.

Se observaron vértebras pequeñas de peces, carbones, además de algunas piedras y fragmentos de cerámica como parte de la grava (fotografía 4.6a), también se encontró parte del caparazón, probablemente de la larva de un insecto (fotografía 4.6b), fibras vegetales secas (fotografía 4.6c) y restos de conchas de molusco (fotografía 4.6d).

La fracción arena representa el 62% del total de muestra analizada.



Fotografía 4.6: (a) vértebras pequeñas de peces y pequeñas piedras. Fotografía tomada a 15x. (b) caparazón de la larva de un insecto. Fotografía tomada a 15x. (c) fibras vegetales secas. Fotografía tomada a 10x. (d) restos de conchas de molusco. Fotografías tomadas a 15x.

❖ **Muestra 4**

Masa muestra utilizada: $(94,7 \pm 0,1)$ g

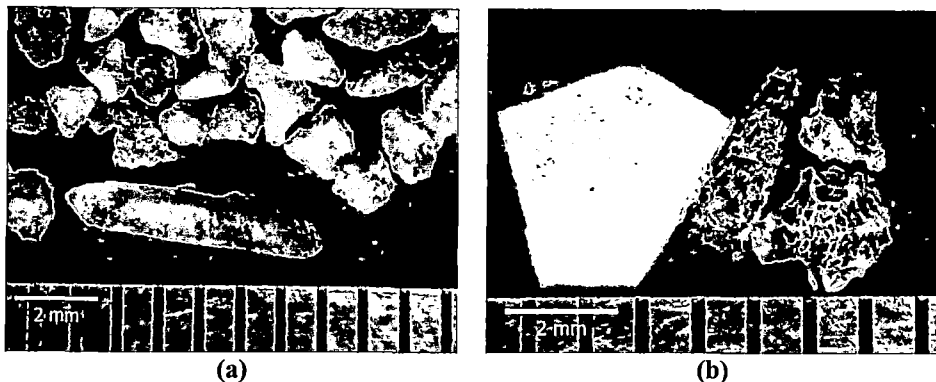
Masa grava: $(0,8 \pm 0,1)$ g.

Masa de arena: $(70,0 \pm 0,1)$ g.

La fracción grava separada representa el 0,8% del total de muestra analizada.

En la fracción grava se observaron una variedad de piedras y algunos cristales traslúcidos, de forma alargada que corresponde a cristales de cuarzo (fotografía 4.7a), así mismo se encontraron pequeños carbones (fotografía 4.7b).

La fracción arena representa el 74% del total de muestra analizada.



Fotografía 4.7: (a) piedras y cristal de cuarzo. Fotografía tomada a 10x. (b) restos de carbones y piedras. Fotografía tomada a 15x.

❖ *Muestra 5*

Masa muestra utilizada: $(13,4 \pm 0,1)$ g

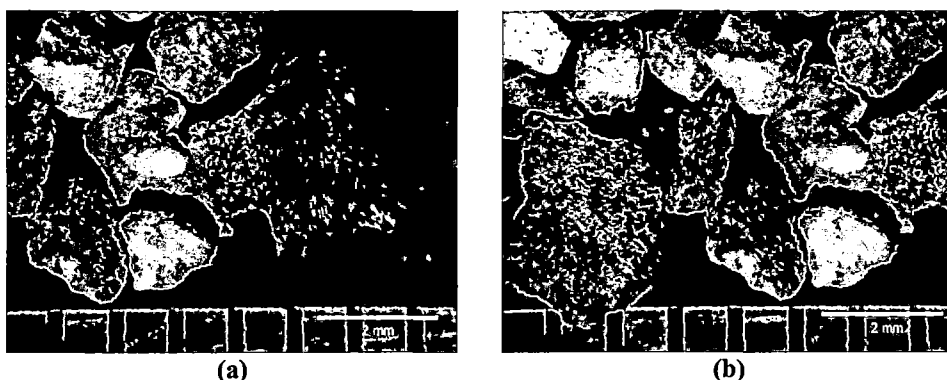
Masa grava: $(93,3 \pm 0,1)$ mg.

Masa de arena: $(9,8 \pm 0,1)$ g.

La fracción grava separada en la muestra 5 representa el 0,7% del total de muestra analizada. Es importante mencionar que para el caso de esta muestra, no se cumplió con la exigencia de masa mínima del protocolo usado porque no se contó con suficiente cantidad de muestra.

En la fracción grava se encontró mayormente piedras pequeñas y restos de una membrana de origen vegetal (fotografía 4.8a), así mismo restos de una concha blanquecina de molusco (fotografía 4.8b).

La fracción arena representa el 73% del total de muestra analizada.



Fotografías 4.8: (a) piedras y cascarón de origen vegetal. Fotografía tomada a 15x. (b) restos de concha de molusco y piedras. Fotografía tomada a 15x.

Entre las muestras del Templo del Sol, la muestra que tiene mayor porcentaje en grava es la muestra 8, en ésta es la única que se encuentra restos de fibras vegetales, conchas de molusco y la caparazón de un insecto. Esta fracción representa el 2% del total. La grava en la muestra 9 presenta en su mayoría piedras pequeñas y en muy poca cantidad restos de huesecillos; esta fracción representa el 1,5% del total. En la muestra 10, la grava está constituida enteramente por piedras de diferentes tamaño, representando el 0,5% del total.

Entre las muestras del Templo Pintado podemos distinguir dos grupos a partir del contenido de grava. El primer grupo lo conforman las muestras 1, 2 y 3, que son adobes pertenecientes al frontis norte del Templo. Estas muestras presentan los más altos porcentajes de grava: 1,6%, 4% y 6% respectivamente. Así mismo se ha observado que esta fracción está formada por vértebras pequeñas de peces, huesecillos, conchas de molusco, fibras vegetales y piedras. Estas son características que difieren notablemente de la grava del segundo grupo.

En el segundo grupo ubicamos a las muestras 4 y 5, que son muestras de mortero y enlucido, respectivamente. Éstas presentan los más bajos contenidos en grava: 0,8% y 0,7%, respectivamente. En este grupo la grava está formada casi en su totalidad por piedras pequeñas y en muy poca cantidad, por conchas de molusco y carbones.

Las diferencias observadas en el primer y segundo grupo podrían indicarnos dos situaciones que no son excluyentes entre sí. La primera es que los lugares de extracción de materia prima para hacer adobes, preparar morteros y enlucidos son diferentes. La segunda es que exista un gesto de selección de materia prima antes de la utilización, este gesto podría estar referido a la extracción de materiales gruesos y toscos. Desde luego que éstas son solamente hipótesis que no pueden ser probadas con el presente trabajo, sin embargo consideramos importante mencionarlas.

Con respecto al contenido de arena, observamos que las muestras del Templo del Sol presentan porcentajes que no varían significativamente entre ellos. Estos valores son 61% para la muestra 8, 62% para la muestra 9 y 63% para la muestra 10; sin

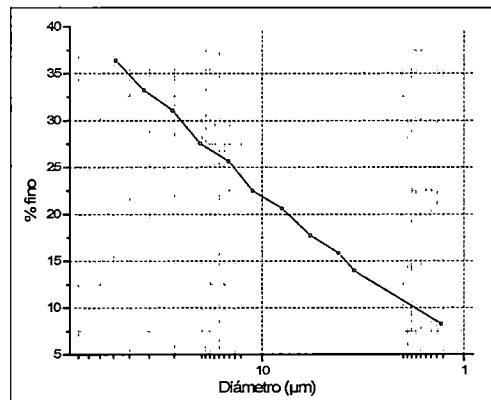
embargo estos porcentajes son menores para los valores encontrados en las muestras del Templo Pintado.

Entre las muestras del Templo Pintado, también se distinguen dos grupos, el primer grupo formado por la muestra 1, cuya fracción de arena encontrada fue 71%, en la muestra 2, 62% y en la muestra 3, 74%. El segundo grupo formado por la muestra 4, cuyo fracción de arena encontrada fue 74% y 75% para la muestra 5. El segundo grupo presenta los mayores porcentajes en esta fracción.

IV.1.1.2. Determinación de las fracciones limo y arcilla

Los resultados que presentaremos a continuación se obtuvieron siguiendo los pasos descritos en el diagrama 3.2 del ítem III.1.1.2. Nuestros resultados de clasificación de suelo se realizaron de acuerdo al sistema ASTM (tabla 3.1).

Las curvas de sedimentación obtenidas para todas las muestras analizadas presentan la misma forma que se muestra en la gráfica 4.1.



Gráfica 4.1: curva de sedimentación para la muestra 8

Muestras Templo del Sol

Los porcentajes obtenidos para limo y arcilla en todas las muestras del Templo del Sol se resumen a continuación.

Tabla 4.1: porcentajes de limo y arcilla en las muestras del Templo del Sol

| Muestra | % limo | % arcilla |
|----------------|---------------|------------------|
| 8 | 20 | 17 |
| 9 | 23 | 13 |
| 10 | 21 | 16 |

En la tabla 4.1 se observa que la fracción limo varía entre 20% y 23%, valores con baja dispersión entre las muestras. Con respecto a la fracción arcilla, los valores de las muestras 8 y 19 son cercanos, mientras que la muestra 9 es menor.

Muestras Templo Pintado

Los porcentajes obtenidos para limo y arcilla en todas las muestras del Templo Pintado se resumen a continuación.

Tabla 4.2: fracciones de limo y arcilla en las muestras del Templo Pintado

| Muestra | % limo | % arcilla |
|----------------|---------------|------------------|
| 1 | 17 | 10 |
| 2 | 20 | 9 |
| 3 | 24 | 8 |
| 4 | 14 | 11 |
| 5* | 27 | |

(*) fracción total de limo y arcilla en la muestra 5.

En la tabla 4.2 observamos que la fracción limo varía entre 14% y 24%, valores con alta dispersión entre las muestras. Con respecto a la fracción arcilla, los valores varían entre 8% y 11%, siendo estos poco dispersos entre las muestras.

Con respecto a la fracción arcilla, encontramos que tanto en las muestras del Templo del Sol, como en las muestras del Templo Pintado, los valores encontrados son menores al 20%. Estos bajos contenidos en arcilla justifican la degradación observada en los adobes tanto en el Templo del Sol como en el Templo Pintado.

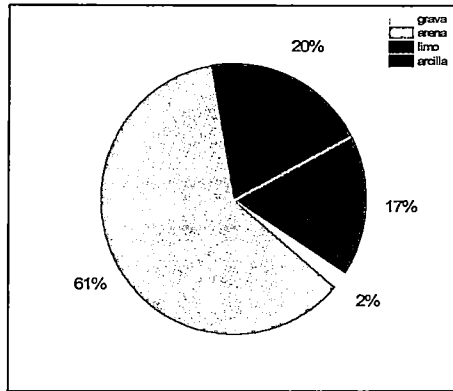
IV.1.2 Determinación de la clase textural

Con los resultados encontrados en IV.1.1.1 y IV.1.1.2 podemos determinar la textura para las muestras trabajadas. Estas determinaciones se realizaron en base al diagrama textural de suelos (figura 3.3) del ítem III.1.2.

Muestras Templo del Sol

❖ Muestra 8

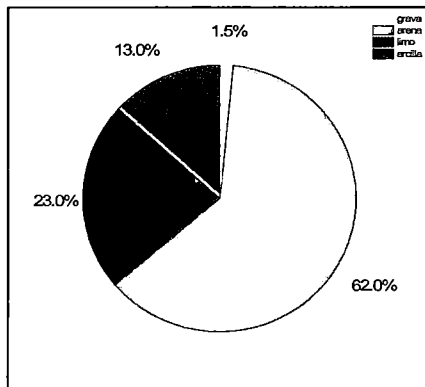
En la gráfica 4.2 se observan los porcentajes obtenidos de cada fracción y de acuerdo a estos resultados esta muestra pertenece a la clase textural franco arenosa.



Gráfica 4.2: distribución de grava, arena, limo y arcilla en la muestra 8.

❖ **Muestra 9**

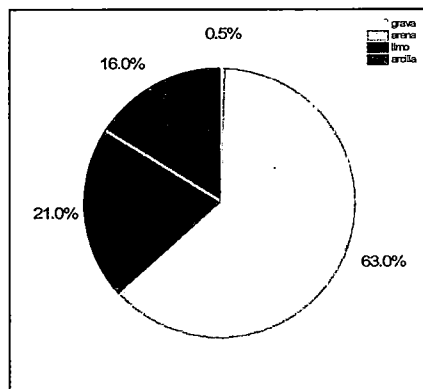
En la gráfica 4.3 se observan los porcentajes obtenidos de cada fracción y de acuerdo a estos resultados esta muestra pertenece a la clase textural franco arenosa.



Gráfica 4.3: distribución de grava, arena, limo y arcilla en la muestra 9.

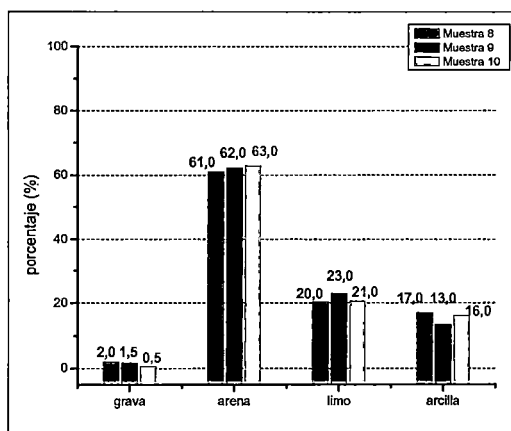
❖ **Muestra 10**

En la gráfica 4.4 se observan los porcentajes obtenidos de cada fracción y de acuerdo a estos resultados esta muestra pertenece a la clase textural franco arenosa.



Gráfica 4.4: distribución de grava, arena, limo y arcilla en la muestra 10.

En la gráfica 4.5, se observan que las muestras pertenecientes al Templo del Sol presentan un porcentaje de grava que varía entre 0,5 % y 2%. El porcentaje para la fracción arena varía entre 61% y 63%. El porcentaje para la fracción limo varía entre 20% y 23%. El porcentaje para la fracción arcilla varía entre 13% y 17%.



Gráfica 4.5: comparación de las fracciones grava, arena, limo y arcilla entre las muestras del Templo del Sol.

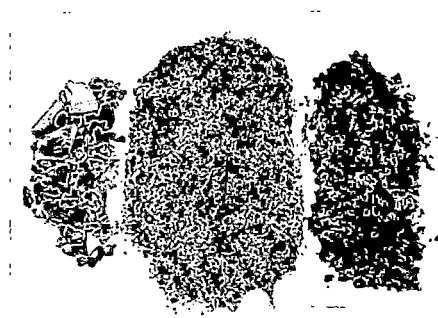
La mayor diferencia observada entre las muestras es en la fracción grava, el contenido de arena no varía considerablemente entre las muestras, lo mismo se observa en la fracción de limo.

Con respecto al contenido en arcilla la muestra 8 presenta mayor porcentaje (17%) el contenido de arcilla de la muestra 10 (16%) es comparable con el resultado de la muestra 8. La muestra 9 presenta el menor porcentaje de arcilla (13%).

Muestras Templo Pintado

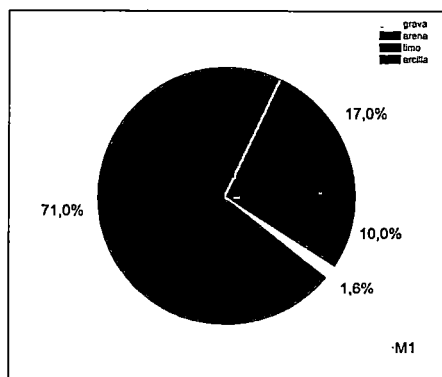
❖ *Muestra 1*

En la fotografía 4.9 se observan las fracciones de grava, arena, limo y arcilla para esta muestra.



Fotografía 4.9: grava (izquierda), arena (centro), limo y arcilla (derecha) en la muestra 1.

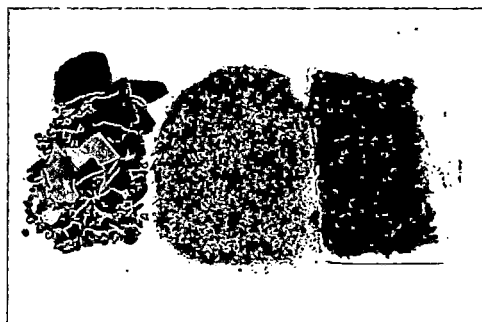
En la gráfica 4.6 presentamos los porcentajes obtenidos de cada fracción y de acuerdo a estos resultados esta muestra pertenece a la clase textural franco arenosa.



Gráfica 4.6: distribución de grava, arena, limo y arcilla en la muestra 1.

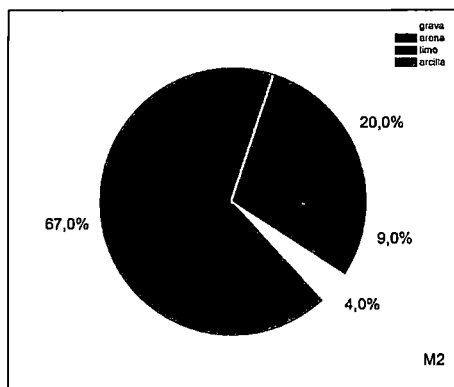
❖ *Muestra 2*

La fotografía 4.10 muestra las fracciones de grava, arena, limo y arcilla para esta muestra.



Fotografía 4.10: grava (izquierda), arena (centro), limo y arcilla (derecha) en la muestra 2.

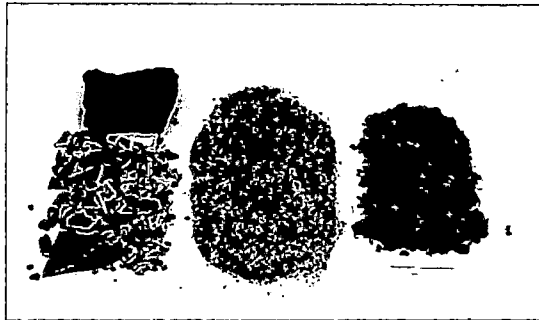
La gráfica 4.7 se muestran los porcentajes obtenidos de cada fracción y de acuerdo a estos resultados esta muestra pertenece a la clase textural franco arenosa.



Gráfica 4.7: distribución de grava, arena, limo y arcilla en la muestra 2.

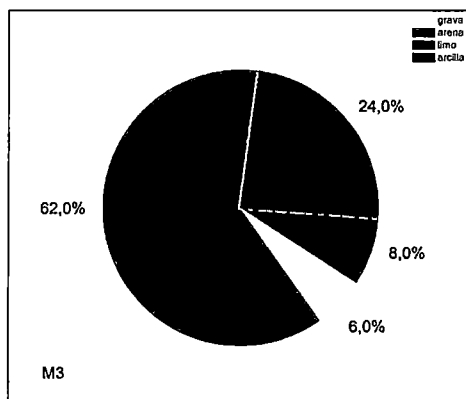
❖ Muestra 3

La fotografía 4.11 muestra las fracciones de grava, arena, limo y arcilla para esta muestra.



Fotografía 4.11: grava (izquierda), arena (centro), limo y arcilla (derecha) en la muestra 3.

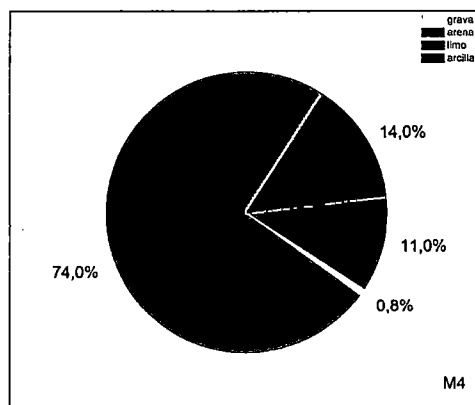
La gráfica 4.8 se observan los porcentajes obtenidos de cada fracción y de acuerdo a estos resultados esta muestra pertenece a la clase textural franco arenosa.



Gráfica 4.8: distribución de grava, arena, limo y arcilla en la muestra 3.

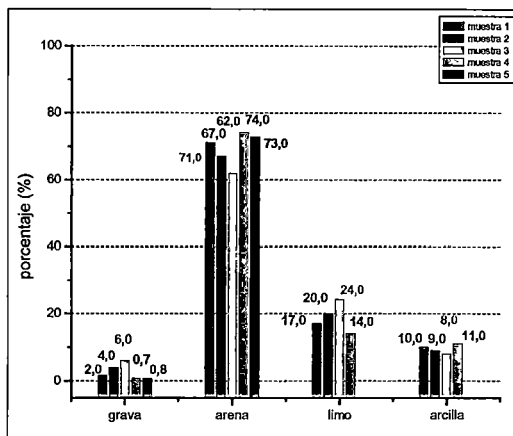
❖ Muestra 4

En la gráfica 4.9 se observan los porcentajes obtenidos de cada fracción y de acuerdo a estos resultados esta muestra pertenece a la clase textural franco arenosa.



Gráfica 4.9: distribución de grava, arena, limo y arcilla en la muestra 4.

En el gráfico 4.10, observamos que las muestras pertenecientes al Templo Pintado presentan un porcentaje de grava que varía entre 0,7% y 6%. La fracción arena varía entre 62% y 74%. La fracción limo varía entre 14% y 24%. La fracción arcilla varía entre 8% y 11%.



Gráfica 4.10: comparación de las composiciones de grava, arena, limo y arcilla entre las muestras del Templo Pintado.

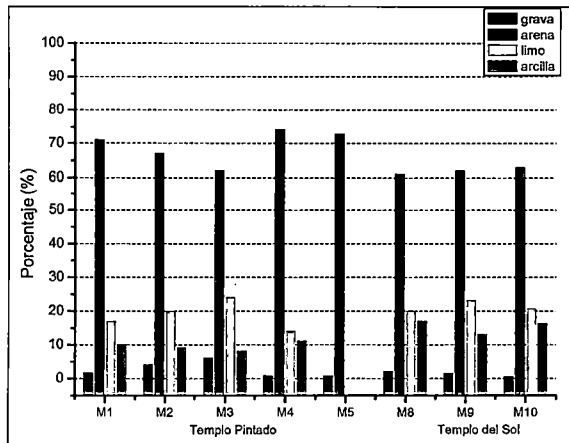
La mayor diferencia que se observa entre las muestras es en la fracción de grava. La muestra 3 presenta el mayor porcentaje (6%) y la muestra 5 el menor valor (0,7%). Las muestras 1, 2 y 3 son adobes y presentan mayores valores respecto a las muestras 4 y 5, que son mortero y enlucido, respectivamente.

Con respecto al contenido de arena observamos que son la muestra 4 presenta mayor contenido (74%) y la de menor contenido es la muestra 3 (62%). Las muestras 4 y 5 presentan porcentajes que no difieren significativamente entre ellos (74% y 73% respectivamente). Las muestras 1 y 2 presentan los valores intermedios (71% y 67% respectivamente).

El contenido de la fracción limo es bastante diferente para todas las muestras, aun así se observa que las muestras de adobes, muestras 1, 2 y 3, presentan mayores valores que la muestra 4 (mortero).

Para la fracción arcilla observamos que los porcentajes no presentan diferencias significativas entre sí.

En la gráfica 4.11 observamos la comparación entre los resultados obtenidos de todas las fracciones. Las muestras 1, 2 y 3, adobes del Templo Pintado presentan el mayor contenido de grava, mientras que los porcentajes de las muestras 4 y 5 del Templo Pintado son comparables a los porcentajes de grava de las muestras 8, 9 y 10 del Templo del Sol. En promedio podemos decir que los adobes estudiados del Templo Pintado presentan un mayor contenido de grava.



Gráfica 4.11: comparación de las composiciones de grava, arena, limo y arcilla entre las muestras del Templo del Sol y del Templo Pintado.

Con respecto a la fracción arena, también observamos que las muestras 1, 2, 4 y 5 del Templo Pintado presentan mayores porcentajes que las muestras 8, 9 y 10 del Templo del Sol. El porcentaje de la muestra 3 del Templo Pintado es comparable con los porcentajes de las muestras del Templo del Sol. En promedio podemos decir que las muestras del Templo Pintado presentan un mayor contenido de arena.

Con respecto a la fracción limo, se observa una gran diferencia en la muestra 4 del Templo Pintado y todas las demás muestras del mismo templo, así como del Templo del Sol. Los porcentajes de las muestras 1, 2, y 3 del Templo Pintado presentan más variación que aquellos del Templo del Sol. En promedio podemos decir que las muestras del Templo del Sol presentan un mayor contenido de limo que los adobes del Templo Pintado.

Los porcentajes de la fracción arcilla para las muestras del Templo Pintado, son notoriamente menores que los porcentajes encontrados para las muestras del Templo del Sol. En promedio podemos decir que las muestras del Templo del Sol presentan un mayor contenido de arcilla, contrariamente a lo encontrado en la fracción limo, la muestra

4 del Templo pintado presenta el mayor porcentaje mientras que los adobes presentan los menores valores.

IV.1.3 Determinación del límite plástico (LP)

Los resultados que presentaremos a continuación fueron realizados de acuerdo al protocolo descrito en la sección III.1.3 y de acuerdo a las ecuaciones 3.6, 3.7 y 3.8 de la misma sección.

Muestras Templo del Sol

Realizamos dos pruebas para cada muestra durante la determinación del límite plástico (LP). Los resultados se resumen en las tablas mostradas a continuación.

❖ Muestra 8

Tabla 4.3: límite plástico para la muestra 8 del Templo del Sol.

| Masa contenedor (x10 ⁻¹ g) | Masa inicial (x10 ⁻¹ g) | Masa final (x10 ⁻¹ g) | Límite plástico | Límite plástico promedio |
|--|---------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|-----------------------------|
| 78,8 ± 0,1 | 160,0 ± 0,1 | 149,2 ± 0,1 | 15,3 % | (15,0 ± 0,8)% |
| 72,8 ± 0,1 | 141,0 ± 0,1 | 132,4 ± 0,1 | 14,2% | |

❖ Muestra 9

Tabla 4.4: límite plástico para la muestra 9 del Templo del Sol.

| Masa contenedor (x10 ⁻¹ g) | Masa inicial (x10 ⁻¹ g) | Masa final (x10 ⁻¹ g) | Límite plástico | Límite plástico promedio |
|--|---------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|-----------------------------|
| 73,4 ± 0,1 | 91,5 ± 0,1 | 88,7 ± 0,1 | 18,2 % | (19,0 ± 1,4) % |
| 78,4 ± 0,1 | 89,4 ± 0,1 | 87,6 ± 0,1 | 19,6% | |

❖ Muestra 10

Tabla 4.5: límite plástico para la muestra 10 del Templo del Sol.

| Masa contenedor (x10 ⁻¹ g) | Masa inicial (x10 ⁻¹ g) | Masa final (x10 ⁻¹ g) | Límite plástico | Límite plástico promedio |
|--|---------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|-----------------------------|
| 77,2 ± 0,1 | 105,7 ± 0,1 | 101,8 ± 0,1 | 16,0% | (16,0 ± 0,3) % |
| 74,0 ± 0,1 | 98,0 ± 0,1 | 95,4 ± 0,1 | 15,7% | |

En las tablas 4.3, 4.4 y 4.5 observamos que los valores del límite plástico promedio en las muestras 8 y 10 del Templo del Sol presentan valores aproximadamente similares, comprendidos entre 15% y 16%. La muestra 9 presenta un valor mayor, en 3% aproximadamente. Estos resultados están justificados con los obtenidos en el ítem IV.2 y mostrados en el gráfico 4.5. En éste podemos observar que las muestras 8 y 10 presentan

mayores valores de arcilla y menores valores de arena. Esto justifica que se necesite la menor cantidad de agua para que ésta devenga plástica, por lo tanto, el menor valor de límite de plasticidad. De igual manera para la muestra 9, que presenta el menor valor de arcilla y un valor alto de arena, lo que provoca que se necesite más agua para que devenga plástica.

Muestras Templo Pintado

Realizamos tres pruebas para cada muestra durante la determinación del límite plástico (LP). Los resultados se resumen en las tablas mostradas a continuación.

❖ Muestra 1

Tabla 4.6: límite plástico para la muestra 1 del Templo Pintado

| Masa contenedor (x10⁻¹g) | Masa inicial (x10⁻¹g) | Masa final (x10⁻¹g) | Límite plástico | Límite plástico promedio |
|--|---|---|----------------------------|-------------------------------------|
| 75,0 ± 0,1 | 80,4 ± 0,1 | 79,6 ± 0,1 | 20,2% | (20,5 ± 2,1)% |
| 76,3 ± 0,1 | 79,7 ± 0,1 | 79,0 ± 0,1 | 22,8% | |
| 77,2 ± 0,1 | 82,3 ± 0,1 | 81,5 ± 0,1 | 18,6% | |

❖ Muestra 2

Tabla 4.7: límite plástico para la muestra 2 del Templo Pintado

| Masa contenedor (x10⁻¹g) | Masa inicial (x10⁻¹g) | Masa final (x10⁻¹g) | Límite plástico | Límite plástico promedio |
|--|---|---|----------------------------|-------------------------------------|
| 75,1 ± 0,1 | 83,4 ± 0,1 | 83,0 ± 0,1 | 18,4 % | (19,0 ± 1,0)% |
| 76,3 ± 0,1 | 84,8 ± 0,1 | 83,3 ± 0,1 | 20,2% | |
| 77,2 ± 0,1 | 85,0 ± 0,1 | 83,7 ± 0,1 | 19,0% | |

❖ Muestra 3

Tabla 4.8: límite plástico para la muestra 3 del Templo Pintado

| Masa contenedor (x10⁻¹ g) | Masa inicial (x10⁻¹g) | Masa final (x10⁻¹ g) | Límite plástico | Límite plástico promedio |
|---|---|--|----------------------------|-------------------------------------|
| 78,8 ± 0,1 | 91,2 ± 0,01 | 89,1 ± 0,1 | 20,7 % | (20,5 ± 0,7)% |
| 77,0 ± 0,1 | 84,8 ± 0,1 | 83,5 ± 0,1 | 19,8% | |
| 73,0 ± 0,1 | 82,4 ± 0,1 | 80,8 ± 0,1 | 21,1% | |

❖ Muestra 4

Tabla 4.9: límite plástico para la muestra 4 Templo Pintado

| Masa contenedor (x10⁻¹ g) | Masa inicial (x10⁻¹ g) | Masa final (x10⁻¹ g) | Límite plástico | Límite plástico promedio |
|---|--|--|----------------------------|-------------------------------------|
| 77,1 ± 0,1 | 82,2 ± 0,1 | 81,5 ± 0,1 | 16,0% | (16,0 ± 0,5)% |
| 72,8 ± 0,1 | 76,7 ± 0,1 | 76,1 ± 0,1 | 16,8% | |

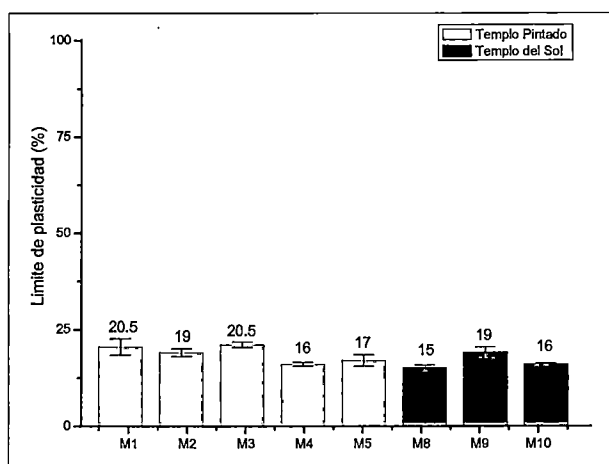
❖ **Muestra 5**

Tabla 4.10: límite plástico para la muestra 5 del Templo Pintado.

| Masa contenedor (x10 ⁻¹ g) | Masa inicial (x10 ⁻¹ g) | Masa final (x10 ⁻¹ g) | Límite plástico | Límite plástico promedio |
|--|---------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|-----------------------------|
| 72,4 ± 0,1 | 74,9 ± 0,1 | 74,5 ± 0,1 | 18,0% | (17,0 ± 1,4)% |
| 73,6 ± 0,1 | 77,8 ± 0,1 | 77,2 ± 0,1 | 16,3% | |

En las tablas 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 y 4.10 observamos que los valores de límite de plasticidad obtenidos para las muestras de Templo Pintado presentan dos subgrupos. El primer grupo está formado por las muestras de adobes: muestra 1, muestra 2 y muestra 3; cuyos valores de límite de plasticidad varían entre 19% y 20%, siendo mínima la diferencia entre ellas. El segundo subgrupo lo conforman la muestra 4 y la muestra 5, mortero y enlucido respectivamente. Estos valores están entre 16% y 17% y son menores respecto a los valores de las muestras de adobes, en 3% aproximadamente.

Las muestras de adobes del primer grupo presentan menor contenido en arena y menor contenido en arcilla, tal como se muestra en la gráfica 4.10, lo que condiciona que éstas presenten mayores porcentajes de límite de plasticidad. Por el contrario, las muestras del segundo grupo presentan los mayores valores de arcilla y arena, esto hace que se necesite menor porcentaje de agua para devenir plásticas, por lo tanto presentan menor valor de límite de plasticidad.



Gráfica 4.12: comparación de los límites de plasticidad entre las muestras del Templo del Sol y del Templo Pintado.

En la gráfica 4.12 se observa la comparación entre los valores de límite de plasticidad para las muestras del Templo Pintado y del Templo del Sol. Podemos decir que en promedio las muestras de adobe del Templo Pintado presentan mayores valores de

límite de plasticidad que las muestras de mortero y de enlucido del mismo templo y que las muestras del Templo del Sol, lo que significa que éstas tienen menor porcentaje en arcilla, conclusión que se mencionó en el ítem IV.2

IV.1.4 Determinación del contenido de componentes orgánicas

Las muestras pertenecientes al Templo del Sol se trabajaron de acuerdo al primer protocolo descrito en el ítem III.1.4 del capítulo III. Los cálculos se realizaron de acuerdo a la ecuación 3.15.

Las muestras pertenecientes al Templo Pintado se trabajaron de acuerdo al segundo protocolo descrito en el ítem III.1.4 del capítulo III. Los cálculos se realizaron de acuerdo a la ecuación 3.16.

Muestras del Templo del Sol

En la tabla 4.11 observamos que entre las muestras del Templo del Sol hay significativa variación, siendo la muestra 10 la que presenta mayor porcentaje en componentes orgánicas, mientras que la muestra 9 presenta el menor porcentaje.

Tabla 4.11: porcentaje de componentes orgánicas en las muestras del Templo del Sol

| Muestras | Masa inicial (g) | Masa final (g) | componentes orgánicas (%) |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------------------|
| Muestra 8 | 16,6 ± 0,1 | 16,2 ± 0,1 | (3,0 ± 0,1) % |
| Muestra 9 | 20,0 ± 0,1 | 19,7 ± 0,1 | (1,7 ± 0,1) % |
| Muestra 10 | 25,7 ± 0,1 | 24,6 ± 0,1 | (4,0 ± 0,1) % |

Muestras del Templo Pintado

En la tabla 4.12 observamos que entre las muestras del Templo Pintado una vez más que se forman dos subgrupos. Un subgrupo formado por las muestras 1, 2 y 3 (adobes) y otro subgrupo formado por las muestras 4 y 5, que corresponden al mortero y al enlucido, respectivamente. En el primer subgrupo observamos que la muestra 1, es la de mayor valor en componentes orgánicas (3,0%), mientras que la muestra 3 es la de menor porcentaje (1,6%). Los valores obtenidos para el segundo subgrupo son significativamente menores a los del primer subgrupo, sin embargo la muestra 4 presenta menor valor respecto a la muestra 5. En ambos casos son menores al 1%.

Tabla 4.12: porcentaje de componentes orgánicas en las muestras del Templo Pintado.

| Muestras | Masa inicial (g) | Masa final (g) | componentes orgánicas (%) |
|-----------|------------------|----------------|---------------------------|
| Muestra 1 | 11,4 ± 0,1 | 11,0 ± 0,1 | (3,0 ± 0,1) % |
| Muestra 2 | 11,0 ± 0,1 | 10,4 ± 0,1 | (2,0 ± 0,1) % |
| Muestra 3 | 11,7 ± 0,1 | 11,5 ± 0,1 | (1,6 ± 0,1) % |
| Muestra 4 | 14,5 ± 0,1 | 14,4 ± 0,1 | (0,7 ± 0,1) % |
| Muestra 5 | 12,7 ± 0,1 | 12,5 ± 0,1 | (0,9 ± 0,1) % |

Debido a la utilización de protocolos diferentes, no podremos comparar los resultados obtenidos entre las muestras del Templo del Sol y el Templo Pintado, sin embargo podemos concluir que el primer protocolo utilizado es menos eficiente debido al riesgo de pérdida de material.

IV.1.5 Determinación de la porosidad del adobe

Los resultados que presentamos a continuación fueron realizados de acuerdo al protocolo desarrollado en el ítem III.1.5 y de acuerdo a las ecuaciones 3.9, 3.10, 3.11 y 3.12.

El octaedro formado como parte del procedimiento es de la forma que se muestra en la fotografía 4.12.



Fotografía 4.12: octaedro formado para la determinación de la porosidad de la muestra 1 del Templo Pintado.

Los parámetros medidos, así como las porosidades calculadas se muestran en las tablas 4.13 y 4.14

Muestras Templo del Sol

Los valores de masas, volúmenes real y aparente, densidad real y aparente, porosidad son mostrados en la tabla 4.13.

Tabla 4.13: porosidad para las muestras del Templo del Sol.

| Muestra | Masa ortopedro (g) ($\pm 0,1 \times 10^{-3}$) | Volumen aparente (cm^3) ($\pm 0,05$) | Volumen real (cm^3) | Densidad aparente (g/cm^3) ($\pm 0,1 \times 10^{-2}$) | Densidad real (g/cm^3) | Porosidad ($\pm 1,0\%$) |
|------------|---|--|--------------------------------------|--|--|------------------------------|
| Muestra 8 | 17,4 | 11,8 | $8,0 \pm 3,0$ | 1,5 | $2,2 \pm 1,1$ | 32,0 % |
| Muestra 9 | 21,0 | 12,8 | $10,0 \pm 4,0$ | 1,6 | $2,0 \pm 0,8$ | 21,7 % |
| Muestra 10 | 26,5 | 14,7 | $12,0 \pm 4,0$ | 1,8 | $2,2 \pm 0,7$ | 18,4 % |

En la tabla observamos que las muestras presentan un valor variable de porosidad entre ellas, siendo el valor más alto 32% para la muestra 8, 22% para la muestra 9 y 18% para la muestra 10.

Hemos visto que la muestra 8 presenta mayor contenido de grava (ver ítem IV.1.1) y arcilla (gráfica 4.5), con respecto a la arena presenta un valor comparable con los porcentajes de las otras dos muestras. La componente orgánica medida (tabla 4.11) también presenta un valor relativamente grande. Estas características texturales estarían determinando el mayor porcentaje de porosidad medida en la muestra 8.

La muestra 10 presenta el menor porcentaje de grava (ver ítem IV.1.1), este valor es tres veces menor que el de la muestra 8, el contenido de arena y arcilla es comparable, mientras que su componente orgánica es mayor en 1%. Dadas estas características vemos que la diferencia que se encuentra respecto a las muestras 8 y 10 es en el porcentaje de grava. Este factor explicaría que tenga el menor porcentaje de porosidad.

La muestra 9 presenta valores intermedios para su contenido de grava, arena y, mientras que presenta valores ligeramente inferiores para arcilla y componentes orgánicas, estos resultados justifican su valor intermedio de porosidad.

Muestras Templo Pintado

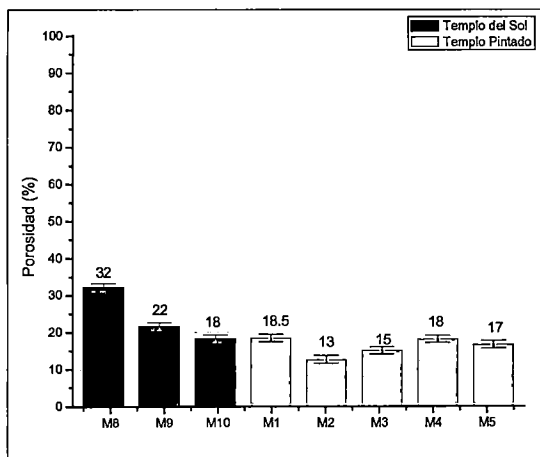
Los valores de masas, volúmenes real y aparente, densidad real y aparente, porosidad son mostrados en la tabla 4.14. En ella no se observa variaciones significativas, sin embargo se ha obtenido que los valores de porosidad para las muestra 1, muestra 4 y muestra 5 son mayores respecto a las muestra 2 y muestra 3.

Tabla 4.14: porosidad para las muestras del Templo Pintado

| Muestra | Masa ortoedro (g) ($\pm 0,1 \times 10^{-3}$) | Volumen aparente (cm ³) ($\pm 0,05$) | Volumen real (cm ³) ($\pm 4,0$) | Densidad aparente (g/cm ³) ($\pm 0,1 \times 10^{-2}$) | Densidad real (g/cm ³) | Porosidad ($\pm 1,0\%$) |
|-----------|--|--|---|---|------------------------------------|---------------------------|
| Muestra 1 | 33,0 | 20,8 | 17,0 | 1,6 | 2,0 \pm 0,5 | 18,5 % |
| Muestra 2 | 33,3 | 18,3 | 16,0 | 1,8 | 2,0 \pm 0,5 | 13,0 % |
| Muestra 3 | 28,0 | 18,8 | 16,0 | 1,5 | 1,8 \pm 0,4 | 15,0 % |
| Muestra 4 | 24,6 | 14,7 | 12,0 | 1,7 | 2,0 \pm 0,7 | 18,0 % |
| Muestra 5 | 9,6 | 6,0 | 5,0 | 1,6 | 1,9 \pm 1,5 | 17,0 % |

La porosidad para la muestra 1, muestra 4 y la muestra 5 son valores entre 17% y 18%, valores que son aproximadamente similares. Estos resultados se justifican con los fracciones de arena y arcilla de dichas muestras (gráfica 4.10); estas muestras presentan los valores mayores. La muestra 1 presenta el mayor porcentaje de componentes orgánicas (tabla 4.12) y un valor intermedio de grava (ítem IV.1.1.1). Esto justificarían el valor de porosidad hallado. Por otro lado, la muestra 4 y la muestra 5 presentan los menores valores de grava (ítem IV.1.1.1) y los menores valores en componentes orgánicas (tabla 4.12). Estas características, sumadas a los fracciones de arena y arcilla encontrados, justifican los respectivos valores de porosidad.

En la gráfica 4.13 observamos la comparación de los resultados obtenidos para las muestras de ambos templos, podemos decir que las muestras 8 y 9 del Templo del Sol presentan mayor porosidad que la muestra 10 y las muestras del Templo Pintado. Esta diferencia podría deberse a lo que se conoce como porosidad estructural ya que las muestras del Templo del Sol son morteros y éstos no tuvieron un proceso de compactación en su manufactura, tal como sucede en el caso de los adobes.



Gráfica 4.13: comparación de los porcentajes de porosidad entre las muestras del Templo del Sol y del Templo Pintado.

IV.1.6 Determinación del contenido de sales solubles

IV.1.6.1 Recristalización de sales solubles

Los resultados que mostraremos a continuación están basados en el protocolo descrito en el ítem III.5 y de acuerdo a las ecuaciones 3.13 y 3.14.

Muestras del Templo del Sol

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 4.15.

Tabla 4.15: porcentaje de sales solubles en las muestras del Templo del Sol

| Muestra | Masa muestra (g) | Masa sales solubles (mg) | Porcentaje |
|----------------|-------------------------|---------------------------------|-------------------|
| Muestra 8 | 17,4 ± 0,1 | 184,0 ± 0,1 | (1,00 ± 0,05) % |
| Muestra 9 | 21,0 ± 0,1 | 164,0 ± 0,1 | (0,80 ± 0,05) % |
| Muestra 10 | 26,5 ± 0,1 | 260,0 ± 0,1 | (1,00 ± 0,05) % |

Observamos que la muestra 8 y la muestra 10 del Templo del Sol no presentan variación significativa entre ellas, ambas están alrededor del 1%. La muestra 9 es la de menor valor, con alrededor de 0,8% en contenido de sales solubles. En promedio podemos decir que las muestras del Templo del Sol tienen alrededor del 1%.

Muestras del Templo Pintado

En el proceso de recristalización se observó que la mayoría de los crecimientos cristalinos corresponden a sales de sulfato de calcio dihidratado (fotografía 4.13).



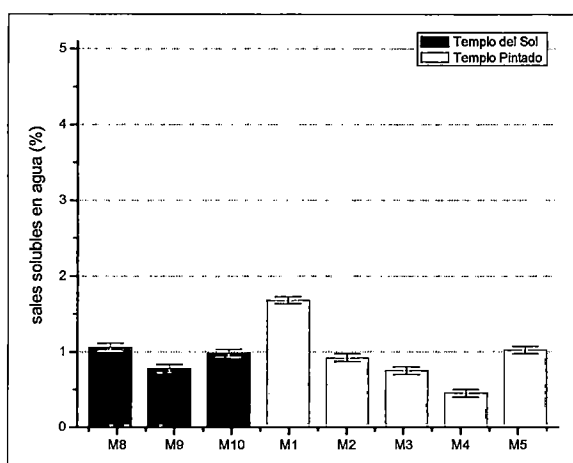
Fotografía 4.13: cristales de sulfato de calcio dihidratado en la muestra 4. Fotografía tomada a 100x.

Los porcentajes obtenidos en la recristalización se detallan en la tabla 4.16.

Tabla 4.16: porcentaje de sales solubles en las muestras del Templo Pintado

| Muestra | Masa muestra (g) | Masa sales solubles (mg) | Porcentaje |
|-----------|------------------|--------------------------|---------------|
| Muestra 1 | 33,0 ± 0,1 | 555,0 ± 0,1 | (1,7 ± 0,1) % |
| Muestra 2 | 33,3 ± 0,1 | 305,0 ± 0,1 | (0,9 ± 0,1) % |
| Muestra 3 | 28,0 ± 0,1 | 210,0 ± 0,1 | (0,8 ± 0,1) % |
| Muestra 4 | 24,6 ± 0,1 | 110,0 ± 0,1 | (0,5 ± 0,1) % |
| Muestra 5 | 8,0 ± 0,1 | 82,5 ± 0,1 | (1,0 ± 0,1) % |

En la gráfica 4.14 observamos que la muestra 8 y la muestra 9 del Templo del Sol no presentan variación significativa entre ellas, ambas están alrededor del 1%. La muestra 9 es la de menor valor, con alrededor de 0,8% en contenido de sales solubles. Podemos decir, que en promedio las muestras del Templo del Sol tienen alrededor del 1% de contenido de sales solubles en agua.



Gráfica 4.14: comparación de los porcentajes de sales solubles en agua entre las muestras del Templo del Sol y del Templo Pintado.

En la misma gráfica se observa que las muestras del Templo Pintado presentan variación significativa, siendo la muestra 1 y la muestra 5 las de mayor valor, con 1,7% y 1,0%, respectivamente. La muestra 2 y la muestra 3 presenta valores cercanos, entre 0,9% y 0,8% respectivamente. La muestra 4 es la que presenta menor valor, alrededor de 0,5%.

Las muestras 1 y 5 presentan los mayores porcentajes en sales solubles, esto podría deberse a que ambas están ubicadas en la parte superior del Templo Pintado (figura 2.2, capítulo II) sector 1, escalón 9 y sector Almacenes respectivamente. Probablemente las sales fueron movilizadas por acción del viento. Las muestras con los menores valores, muestra 3 y muestra 4 fueron extraídas del escalón 6, posición intermedia en el templo. La muestra 2, también fue extraída del escalón 9.

En la gráfica 4.14 también observamos que la distribución de sales solubles es más homogénea en las muestras pertenecientes al Templo del Sol. De la misma manera podemos decir que las muestras extraídas del Templo Pintado presentan una variación en su contenido de sales solubles; dicha variación presentan la tendencia de ser decreciente con respecto a la altura a partir del nivel del suelo.

IV.1.6.2 Caracterización de sales solubles en agua por espectrometría de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva (EDXRF)

Las caracterizaciones de sales solubles en agua se realizaron en el Laboratorio de Investigaciones y Certificaciones (LABICER) de la Universidad Nacional de Ingeniería. El equipo empleado fue un espectrofotómetro de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva SHIMADZU EDX 800 HS, con tubo de Rh (5 - 50kV) y detector semiconductor Si(Li) de 150 eV, con rango de lectura entre ${}^6\text{C}$ hasta ${}^{92}\text{U}$. (www.ssi.shimadzu.com, consultado el 12 feb 14).

Muestras del Templo del Sol

En la tabla 4.17 se resume los resultados de la caracterización realizada.

Tabla 4.17: caracterización por EDXRF de las sales recristalizadas del Templo del Sol

| Elemento | Muestra 8 | Muestra 9 | Muestra 10 |
|-----------------|------------------|------------------|-------------------|
| Cl | 56,5 % | n.d. | n.d. |
| K | 24,5 % | 1,0 % | 49,0 % |
| Ca | 13,0 % | 63,4 % | 33,0 % |
| S | 2,1 % | 9,7 % | 13,8 % |
| Cu | < 0,1 % | 0,4 % | 0,2 % |

Observamos que los elementos comunes identificados en las muestras 8, 9 y 10 son potasio, calcio, azufre y cobre. Estos elementos estarían asociados a sales de sulfato de calcio dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), nitratos de potasio y sales de cobre, estando esta última en trazas.

Únicamente para la muestra 8 se ha determinado la presencia de cloro como elemento mayoritario, éste estaría asociado a la formación de cloruros de potasio o cloruros de calcio.

Muestras del Templo Pintado

En la tabla 4.18 se muestra los resultados de la caracterización realizada.

Tabla 4.18: *caracterización por EDXRF de las sales recristalizadas del Templo Pintado*

| Elemento | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 | Muestra 4 | Muestra 5 |
|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Cl | n.d. | 45,3 % | 48,0 % | n.d. | n.d. |
| K | 19,0 % | 22,4 % | 16,5 % | 5,0 % | 32,2 % |
| Ca | 61,0 % | 24,0 % | 23,0 % | 77,3 % | 50,0 % |
| S | 18,0 % | 7,0 % | 5,0 % | 14,3 % | 16,4 % |
| Cu | 0,1 % | 0,1 % | 1,0 % | n.d. | 0,1 % |

Observamos que los elementos comunes identificados en las muestras 1, 2, 3, 4 y 5 son potasio, calcio y azufre. Estos elementos estarían asociados a sales de sulfato de calcio dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y nitratos de potasio

El cobre es identificado en trazas para todas las muestras, excepto la muestra 4, estando este elemento asociado a la presencia de sales de cobre.

El cloro es identificado como elemento mayoritario para las muestras 2 y 3; estando asociado a cloruros de potasio o cloruros de calcio.

IV.1.7 Determinación del contenido de carbonatos

La determinación del contenido de carbonatos se realizó de acuerdo al protocolo descrito en el ítem III.7. Los cálculos se realizaron de acuerdo a la ecuación 3.17.

Muestras del Templo del Sol

La tabla 4.19 resume los resultados obtenidos para las muestras del Templo del Sol.

Tabla 4.19: *porcentaje de carbonatos en las muestras del Templo del Sol.*

| Muestras | Masa inicial (g) | Masa final (g) | contenido carbonatos |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| Muestra 8 | $16,0 \pm 0,1$ | $15,5 \pm 0,1$ | $(4,0 \pm 0,1) \%$ |
| Muestra 9 | $20,0 \pm 0,1$ | $18,8 \pm 0,1$ | $(4,6 \pm 0,1) \%$ |
| Muestra 10 | $24,6 \pm 0,1$ | $23,7 \pm 0,1$ | $(3,5 \pm 0,1) \%$ |

Podemos observar que entre los valores obtenidos, la muestra 9 es la que presenta el mayor porcentaje, la muestra 8 presenta un valor intermedio y la muestra 10 el menor valor. Todos los porcentajes obtenidos son menores al 5%.

Muestras del Templo Pintado

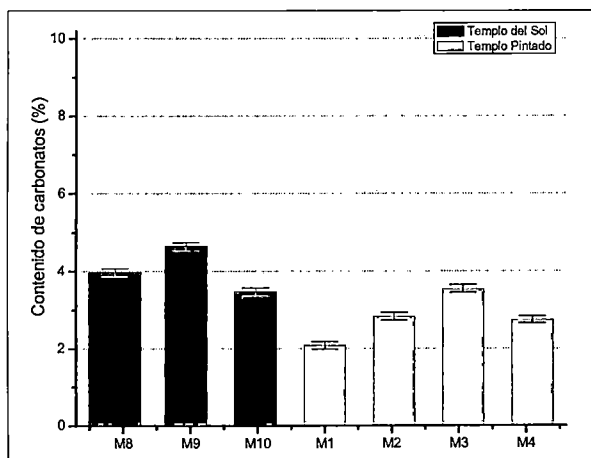
La tabla 4.20 resume los resultados obtenidos para las muestras del Templo Pintado.

Tabla 4.20: porcentaje de carbonatos en las muestras del Templo Pintado

| Muestras | Masa inicial (g) | Masa final (g) | contenido carbonatos |
|-----------|------------------|----------------|----------------------|
| Muestra 1 | 18,3 ± 0,1 | 18,0 ± 0,1 | (2,0 ± 0,1) % |
| Muestra 2 | 18,0 ± 0,1 | 17,5 ± 0,1 | (2,8 ± 0,1) % |
| Muestra 3 | 12,5 ± 0,1 | 12,0 ± 0,1 | (3,5 ± 0,1) % |
| Muestra 4 | 8,2 ± 0,1 | 8,0 ± 0,1 | (2,7 ± 0,1) % |

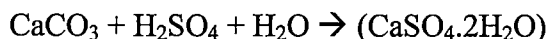
Podemos observar que entre los valores obtenidos, la muestra 3 es la que presenta mayor porcentaje, las muestras 2 y 4 presentan valores intermedios y aproximadamente similares y la muestra 1 presenta el menor porcentaje. Todos los porcentajes obtenidos son menores a 4%.

En la gráfica 4.15 observamos la comparación entre los resultados obtenidos para las muestras de ambos templos. Las muestras del Templo del Sol tienen la tendencia a tener mayor porcentaje de carbonatos que las muestras del Templo Pintado.



Gráfica 4.15: comparación de los porcentajes de contenido de carbonatos entre las muestras del Templo del Sol y del Templo Pintado.

Es importante notar que los porcentajes de carbonatos obtenidos son mayores a los porcentajes de sales solubles. Como ya mencionamos, se ha identificado sulfato de calcio dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) en todas las muestras. Esta sal se produce a partir del carbonato de calcio, ácido sulfúrico y agua de acuerdo a la siguiente reacción:



Esto es de importancia porque nos dice que en el sitio arqueológico de Pachacamac existiría una fuente que justifique la presencia de ácido sulfúrico, por ejemplo, éste podría ser incorporado a través de rocío ácido.

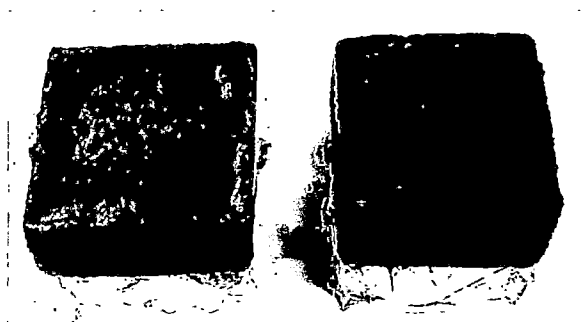
SEGUNDA PARTE: PREPARACIÓN DE FACSIMILES

En esta parte detallaremos los resultados de la preparación de facsímiles.

IV.2 Preparación de facsímiles

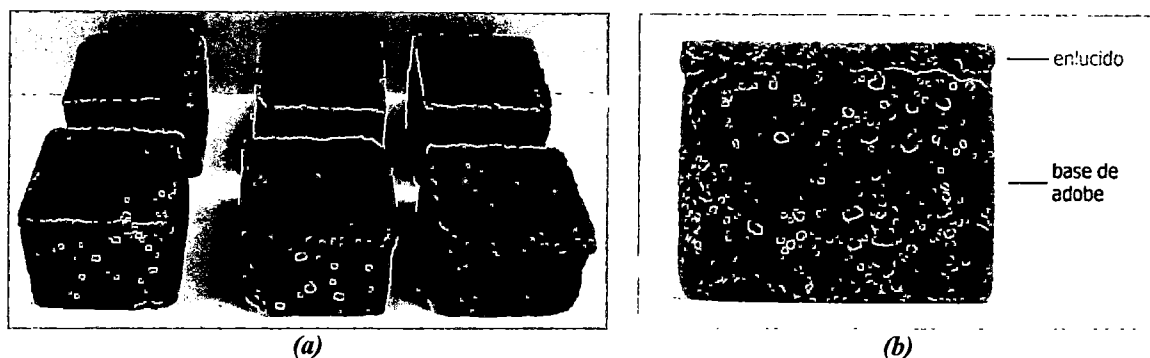
La preparación de las bases de los facsímiles se realizó siguiendo la mezcla mencionada en el ítem III.2. Las dimensiones de las bases son 5 cm de largo, 5 cm de ancho y 4 cm de alto, aproximadamente. Los resultados son mostrados en la fotografía 4.14.

La preparación del enlucido se realizó de acuerdo a la mezcla mencionada en el ítem III.2 y conservando la proporción granulométrica de la muestra 5, encontrada en los ítems IV.1.1.1 y IV.1.1.2. Esta proporción en grava, arena y limo más arcilla es de 0,7%; 73% y 27% respectivamente.



Fotografía 4.14: bases de los facsímiles luego del desmolde.

En las fotografías 4.15a y 4.15b se muestran los facsímiles terminados y listos para la aplicación de consolidantes. Los enlucidos no se desprendieron de la base ni presentaron rajaduras, esto nos indica que la mezcla utilizada es la adecuada.



Fotografía 4.15: (a) la base del facsímil está armada con el adobe de la muestra 1 del Templo Pintado. El enlucido conserva la distribución granulométrica de la muestra 5. (b) la base del facsímil tiene un espesor de 4,0 cm y el enlucido de 0,4 cm aproximadamente.

TERCERA PARTE: PREPARACIÓN DE CONSOLIDANTES

En esta tercera parte expondremos los resultados obtenidos en la preparación de los consolidantes, así como los resultados en la aplicación sobre los enlucidos de los facsímiles.

IV.3 1. Los consolidantes

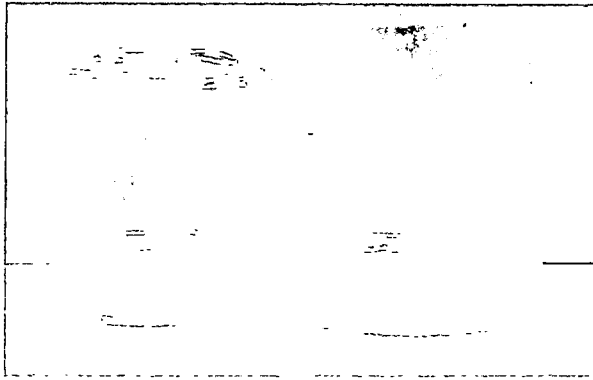
La preparación de los consolidantes se detalla a continuación. Cabe mencionar que en ninguna se midieron los valores de pH, ni de viscosidad.

IV.3.1.1. Consolidantes de origen vegetal

Para la dilución de los consolidantes seguimos todos los procedimientos descritos en el ítem III.3.1.

a. Agar agar

Las soluciones obtenidas presentaron color blanquecino, siendo la de menor concentración la menos blanquecina (fotografía 4.16). La viscosidad también varió respecto a la temperatura, siendo menos viscosa a temperaturas sobre los 60°C.

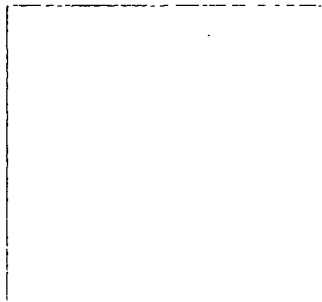


Fotografía 4.16: soluciones de agar agar solidificadas, al 0,7% (izquierda) y 1,2% (derecha). Ambas presentan un color blanquecino.

b. Mucilago de tuna

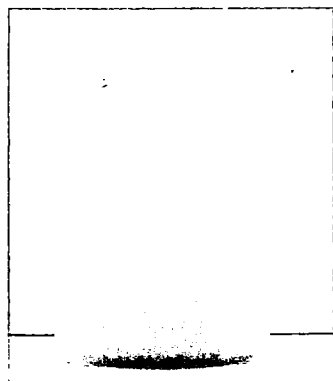
Se prepararon dos soluciones de mucilago de tuna de acuerdo a lo descrito en el ítem III.3.1.1, preparaciones b.1 y b.2.

La solución obtenida mediante el procedimiento b.1 es de color amarillo verdoso y bastante viscosa (fotografía 4.17).



Fotografía 4.17: solución de mucilago al 46%, preparada de acuerdo al procedimiento b1.

La solución obtenida por el procedimiento b.2 también es de color amarillo - verdoso, en un tono más oscuro que la solución obtenida en b.1 y bastante más viscosa (fotografía 4.18). No se midió la viscosidad, ni el pH.

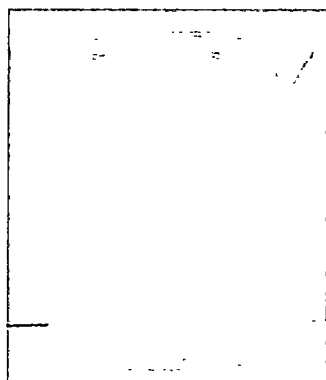


Fotografía 4.18: solución de mucilago al 46% preparada de acuerdo al procedimiento b.2.

IV.3.1.2. Consolidantes de origen animal

c. Gelatina

Se prepararon dos soluciones de gelatina de acuerdo a lo descrito al ítem III.3.1.2. Las soluciones obtenidas son ligeramente blanquecinas y de muy baja viscosidad cuando están calientes (fotografía 4.19).



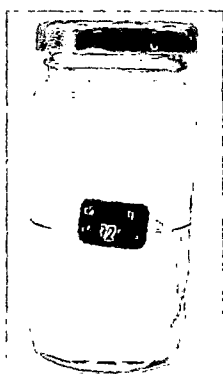
Fotografía 4.19: solución de gelatina al 5% solidificada.

IV.3.1.3. Consolidante tipo polímero sintético

d. Paraloid B72®

Se prepararon dos soluciones de paraloid B72® de acuerdo a lo descrito al ítem III.3.1.3.

Las soluciones obtenidas son incoloras y de muy baja viscosidad (fotografía 4.20).



Fotografía 4.20: solución de paraloid B72® al 3,6%.

IV.3.2 Aplicación de consolidantes

Antes de la aplicación del consolidante, se humedeció con alcohol isopropílico al 30% el enlucido de los facsímiles. El objetivo del uso de alcohol isopropílico es asegurar la mayor penetración del consolidante (Ferron, 2007).

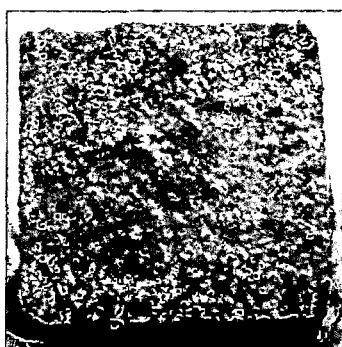
Las aplicaciones de todos los consolidantes se realizaron con brocha y sobre papel japonés. El método consistió en aplicar la primera capa, esperar a que penetre completamente y esté seco para después volver a aplicar. El número de veces que se aplicó el consolidante estuvo en función de la cantidad de material desprendido, luego de realizar el test de adherencia que describiremos en el siguiente ítem.

El tiempo transcurrido entre aplicaciones fue un día para asegurar que el enlucido esté completamente seco.

IV.3.2.1 Consolidantes de origen vegetal

a. Agar agar

Las tres soluciones de agar agar se aplicaron a 80°C aproximadamente, dado que a esta temperatura la viscosidad es baja y permite una fácil aplicación. La fotografía 4.21 muestra el acabado del enlucido con una capa de solución de agar agar al 3,7%.

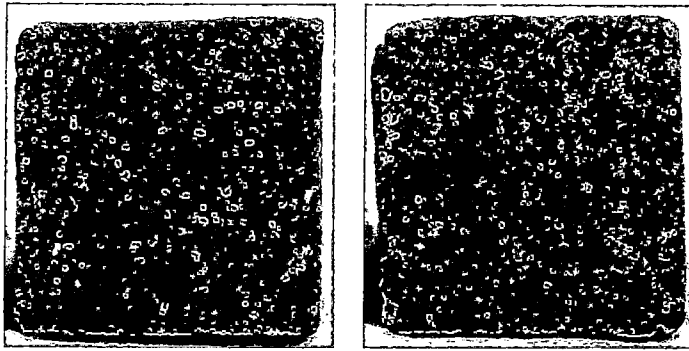


Fotografía 4.21: enlucido consolidado con agar agar al 3,7%.

Al realizar la aplicación de la primera capa observamos que se formó sobre el enlucido consolidado una película blanquecina que se desprendió con facilidad.

b. Mucílago de tuna

Las dos soluciones de mucílago de tuna se aplicaron a temperatura ambiente, alrededor de 23°C. Las fotografías 4.22a y 4.22b muestran el acabado del facsímil con una capa de solución de mucílago de tuna.

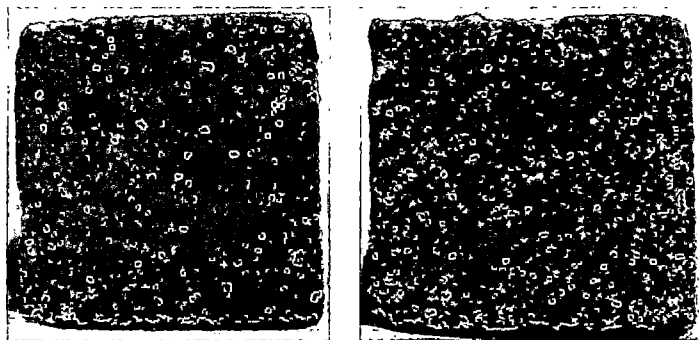


(a) (b)
Fotografías 4.22: *enlucido consolidado con mucilago de tuna al 46% (a) preparado según el protocolo b.1, (b) preparado según el protocolo b.2.*

IV.3.2.2. Consolidantes de origen animal.

c. Gelatina

Las dos soluciones de gelatina preparadas (5% y 3%) se aplicaron alrededor de 37°C, para aprovechar la baja viscosidad a esta temperatura y facilitar la aplicación. Las fotografías 4.23a y 4.23b muestran el acabado del facsímil consolidados con solución de gelatina.

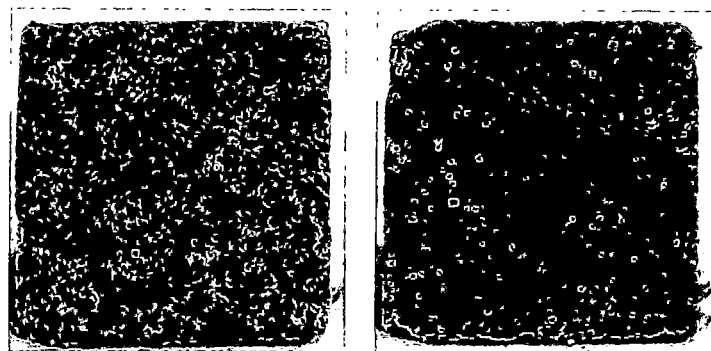


(a) (b)
Fotografía 4.23: *(a) enlucido consolidado con una capa de solución gelatina al 5%, (b) enlucido consolidado con una capa de solución de gelatina al 5% y dos capas de solución de gelatina al 3%.*

IV.3.2.3. Consolidantes tipo polímero sintético

d. Paraloid B72®

Las dos soluciones de este consolidante fueron aplicadas a temperatura ambiente del laboratorio, alrededor de 23°C. Las fotografías 4.24a y 4.24b muestran el acabado del facsímil consolidados con solución de paraloid.



(a) (b)
Fotografía 4.24: *enlucido consolidado con paraloïd B72® (a) al 6% y (b) al 3,6%.*

CUARTA PARTE: EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL ENLUCIDO CONSOLIDADO

En esta parte expondremos los resultados obtenidos en la evaluación de algunas propiedades físicas del enlucido consolidado, tales como: test de desprendimiento, medición de la microdureza del consolidante, medición de la profundidad de penetración, medición del cambio de apariencia y la medición de la abrasión por aire comprimido.

IV.4 Test de desprendimiento

Siguiendo el procedimiento descrito en el ítem III.4 realizamos el test de desprendimiento para cada enlucido tratado con los consolidantes.

Las fotografías de los facsímiles que mostraremos a continuación fueron tomadas con diferentes condiciones de iluminación, el estudio de las variaciones de la apariencia en los enlucidos se discutirán en el capítulo IV.7.

IV.4.1. Consolidantes de origen vegetal

a. Agar agar

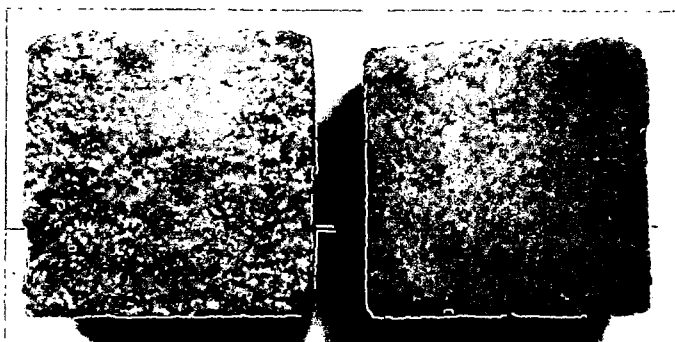
Se consolidaron los enlucidos de siete facsímiles. Las denominaciones de cada facsímil y las concentraciones aplicadas sobre cada uno se resumen en la tabla 4.21.

Tabla 4.21: *facsímiles consolidados con agar agar*

| Facsímil | Concentración |
|---------------|---------------|
| 1AA (1G) | 3,7% |
| 1AA, 2AA, 5AA | 0,7% |
| 3AA, 4AA, 6AA | 1,2% |

❖ *Facsimil 1AA (1G)*

Luego de la aplicación de la primera capa con solución de agar agar al 3,7%, se observó que ésta forma una película blanquecina sobre todo el enlucido. En la fotografía 4.25 se observa el contraste del enlucido con la primera capa de aplicación y el enlucido sin consolidante.



Fotografía 4.25: comparación entre el facsimil 1AA (1G) con una capa de consolidante (izquierda) y un facsimil sin consolidante (derecha).



Dado este resultado no continuamos trabajando con esta solución.

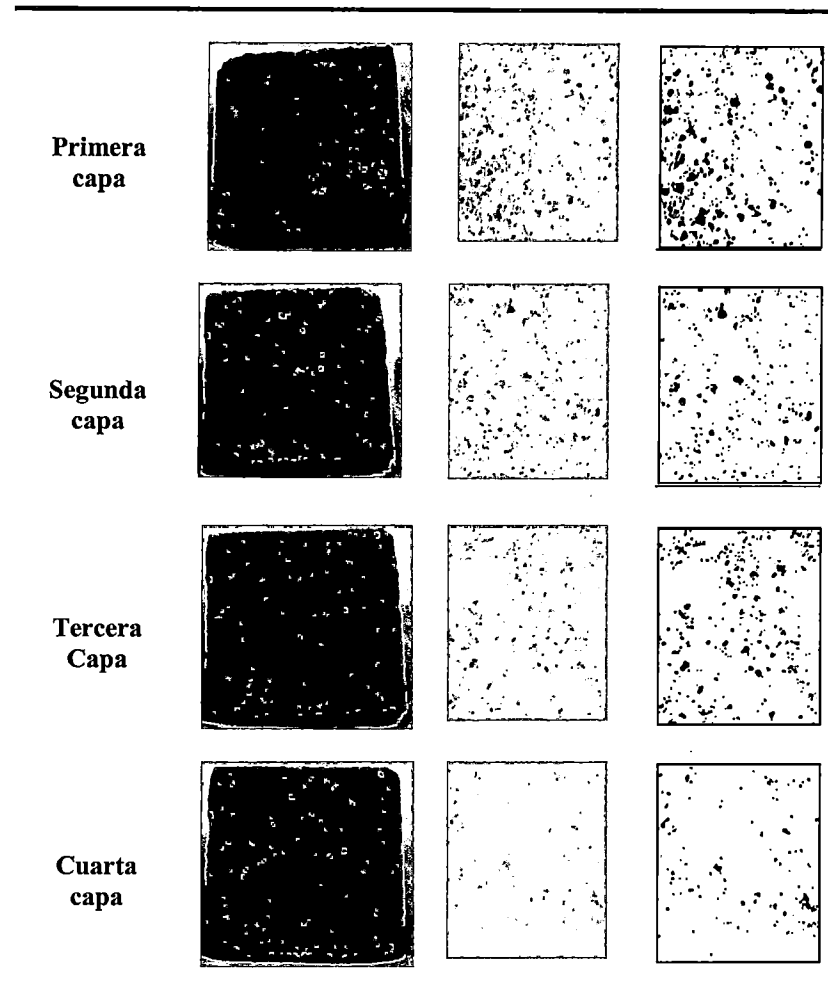
❖ *Facsimil 1AA*

Aplicamos una capa de solución de agar agar al 0,7% al enlucido, luego que esta estuviera completamente seca, llevamos a cabo el test de desprendimiento. Al cabo de la cuarta capa de aplicación observamos que el desprendimiento ya es mínimo, lo que nos indica que se ha logrado una buena adherencia del enlucido.

En la tabla 4.22 mostramos fotografías del facsimil 1AA, luego de cada aplicación de consolidante sobre el enlucido; así como, el resultado del test de desprendimiento. La columna denominada fotografía convertida se obtuvo a partir del procedimiento descrito en el ítem III.4.1.

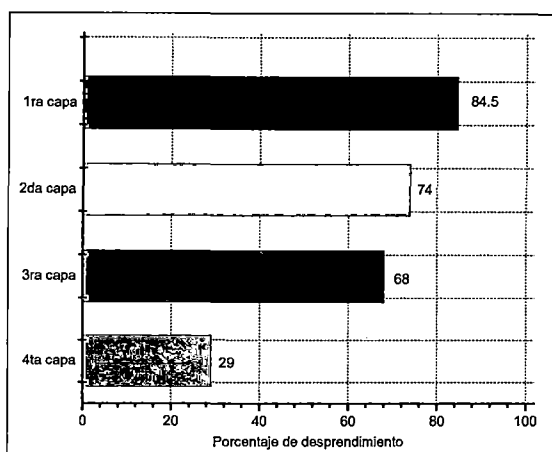
Tabla 4.22: enlucido del facsimil 1AA tratado con agar agar 0,7%

| | <i>Facsimil</i> | <i>Test de desprendimiento</i> | <i>Fotografía convertida</i> |
|-------------------------|--------------------|---|--|
| Sin consolidante | (no se fotografió) |  |  |



En las fotografías del test de desprendimiento realizadas sobre este enlucido se observa que cada aplicación de consolidante produce un menor desprendimiento, lo que significa que la cohesión del enlucido aumenta.

El resultado del conteo de desprendimiento a partir de las fotografías convertidas se muestra en la gráfica 4.16. Luego de la primera capa de consolidante, el desprendimiento disminuye a 84,5%, después de la segunda capa disminuye a 74%, después de la tercera capa, disminuye a 68% y al cabo de la cuarta capa, disminuye a 29%.



Gráfica 4.16: porcentaje de desprendimiento en el enlucido del facsímil 1AA al 0,7%



En resumen, podemos decir que luego de la cuarta capa de consolidante, se ha reducido el desprendimiento del enlucido al 29%.

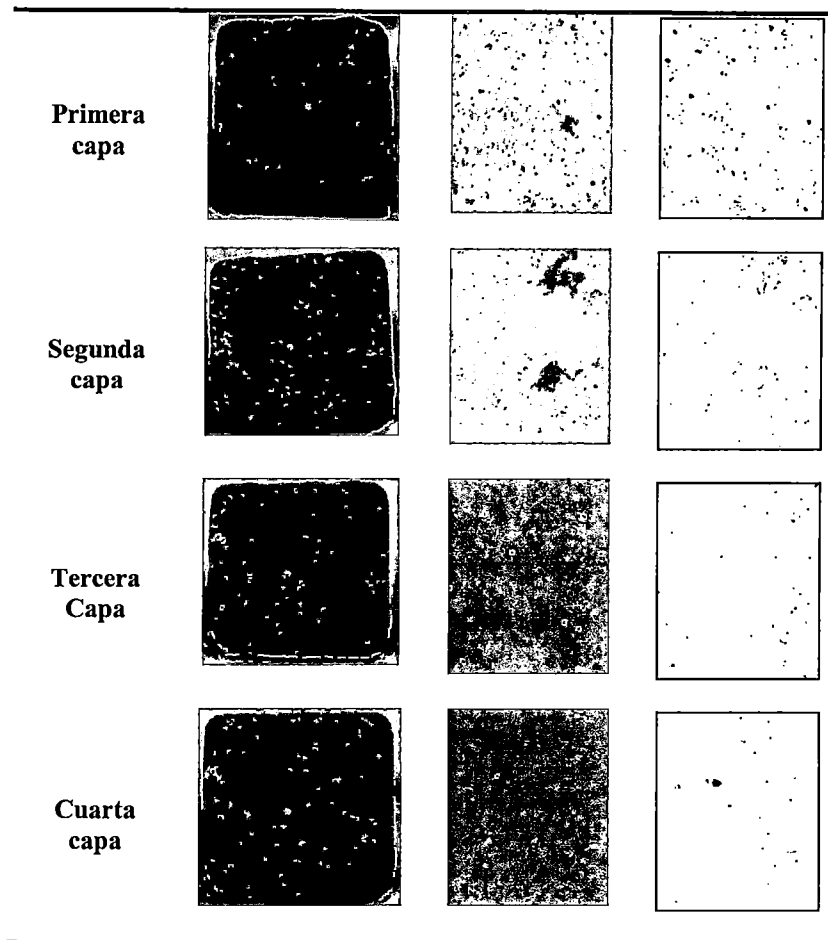
❖ **Facsímil 4AA**

Se aplicó solución de agar agar al 1,2%. Luego de la primera aplicación de consolidante, se llevó a cabo el test de adherencia. Al cabo de la cuarta capa de aplicación observamos que el desprendimiento ya es mínimo, lo que nos indica que se ha logrado una buena adherencia del enlucido.

En la tabla 4.23 mostramos fotografías del facsímil 4AA, luego de cada aplicación de consolidante sobre el enlucido; así como, el resultado del test de adherencia. La columna denominada fotografía convertida se obtuvo a partir del procedimiento descrito en el ítem III.4.1.

Tabla 4.23: enlucido del facsímil 4AA tratado con agar agar 1,2%

| Facsímil 4AA | Test de desprendimiento | Fotografía convertida |
|--|---|--|
| Sin consolidante (no se fotografió) |  |  |

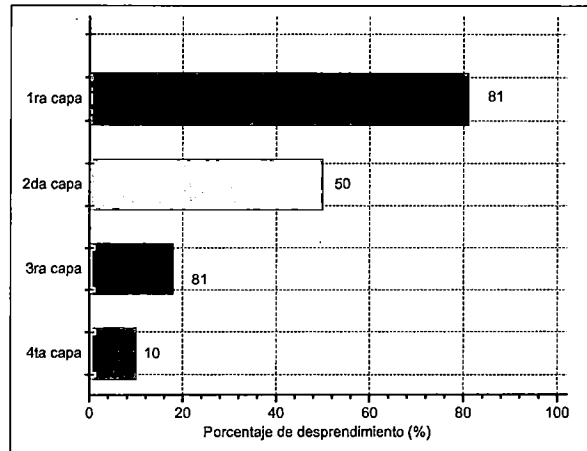


En las fotografías del test de desprendimiento realizadas sobre este enlucido se observa que cada aplicación de consolidante produce un menor desprendimiento, lo que significa que la fijación al enlucido aumenta.

En la fotografía de la segunda capa, en la columna de test de desprendimiento se observa partes desprendidas de la película blanquecina que tiende a formar el agar agar. Así mismo, se ha observado que a partir de la segunda capa se forma una capa blanquecina sobre el enlucido. Ésta se va haciendo más evidente en cada aplicación.

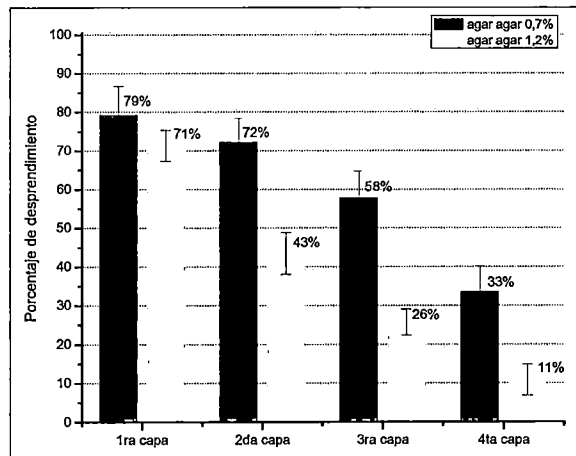
El resultado del conteo de desprendimiento a partir de las fotografías convertidas se muestra en la gráfica 4.17. Podemos observar que luego de la primera capa de consolidante, el desprendimiento disminuye al 81%, después de la segunda capa disminuye en 50%, después de la tercera capa, disminuye al 18% y al cabo de la cuarta capa, disminuye al 10%.

En resumen, podemos decir que luego de la cuarta capa de consolidante, se ha reducido el desprendimiento del enlucido al 10%.



Gráfica 4.17: porcentaje de desprendimiento en el enlucido del facsímil 4AA al 1,2%

En la gráfica 4.18 mostramos la comparación entre los valores promedios obtenidos en los seis enlucidos tratados con solución de agar agar: tres enlucidos tratados con solución al 0,7% y tres enlucidos tratados con solución al 1,2%



Gráfica 4.18: comparación de los porcentajes de desprendimiento promedio obtenidos para los seis facsímiles tratados con agar agar, a dos concentraciones diferentes.

En promedio podemos decir que luego de la primera capa de aplicación, el porcentaje de desprendimiento disminuye a 79% para la solución de 0,7% y a 71% para la solución de 1,2%. Se observa que al cabo de esta aplicación, no hay mayor diferencia entre la efectividad de ambas soluciones. Luego de la segunda capa, el desprendimiento disminuye a 72% para la solución de 0,7% y a 43% para la solución de 1,2%. Luego de la

tercera capa, el desprendimiento disminuye a 58% para la solución de 0,7% y a 26% para la solución de 1,2%. Finalmente, en la cuarta y última capa, el desprendimiento disminuye a 33% para la concentración de 0,7% y a 11 % para la concentración de 1,2%. A partir de la segunda capa de aplicación se observa que la solución al 1,2% disminuye el desprendimiento con mayor efectividad.

b. Mucílago de tuna

Se consolidaron los enlucidos de seis facsímiles. Las denominaciones de cada facsímil y las concentraciones aplicadas sobre cada uno, se resumen en la tabla 4.24. Las denominaciones b1 y b2 hacen referencia a los protocolos de preparación de cada solución descritas en el ítem III.3.1.1.

Tabla 4.24: facsímiles consolidados con mucílago de tuna.

| Facsímil | Concentración |
|-----------------|----------------------|
| Facs 1M, 3M, 5M | 46 % (b1) |
| Facs 2M, 4M, 6M | 46 % (b2) |


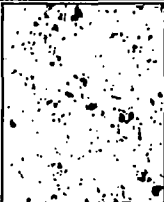
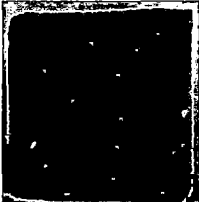


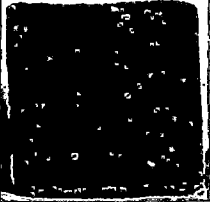


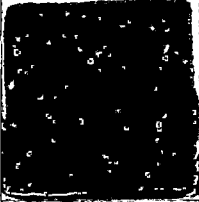

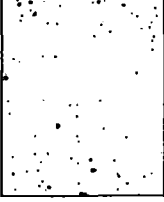
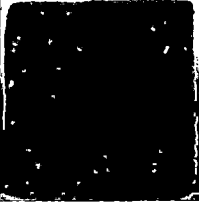

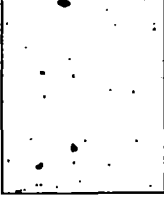
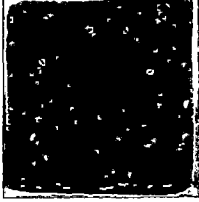
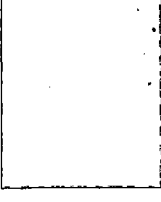
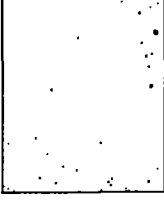
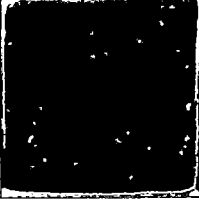
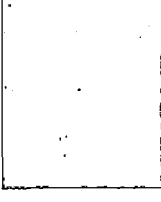
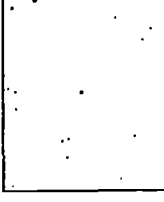
❖ *Facsímil 1M*

Se aplicó solución de mucílago de tuna al 46% (b1) sobre el enlucido. Luego de la primera aplicación de consolidante, se llevó a cabo el test de desprendimiento. Al cabo de la décima capa de aplicación observamos que la fijación del consolidante es máxima.

En la tabla 4.25 mostramos fotografías del facsímil 1M, luego de cada aplicación de solución de consolidante sobre el enlucido; así como el resultado del test de desprendimiento. La columna denominada fotografía convertida se obtuvo a partir del procedimiento descrito en el ítem III.4.1.

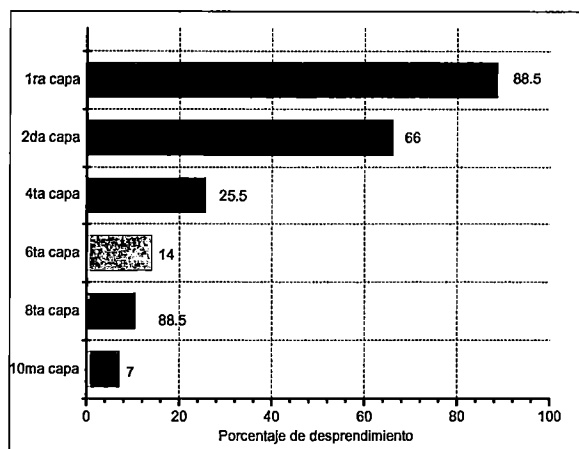
No mostramos los resultados obtenidos luego de la tercera capa porque no se observa diferencia con respecto a la segunda capa. De la misma manera ocurre con la quinta capa, séptima capa y novena capa.

Tabla 4.25: enlucido del facsimil 1M tratado con mucilago de tuna al 46% (b1)

| | Facsimil 1M | Test de desprendimiento | Fotografía convertida |
|------------------|---|---|---|
| Sin consolidante | (no se fotografió) |  |  |
| Primera capa |  |  |  |
| Segunda capa |  |  |  |
| Cuarta capa |  |  |  |
| Sexta capa |  |  |  |
| Octava capa |  |  |  |
| Décima capa |  |  |  |

En las fotografías del test de adherencia realizadas sobre este facsímil se observa que cada aplicación de consolidante produce un menor desprendimiento, lo que significa que la adherencia del enlucido aumenta.

El resultado del conteo de desprendimiento a partir de las fotografías convertidas se muestra en la gráfica 4.19.



Gráfica 4.19: porcentaje de desprendimiento en el enlucido del facsímil 1M consolidado con solución al 46% (b1).



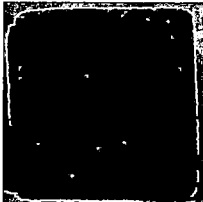


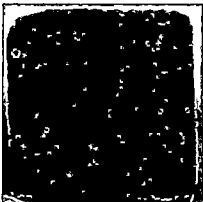
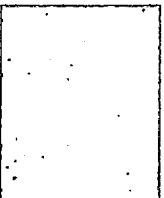
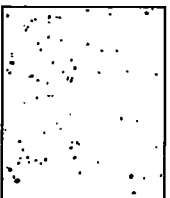
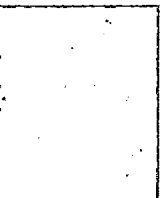
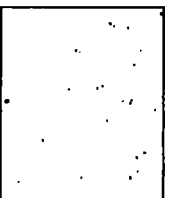
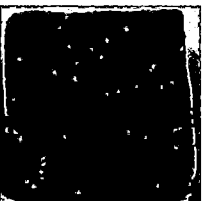
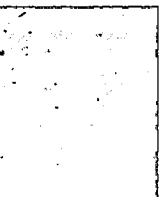
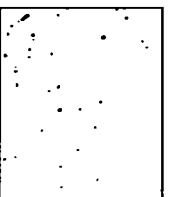
Luego de la primera capa de consolidante, el desprendimiento disminuye a 88,5%, después de la segunda capa disminuye a 66%, después de la cuarta capa, disminuye a 25,5%, al cabo de la sexta capa, disminuye a en 14%, al cabo de la octava capa, disminuye a 10,5% y al cabo de la décima capa, disminuye a 3%.

❖ *Facsímil 2M*

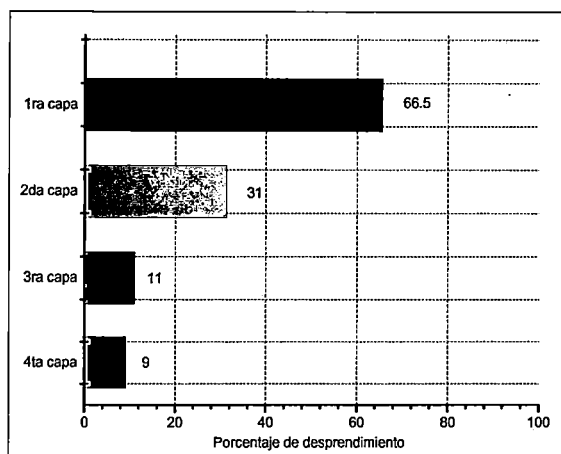
Se aplicó solución de mucílago de tuna al 46% (b2) sobre el enlucido. Luego de la primera aplicación de consolidante, se llevó a cabo el test de desprendimiento. Al cabo de la cuarta capa de aplicación observamos que el desprendimiento ya es mínimo, indicándonos que se ha logrado una buena fijación al enlucido.

En la tabla 4.26 mostramos fotografías del facsímil 2M, luego de cada aplicación de solución sobre el enlucido; así como el resultado del test de desprendimiento. La columna denominada fotografía convertida se obtuvo a partir del procedimiento descrito en el ítem III.4.1.

Tabla 4.26: enlucido del facsímil 2M tratado con mucilago de tuna al 46 % (b2)

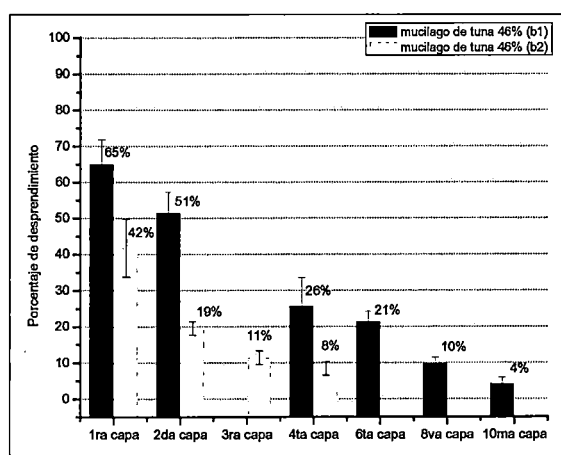
| | Facsímil 2M | Test de desprendimiento | Fotografía Convertida |
|-------------------------|---|---|---|
| Sin consolidante | (no se fotografió) |  |  |
| Primera capa |  |  |  |
| Segunda capa |  |  |  |
| Tercera Capa | (no se fotografió) |  |  |
| Cuarta capa |  |  |  |

El resultado del conteo de desprendimiento a partir de las fotografías convertidas se muestra en la gráfica 4.20. Luego de la primera capa de consolidante, el desprendimiento disminuye a 65,5%, después de la segunda capa disminuye a 31%, después de la tercera capa, disminuye a 11% y al cabo de la cuarta capa, disminuye a 9%.



Gráfica 4.20: porcentaje de desprendimiento en el enlucido del facsímil 2M consolidado con solución al 46% (b2).

En la gráfica 4.21 mostramos la comparación entre los valores promedios obtenidos en los seis enlucidos tratados con solución de mucílago: tres facsímiles tratados con solución al 80% y tres facsímiles tratados con solución al 92,5%.



Gráfica 4.28: comparación de los porcentajes de desprendimiento promedio obtenidos para los seis facsímiles tratados con mucílago de tuna.

Luego de la primera capa de aplicación, el porcentaje de desprendimiento es 68% para la solución de 46% (b1) y 46% para la de 46% (b2). Se observó que al cabo de esta aplicación, existe una diferencia entra la efectividad de ambas soluciones, siendo la solución 46% (b2) la más eficiente. Luego de la segunda capa, el desprendimiento disminuye a 53% para la concentración de 46%(b1) y a 21,5% para la solución de 46% (b2). Observamos que en esta segunda capa la diferencia de desprendimiento entra ambas concentraciones se hace mayor. Luego de la tercera capa, el desprendimiento disminuye a 11% para la solución de 46% (b2). En la cuarta capa, el desprendimiento disminuye a 29%

para la solución de 46% (b1) y a 8,5% para la solución de 46% (b2). Al cabo de esta aplicación observamos que la fijación del enlucido es más eficiente con la solución al 46%(b2), mientras que al cabo de la décima capa de aplicación con solución al 46%(b1) se logra un mínimo desprendimiento.

De acuerdo a estos resultados, podemos concluir que la solución de mucílago de tuna al 46% preparada según el protocolo b2 disminuye el desprendimiento del enlucido con mayor efectividad, además que se necesita una menor cantidad de capas de aplicación. Esto nos permite recomendar este procedimiento para la obtención de mucílago de tuna.

El método b.1 de obtención de mucílago de tuna comparado con el b.2 ha resultado menos eficiente debido al contenido de agua del cladodio de tuna. Toda esta cantidad de agua provoca que las propiedades adhesivas disminuyan considerablemente.

IV.4.2. Consolidantes de origen animal

c. Gelatina

Se consolidaron los enlucidos de ocho facsímiles. Las denominaciones de cada facsímil y las concentraciones aplicadas sobre cada uno, se resumen en la tabla 4.27.

Tabla 4.27: facsímiles consolidados con gelatina a diferentes concentraciones

| Facsímil | Concentración |
|----------------------------------|----------------------|
| Facs 2G, 3G, 4G, 5aG, 5bG, 6G | 5% |
| Facs 3aG, 6aG | 5% y 3% |

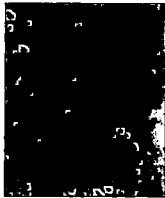


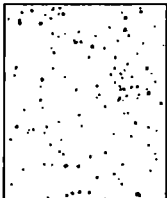

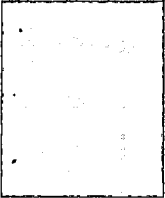

❖ *Facsímil 2G*

Se aplicó solución de gelatina al 5% sobre el enlucido. Luego de la primera aplicación de consolidante, se llevó a cabo el test de desprendimiento. Al cabo de la segunda capa de aplicación observamos que la fijación del consolidante al enlucido es máxima.

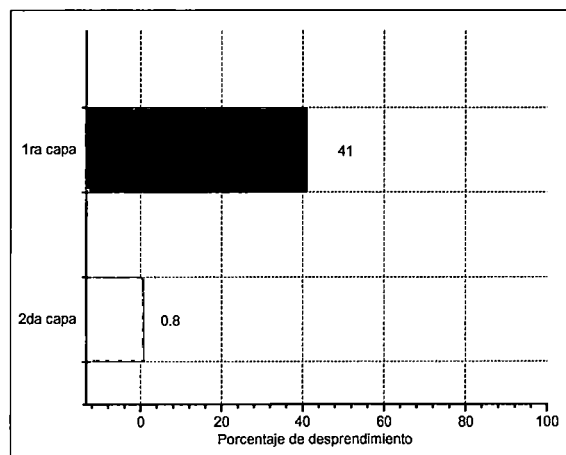
En la tabla 4.28 mostramos fotografías del facsímil 2G, luego de cada aplicación de solución de consolidante sobre el enlucido; así como el resultado del test de

adherencia. La columna denominada fotografía convertida se obtuvo a partir del procedimiento descrito en el ítem III.4.1.

Tabla 4.28: enlucido del facsímil 2G tratado con gelatina al 5%

| | Facsímil 2G | Test de desprendimiento | Fotografía convertida |
|-------------------------|--|--|--|
| Sin consolidante | (no se fotografió) |  |  |
| Primera capa | (no se fotografió) |  |  |
| Segunda capa |  |  |  |

El resultado del conteo de desprendimiento a partir de las fotografías convertidas se muestra en la gráfica 4.22. Luego de la primera capa de consolidante, el desprendimiento disminuye a 41% y al cabo de la segunda capa, disminuye a 0,8%.



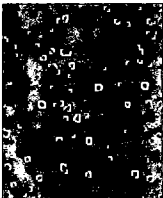



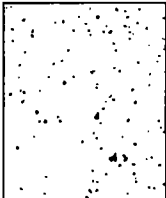

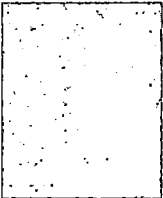
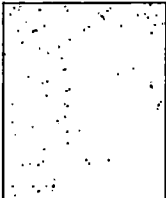
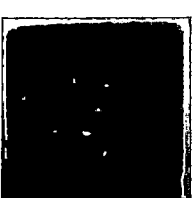
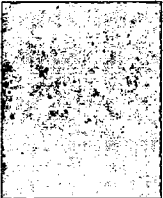
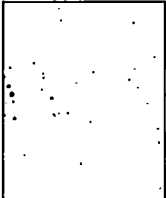
Gráfica 4.22: porcentaje de desprendimiento en el enlucido del facsímil 2G al 5%

❖ *Facsímil 3aG*

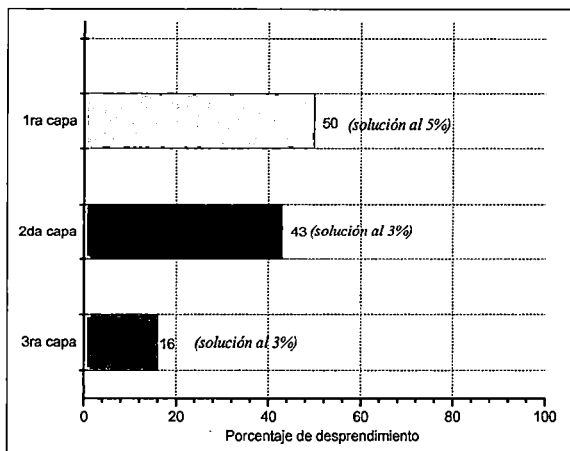
Se aplicó solución de gelatina a dos concentraciones diferentes: 5% y 3% sobre el enlucido. La primera capa se consolidó con solución al 5% y las dos siguientes con solución al 3%. Luego de la primera aplicación de consolidante, se llevó a cabo el test de desprendimiento. Al cabo de la tercera capa de aplicación observamos que el desprendimiento ya es mínimo, lo que nos indica que se ha logrado una buena fijación al enlucido.

En la tabla 4.29 mostramos fotografías del facsímil 3aG, luego de cada aplicación de solución de consolidante sobre el enlucido; así como el resultado del test de adherencia. La columna denominada fotografía convertida se obtuvo a partir del procedimiento descrito en el ítem III.4.1.

Tabla 4.29: enlucido del facsímil 3aG tratado con gelatina al 5% y al 3%

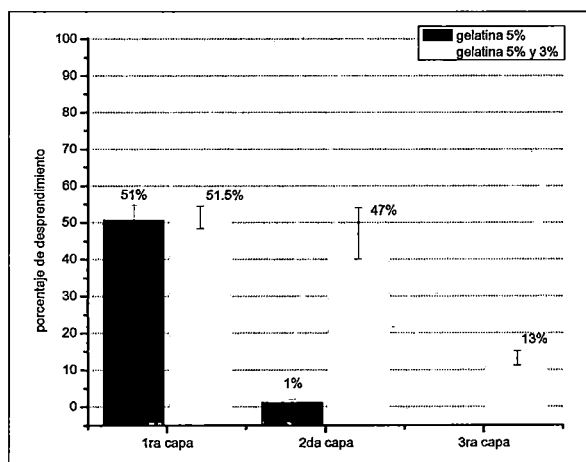
| | Facsímil 3aG | Test de desprendimiento | Foto convertida |
|-------------------------|---|---|---|
| Sin consolidante | (no se fotografió) |  |  |
| Primera capa |  |  |  |
| Segunda capa |  |  |  |
| Tercera capa |  |  |  |

El resultado del conteo de desprendimiento a partir de las fotografías convertidas se muestra en la gráfica 4.23. Observamos que luego de la primera capa de consolidante, al 5%, el desprendimiento disminuye a 50%, al cabo de la segunda capa de consolidante al 3%, el desprendimiento disminuye a 43% y al cabo de la tercera capa, el desprendimiento disminuye a 16%



Gráfica 4.23: porcentaje de desprendimiento en el enlucido del facsímil 3aG a 5% y 3%

En la gráfica 4.24 mostramos la comparación entre los valores promedios obtenidos en los seis facsímiles tratados con solución de gelatina al 5% y dos facsímiles tratados con solución de gelatina al 5% y al 3%.



Gráfica 4.24: comparación de los porcentajes de desprendimiento promedio obtenidos para los ocho facsímiles tratados con gelatina.

Podemos decir que en promedio, luego de la primera capa de aplicación, el porcentaje de desprendimiento es similar, dado que en ambas soluciones las concentraciones fueron similares (5%). Luego de la segunda capa el desprendimiento

disminuye a 1% para la solución de concentración 5% y a 47% para la solución de concentración 3%. Luego de la tercera capa, el desprendimiento disminuye a 11% para la solución al 3%.

De acuerdo a estos resultados, concluimos que aplicar dos capas de gelatina al 5% mejora la fijación del consolidante al enlucido de forma más eficiente que aplicar tres capas de solución, al 5% (primera capa) y al 3% (segunda y tercera capa).

IV.4.3 Consolidantes tipo polímero sintético

d. Paraloid B72®

Se consolidaron los enlucidos de seis facsímiles. Las denominaciones de cada facsímil y las concentraciones aplicadas sobre cada uno, se resumen en la tabla 4.30.

Tabla 4.30: facsímiles consolidados con paraloid B72 ® a diferentes concentraciones

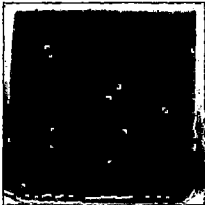

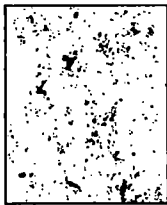
| Facsímil | Concentración |
|-----------------|----------------------|
| Facs 1, 3, 5 | 3,6% |
| Facs 2, 4, 6 | 6% |

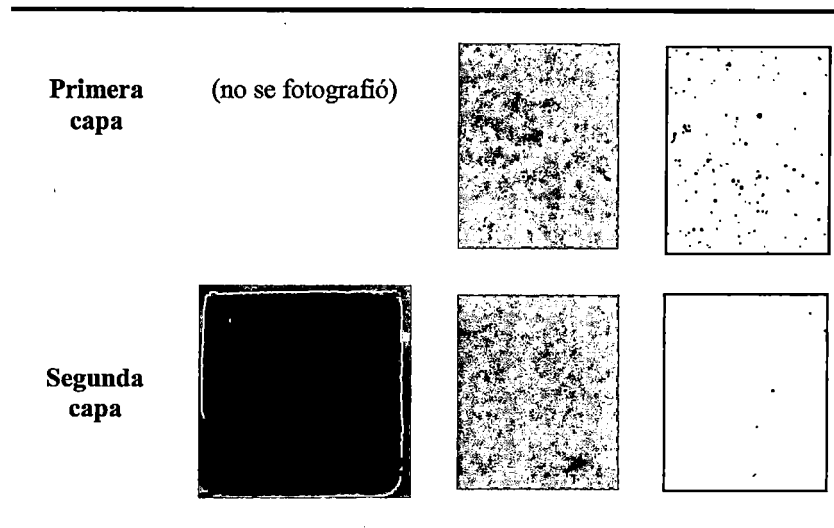
❖ *Facsímil 2P*

Se aplicó solución de paraloid B72 ® al 6% sobre el enlucido.

En la tabla 4.31 mostramos fotografías del facsímil 2P, luego de cada aplicación de solución de consolidante sobre el enlucido; así como el resultado del test de desprendimiento. La columna denominada fotografía convertida se obtuvo a partir del procedimiento descrito en el ítem III.4.1.

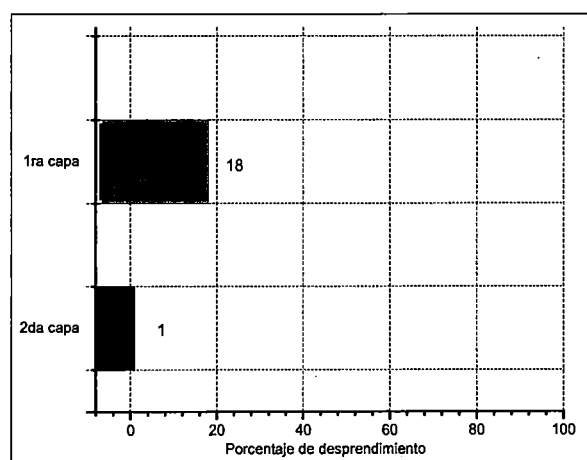
Tabla 4.31: enlucido del facsímil 2P tratado con paraloid ® al 6%

| | Facsímil 2P | Test de desprendimiento | Fotografía convertida |
|-------------------------|---|---|--|
| Sin consolidante |  |  |  |



En las fotografías del test de desprendimiento realizadas sobre este facsímil se observa que cada aplicación de consolidante produce mejora en la fijación del consolidante al enlucido, lo que significa que el desprendimiento del enlucido disminuye.

El resultado del conteo de desprendimiento, a partir de la conversión de las fotografías, se muestra en la gráfica 4.25. Observamos que luego de la primera capa de consolidante, el desprendimiento disminuye a 18% y al cabo de la segunda capa, el desprendimiento disminuye a 1%.





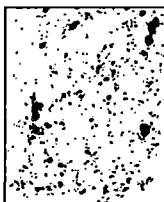
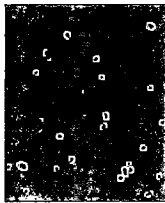
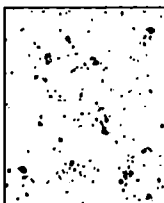
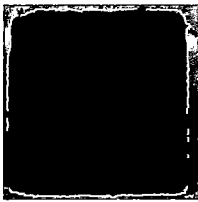

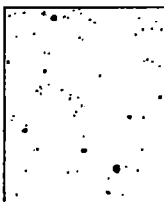
Gráfica 4.25: porcentaje de desprendimiento en el enlucido del facsímil 2P al 6%

❖ **Facsímil 3P**

Se aplicó solución de paraloid B72 ® al 3,6% sobre el enlucido.

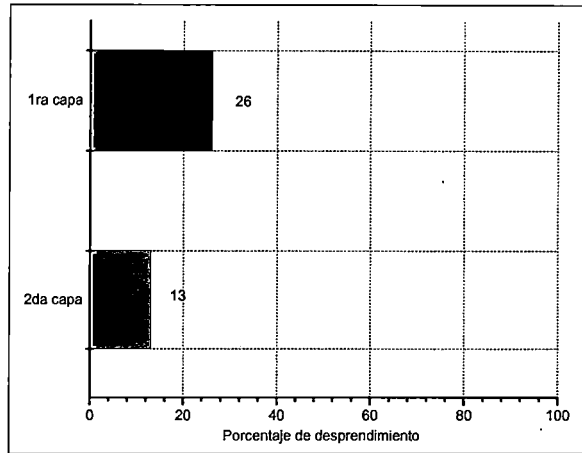
En la tabla 4.32 mostramos fotografías del facsímil 3P, luego de cada aplicación de solución de consolidante sobre el enlucido; así como el resultado del test de desprendimiento. La columna denominada fotografía convertida se obtuvo a partir del procedimiento descrito en el ítem III.4.1.

Tabla 4.32: enlucido del facsímil 3P tratado con paraloid ® al 3,6%

| | Facsímil 3P | Test de desprendimiento | Fotografía convertida |
|------------------|---|---|--|
| Sin consolidante |  |  |  |
| Primera capa | (no se fotografió) |  |  |
| Segunda capa |  |  |  |

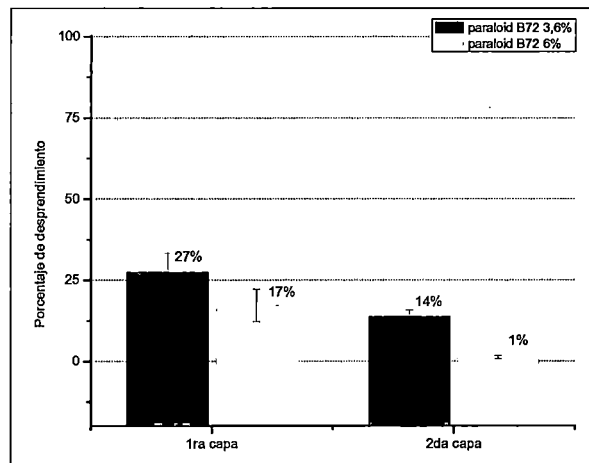
En las fotografías del test de desprendimiento realizadas sobre este enlucido se observa que cada aplicación de consolidante produce un menor desprendimiento, lo que significa que la fijación del consolidante al enlucido aumenta.

El resultado del conteo de desprendimiento, a partir de la conversión de las fotografías, se muestra en la gráfica 4.26. Observamos que luego de la primera capa de consolidante, el desprendimiento disminuye a 26% y al cabo de la segunda capa, el desprendimiento disminuye al 13%.



Gráfica 4.26: porcentaje de desprendimiento en el enlucido del facsímil 3P al 3,6%

En la gráfica 4.27 mostramos la comparación entre los valores promedios obtenidos en los tres facsímiles tratados con solución de paraloid B72® al 6% y los tres facsímiles tratados con solución al 3,6%.



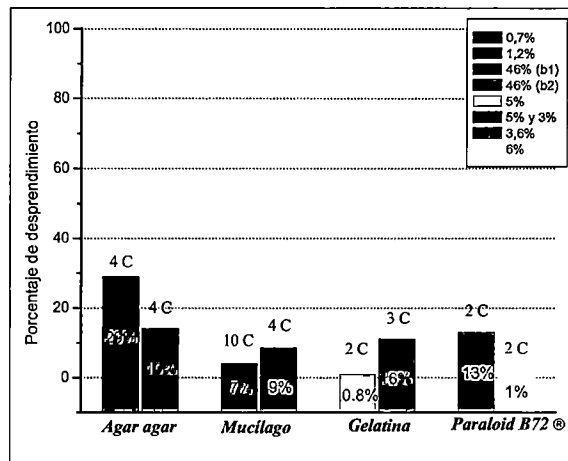
Gráfica 4.27: comparación de los porcentajes de desprendimiento promedio obtenidos para los seis facsímiles tratados con paraloid B72®, a dos concentraciones diferente.

De los resultados mostrados en la gráfica 4.27 podemos decir que luego de la primera capa de aplicación, el porcentaje de desprendimiento entre ambas soluciones es el mismo. Éste es 15% para la solución al 3,6% y 13% para la solución al 6%. Luego de la segunda capa el desprendimiento disminuye a 13% para la solución de concentración 3,6% y a 1% para la solución de concentración al 6%.

De acuerdo a estos resultados, podemos concluir que la solución de paraloid B72® al 6% es más eficiente que la solución al 3,6% para mejorar la fijación en el enlucido.

Por otro lado, se ha observado que la solución al 6% produce obscurecimientos sobre algunas zonas del enlucido. La solución al 3,6% no produce obscurecimientos.

En el gráfico 4.28 mostramos todos los porcentajes de desprendimiento obtenidos al finalizar todo el tratamiento de consolidación. Podemos observar que de todos los consolidantes utilizados, el enlucido con solución de agar agar al 0,7% presenta aún un 29% de desprendimiento al cabo de su última capa de aplicación, esto representa el mayor valor obtenido de desprendimiento.



Gráfica 4.28: porcentajes de desprendimiento promedio obtenidos en los consolidantes utilizados.

Los enlucidos tratados con soluciones de agar agar al 1,2%, de mucílago de tuna al 46% (b2), de gelatina al 5% y 3% y de paraloid B72® al 3,6% presentan un porcentaje de desprendimiento dentro de un intervalo de 10% al 14%. Estos valores aún no son bajos para disminuir el porcentaje de desprendimiento y sería necesario aplicar una capa más de cada consolidante.

Las soluciones de mucílago al 46% (b1), de gelatina al 5% y de paraloid B72® al 6% presentan porcentajes de desprendimiento menores al 5%. Este valor mínimo nos indica que se ha logrado fijar eficientemente el consolidante al enlucido, mejorando la cohesión de las partículas superficiales. Sin embargo, es de notar que para lograr esta

mejora se han aplicado diferentes números de capas de cada consolidante, variando desde dos capas (gelatina al 5% y paraloid B72 3,6%) hasta diez capas (mucílago de tuna 46%(b1)). Esta diferencia en el número de aplicaciones ha producido visualmente una variación en la apariencia del enlucido.

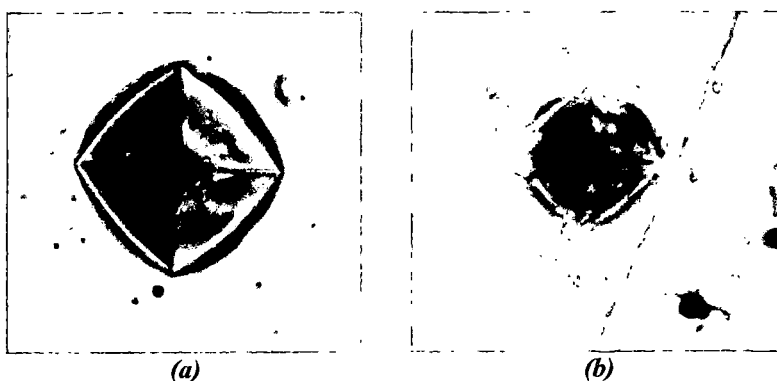
A partir de los resultados obtenidos podemos decir que la solución de gelatina al 5% y la solución de paraloid B72[®] al 5% son los consolidantes con mayor efectividad debido al menor porcentaje de desprendimiento obtenido y al menor número de capas aplicadas.

IV.5 Medición de la dureza.

Los resultados obtenidos se obtuvieron a partir de los procedimientos descritos en el ítem III.5. Los valores de los diámetros medidos se convirtieron a números de dureza Vickers utilizando la tabla Buehler de números Vickers y Knoop.

IV.5.1 Medición de la microdureza Vickers (HV)

Se prepararon ocho láminas portaobjetos que fueron preparadas con consolidantes coloreados. En cada lámina se realizaron entre tres y cinco indentaciones (fotografías 4.26). Así mismo se midió el número dureza Vickers de una lámina portaobjetos sin consolidante. Todas las láminas coloreadas fueron recubiertas con tres capas de consolidante según lo descrito en el ítem III.5.1.2 y en ninguna de ellas se midió el espesor del consolidante depositado.



Fotografía 4.26: indentaciones realizadas con el micrómetro BuehlerTM. (a) lámina recubierta con gelatina al 5%. Fotografía tomada a 100x. (b) lámina recubierta con agar agar al 1,2%. Fotografía tomada a 100x.

Los resultados se presentan a continuación:

a. Solución de gelatina 5%

La lámina con solución de gelatina al 5% se muestra en la fotografía 4.27. El consolidante adherido es muy liso al tacto y presenta brillo.



Fotografía 4.27: lámina con solución de gelatina al 5% tinturada con tinte azul.

Se realizaron cinco indentaciones en la lámina portaobjeto, utilizando como carga de indentación 100 kgf. El promedio de las diagonales medidas en las huellas y el respectivo número de dureza Vickers se muestra en la tabla 4.33.

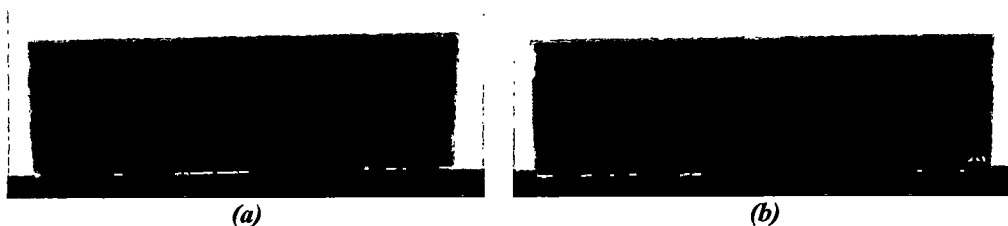
Tabla: 4.33: valor promedio de las diagonales y el respectivo número de microdureza (HV).

| Diagonal promedio (μm) | HV promedio |
|-------------------------------------|---------------|
| $170,7 \pm 5,7$ | $6,0 \pm 0,5$ |

El valor de microdureza Vickers medida para la solución de gelatina al 5% es $(6,0 \pm 0,5)$ HV.

b. Solución de Agar agar al 0,7% y al 1,2%

Las láminas preparadas con solución de agar agar al 0,7% y al 1,2% se muestra en la fotografía 4.28. El consolidante adherido presenta ligera aspereza al tacto y de apariencia mate, no tiene acabado brillante.



Fotografía 4.28: láminas con solución de agar agar tinturada con tinte azul y verde (a) al 0,7%. (b) al 1,2%.

Se realizaron cinco indentaciones en cada lámina portaobjeto, utilizando como carga de indentación 100 kgf para ambos casos. El promedio de las diagonales medidas en las huellas y el respectivo número de microdureza Vickers se muestra en la tabla 4.34.

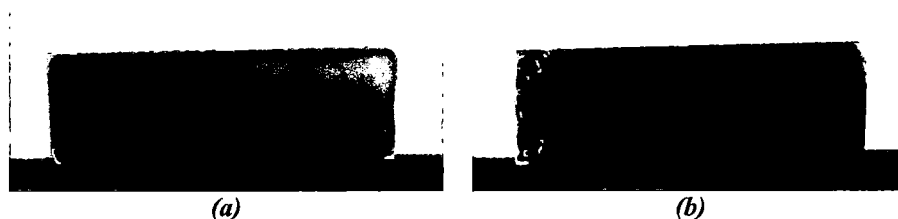
Tabla 4.34: valor promedio de las diagonales y el respectivo número de microdureza (HV).

| Consolidante | Diagonal promedio (μm) | HV promedio |
|----------------|------------------------|-------------|
| Agar agar 0,7% | 67,6 ± 2,5 | 41,0 ± 3,0 |
| Agar agar 1,2% | 88,5 ± 5,0 | 24,0 ± 3,0 |

El valor de microdureza Vickers medida para la solución de agar agar al 0,7% es (41,0 ± 3,0) y para la solución de agar agar al 1,2% es (24,0 ± 3,0) HV.

c. Solución de mucílago de tuna 46% (b1) y 46% (b2)

Las láminas preparadas con solución de mucílago al 46% (b1) y al 46% (b2) se muestran en la fotografías 4.29. El consolidante de mucílago de tuna al 46% (b1) es de baja aspereza al tacto y no presenta brillo; sin embargo, el consolidante al 46% (b2) presenta cierta textura no homogénea, es de mayor aspereza y es de aspecto menos brillante que el anterior.



Fotografía 4.29: láminas con solución de de mucílago de tuna tinturada con tinte azul. (a) al 46% (b1). (b) al 46% (b2).

Se realizaron tres indentaciones en la lámina con solución al 80%, con carga de 300 kgf; mientras que en la lámina con solución al 92,5% se realizaron cinco indentaciones, con carga de 100 kgf. El promedio de las diagonales medidas en las huellas y el respectivo número de microdureza Vickers se muestra en la tabla 4.35.

Tabla: 4.35: valor promedio de los diámetros y número de dureza (HV)

| Consolidante | Diagonal promedio (μm) | HV promedio |
|---------------------------|------------------------|-------------|
| Mucílago de tuna 46% (b1) | 99,2 ± 13,6 | 58,0 ± 15,0 |
| Mucílago de tuna 46% (b2) | 141,8 ± 15,9 | 10,0 ± 2,0 |

El valor de microdureza Vickers medida para la solución de mucílago de tuna al 46% (b1) es $(58,0 \pm 15,0)$ y para la solución de mucílago de tuna al 46% (b2) es $(10,0 \pm 2,0)$.

d. Solución de Paraloid B72[®] al 3,6% y al 6%

Las láminas preparadas con solución de paraloid B72[®] al 3,6% y al 6% se muestran en la fotografías 4.30. En ambas láminas, el consolidante es de baja aspereza al tacto, presentan brillo y es de textura no homogénea debido a la separación entre consolidante y el tinte usado, que es a base de agua y propilen glicol.



Fotografía 4.30: láminas con solución de paraloid B72[®] tinturado en azul y verde. (a) al 3,6%. (b) al 6%.

Se realizaron cinco indentaciones en la lámina con solución al 2%, con carga de 100 kgf; mientras que en la lámina con solución al 5% se realizaron cuatro indentaciones, con carga de 100 kgf. El promedio de los diámetros medidos en las huellas y el respectivo número de microdureza Vickers se muestra en la tabla 4.36.

Tabla: 4.36: valor promedio de las diagonales y el número de microdureza (HV).

| Consolidante | Diagonales promedio (μm) | HV promedio |
|-------------------|---------------------------------------|------------------|
| Paraloid B72 3,6% | $39,0 \pm 3,2$ | $124,0 \pm 21,0$ |
| Paraloid B72 6% | $39,0 \pm 3,2$ | $121,0 \pm 42,0$ |

El valor de la microdureza Vickers medida para la solución de paraloid B72 al 3,6% es $(124,0 \pm 21,0)$ y para la solución al 6% es $(121,0 \pm 42,0)$.

e. Lámina portaobjeto sin consolidante

Medir la microdureza Vickers de una lámina portaobjeto sin consolidante, que denominamos blanco, nos permite tener una referencia de este valor para el sustrato utilizado.

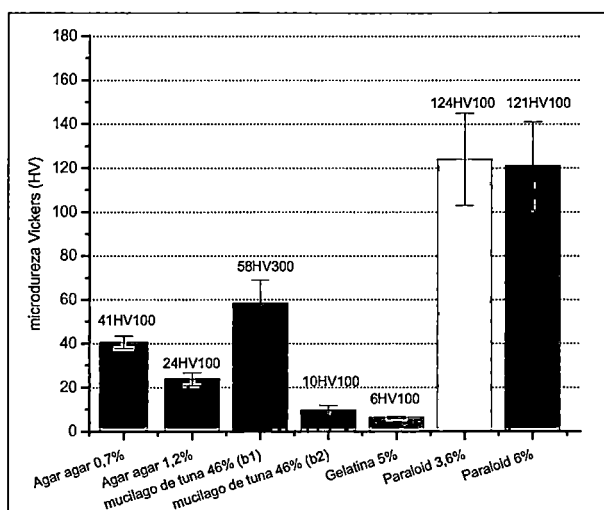
Realizamos cinco indentaciones en la lámina, con carga de 300 kgf. El promedio de las diagonales medidas en las huellas y el respectivo número de microdureza Vickers se muestra en la tabla 4.37.

Tabla: 4.37: valor promedio de las diagonales y el número de microdureza (HV).

| Diámetro promedio (μm) | HV promedio |
|------------------------|---------------|
| 35,3 ± 5,9 | 477,0 ± 155,0 |

El valor de la dureza Vickers medida para la matriz utilizada es (477,0 ± 155,0), el correspondiente valor de microdureza es 477HV300.

En la gráfica 4.29 mostramos la comparación entre todos los valores de microdureza Vickers hallado.



Gráfica 4.29: comparación de dureza Vickers para todos los consolidantes y diferentes concentraciones.

Observamos que la dureza de la matriz es mayor que todos los valores, esto nos indica que los ensayos se realizaron sobre las capas de consolidantes y la indentación no penetró hasta el sustrato.

La solución de agar agar al 0,7% presenta un valor de dureza de 41HV100 y la solución al 1,2% un valor de 24HV100, siendo este valor alrededor de la mitad del

primer valor. Contrariamente a lo que se podría esperar, la solución a menor concentración presenta un valor mayor de dureza.

La solución de mucílago de tuna al 46% (b1) presenta un valor de dureza de 58HV300 y la solución al 46% (b2), un valor de 10HV100, siendo este valor alrededor de la sexta parte del primero. Esto podría deberse a que partículas muy pequeñas del cladodio de tuna lograron atravesar la malla del colador utilizado en el protocolo b2 y como consecuencia las indentaciones pudieron haberse realizado sobre estos remanentes blandos, lo que justificaría un resultado bastante bajo de microdureza.

La solución de gelatina de 5% presenta el menor valor de dureza de todas las soluciones. Este valor es 6HV.

La solución de paraloid B72[®] al 3,6% presenta similar valor de dureza que la solución al 6%. Éste es alrededor de 120HV. Estos valores son significativamente superiores a los obtenidos en los otros consolidantes. Esta característica del paraloid B72 provoca que tenga una baja respuesta a la dilatación y a la retracción.

La solución de mucílago de tuna al 46% (b1) y la solución de agar agar al 0,7% presentan valores intermedios, comprendidos en el intervalo de 40HV y 60HV.

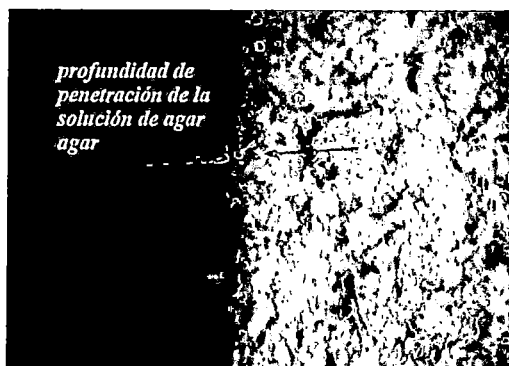
IV.6. Medición de la profundidad de penetración del consolidante

Siguiendo los pasos descritos en el ítem III.6 pudimos determinar los valores de las profundidades de penetración de los consolidantes en los enlucidos.

IV.6.1. Soluciones de origen vegetal

a. Solución de agar agar al 1,2%

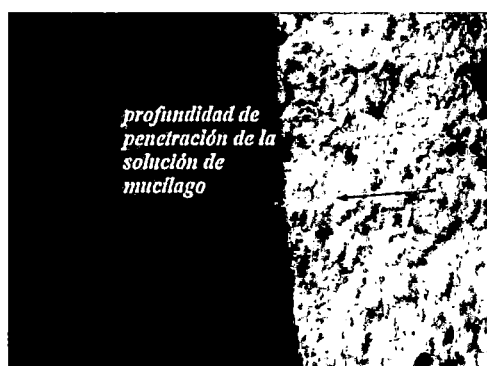
Las profundidades de penetración de la solución de agar agar al 1,2% no son homogéneas, tal como se observa en la fotografía 4.31. Como valor mínimo medimos $(130 \pm 10) \mu\text{m}$ y como máximo $(510 \pm 10) \mu\text{m}$. En promedio, la profundidad de penetración medida es $(300 \pm 80) \mu\text{m}$.



Fotografía 4.31: profundidad de penetración de solución de agar al 1,2% tinturada en verde. Fotografía tomada con 20x de aumento.

b. Solución de mucílago de tuna al 46% (b1)

Las profundidades de penetración de la solución de mucílago de tuna al 46% (b1) no son homogéneas, tal como se observa en la fotografía 4.32. Como valor mínimo medimos $(190 \pm 10) \mu\text{m}$ y como máximo $(540 \pm 10) \mu\text{m}$. En promedio, la profundidad de penetración medida es $(333 \pm 80) \mu\text{m}$.

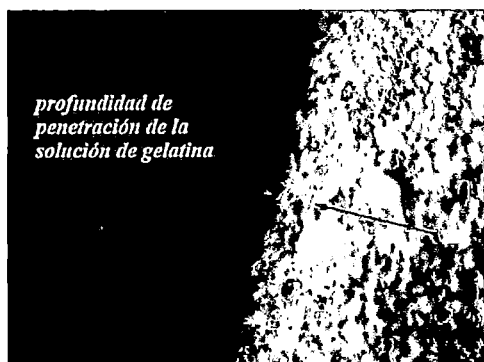


Fotografía 4.32: profundidad de penetración de solución de mucílago de tuna al 46% (b1) tinturada en verde. Fotografía tomada con 20x de aumento.

IV.6.2. Soluciones de origen vegetal

c. Solución de gelatina al 5%

Las profundidades de penetración de solución de gelatina al 5% no son homogéneas, tal como se observa en la fotografía 4.33. Como valor mínimo medimos $(150 \pm 10) \mu\text{m}$ y como máximo $(520 \pm 10) \mu\text{m}$. En promedio, la profundidad de penetración medida es $(340 \pm 90) \mu\text{m}$.

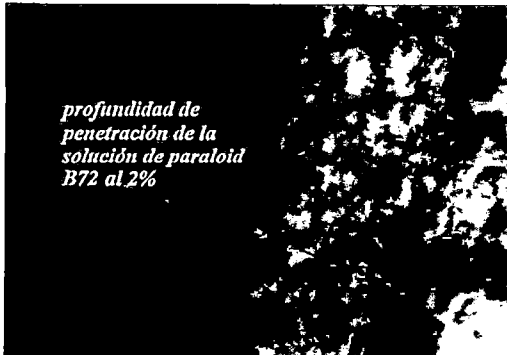


Fotografía 4.33: profundidad de penetración de solución de gelatina al 5% tinturada en verde. Fotografía tomada con 20x de aumento.

IV.6.3. Soluciones tipo polímero sintético

d. Solución de paraloid B72® al 3,6%

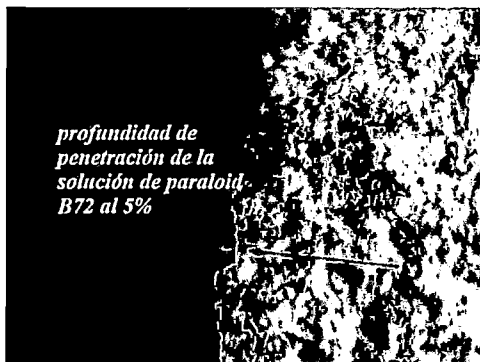
Las profundidades de penetración de la solución de paraloid B72® al 3,6% no son homogéneas, tal como se observa en la fotografía 4.34. Como valor mínimo medimos $(50 \pm 10) \mu\text{m}$ y como máximo $(240 \pm 10) \mu\text{m}$. En promedio, la profundidad de penetración medida es $(100 \pm 30) \mu\text{m}$.



Fotografía 4.34: profundidad de penetración de solución de paraloid B72® al 2% tinturada en verde. Fotografía tomada con 30x de aumento.

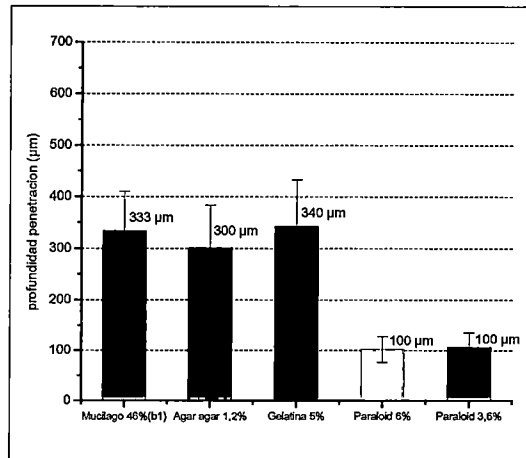
e. Solución de paraloid B72® al 6%

Las profundidades de penetración de la solución de paraloid B72® al 5% no son homogéneas, tal como se observa en la fotografía 4.35. Como valor mínimo medimos $(60 \pm 10) \mu\text{m}$ y como máximo $(190 \pm 10) \mu\text{m}$. En promedio, la profundidad de penetración medida es $(100 \pm 20) \mu\text{m}$.



Fotografía 4.35: profundidad de penetración de solución de paraloid B72® al 5% tinturada en verde. Fotografía tomada con 30x de aumento.

En la gráfica 4.30 mostramos la comparación entre todos los valores de profundidades de penetración medidas. En ella podemos observar que las soluciones de mucílago 46% (b1), de agar agar al 1,2% y de gelatina al 5% presentan valores alrededor de penetración del consolidante de $300 \mu\text{m}$, valor significativamente mayor a lo obtenido para las dos soluciones de paraloid B72®, cuyos valores de penetración de consolidante es alrededor de $100 \mu\text{m}$.



Gráfica 4.30: profundidad de penetración de los todos consolidantes. Los consolidantes de origen vegetal y animal presentan mayor profundidad que el consolidante tipo polímero sintético.

IV.7 Medición de la apariencia en una superficie rugosa

Las mediciones de la reflectancia difusa se realizaron de acuerdo a la configuración mostrada en la figura 3.8 (b) del ítem III.7.2, es decir medimos las reflectancias difusas, con exclusión de la componente especular.

Las reflectancias se midieron en seis regiones diferentes del enlucido consolidado.

IV. 7.1 Medición del cambio en la apariencia en el enlucido consolidado

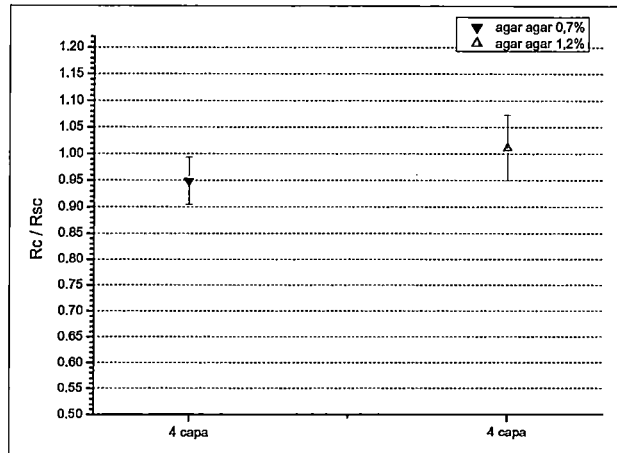
Las mediciones de las reflectancias se realizaron dentro del intervalo de 400 nm a 700 nm. Las gráficas que presentamos a continuación muestran los promedios de la relación entre las reflectancias del enlucido consolidado (R_c) y la reflectancia del enlucido sin consolidante (R_{sc}).

IV.7.1.1 Consolidantes de origen vegetal

a. Soluciones de agar agar al 0,7% y al 1,2%

Realizamos las mediciones de reflectancia sobre los enlucidos de seis facsímiles con cuatro capas de consolidante (gráfica 4.31).

Observamos en la gráfica 4.31 que los enlucidos tratados con solución de agar agar al 1,2% tienen apariencia muy similar al enlucido sin consolidante.



Gráfica 4.31: valores medidos de la reflectancia de los enlucidos tratados con soluciones de agar agar al 1,2% y 0,7%.

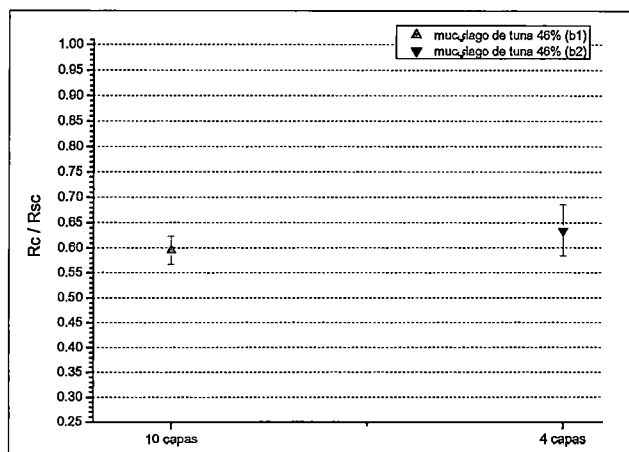
En el caso de los enlucidos tratados con solución de agar agar al 0,7% observamos que la apariencia final es un poco más oscura que el enlucido sin consolidar.

En ambos casos podemos decir que la solución de agar agar altera ligeramente la apariencia del enlucido consolidado.

b. Soluciones de mucílago de tuna al 46% (b1) y al 46% (b2)

Realizamos las mediciones de reflectancia sobre los enlucidos de seis facsímiles a los que se aplicaron diez capas (solución 46%(b1)) y cuatro capas de consolidante (solución 46%(b2)).

En la gráfica 4.32 se observa que los enlucidos consolidados con las dos soluciones de mucílago de tuna cambian la apariencia final, oscureciéndola considerablemente al cabo de la última capa de aplicación. Así mismo observamos que la solución de mucílago de tuna al 46% (b1) tiende a oscurecer más el enlucido que la solución al 46% (b2); sin embargo, consideramos que no es una gran diferencia a pesar de la diferencia en el número capas aplicadas.



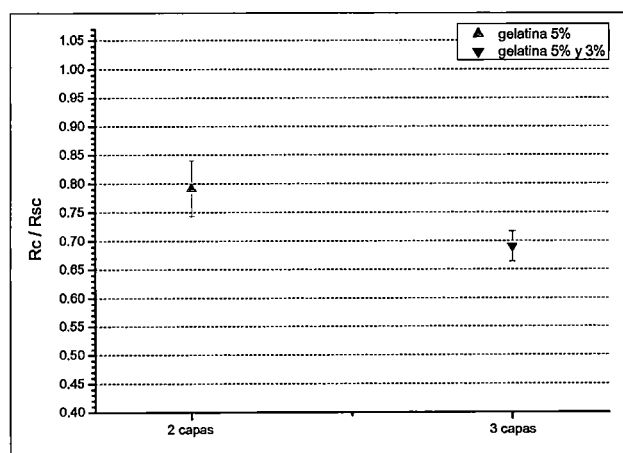
Gráfica 4.32: valores medidos de la reflectancia de los enlucidos tratados con soluciones de mucilago de tuna al 46%(b1) y al 46%(b2).

IV.7.1.2 Consolidantes de origen animal

c. Soluciones de gelatina al 5% y al 3%

Realizamos las mediciones de reflectancia sobre los enlucidos de seis facsímiles consolidados con dos capas de solución al 5% y dos facsímiles consolidados con tres capas de solución (la primera capa con solución al 5% y las dos últimas capas con solución al 3%).

En la gráfica 4.33 observamos que los tratamientos de consolidación realizados con las soluciones de gelatina producen un cambio en la apariencia final de los enlucidos, obscureciendo al cabo de la última capa de aplicación.



Gráfica 4.33: valores medidos de la reflectancia de los enlucidos tratados con soluciones de gelatina al 5% y al 3%.

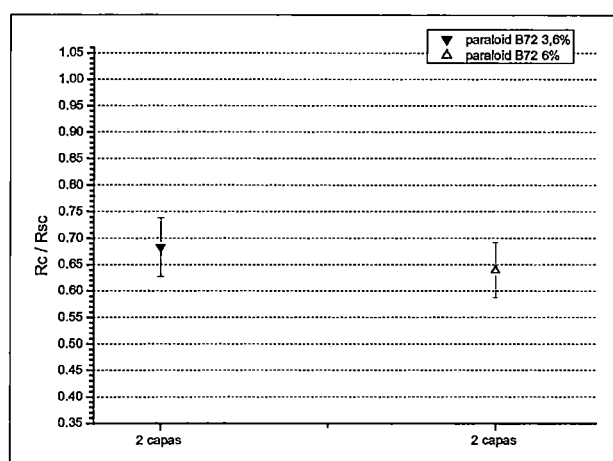
Así mismo observamos que aplicar dos capas de gelatina al 5% que tres capas, con soluciones de gelatina al 5% y 3% producen un menor oscurecimiento en el enlucido.

IV.7.1.3 Consolidantes de tipo polímero sintético

d. Soluciones de paraloid B72® al 3,6% y al 6%

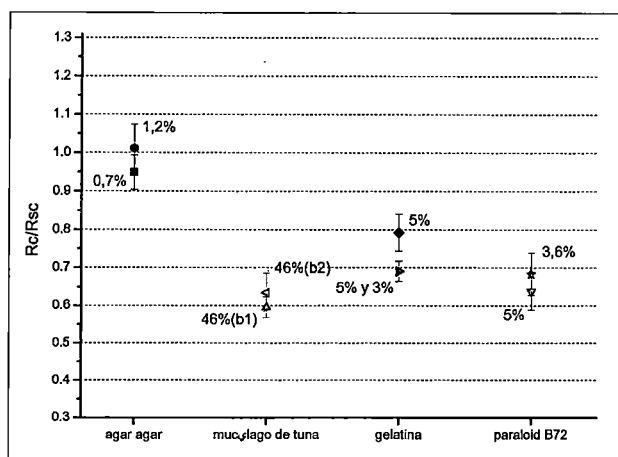
Realizamos las mediciones de reflectancia sobre los enlucidos de seis facsímiles a los que se les aplicó dos capas de consolidante.

En la gráfica 4.34 observamos que los enlucidos consolidados con las dos soluciones de paraloid B72 cambian la apariencia final, oscureciéndola considerablemente al cabo de la última capa de aplicación. Así mismo se observa que la solución al 6% produce un mayor oscurecimiento que la solución al 3,6%.



Gráfica 4.34: valores medidos de la reflectancia de los enlucidos tratados con soluciones de paraloid B72® al 3% y 3,6%

En la gráfica 4.35 observamos que los enlucidos tratados con las soluciones de agar agar no produjeron un cambio significativo en la apariencia del enlucido (valores R_c/R_{sc} más cercanos a 1), mientras que los enlucidos tratados con las soluciones de mucílago de tuna y paraloid B72 sí produjeron un cambio significativo en la apariencia, con tendencia a oscurecer el enlucido. En el caso de las soluciones de gelatina, también presentan tendencia a oscurecer el enlucido, pero en menor proporción que las soluciones anteriores.

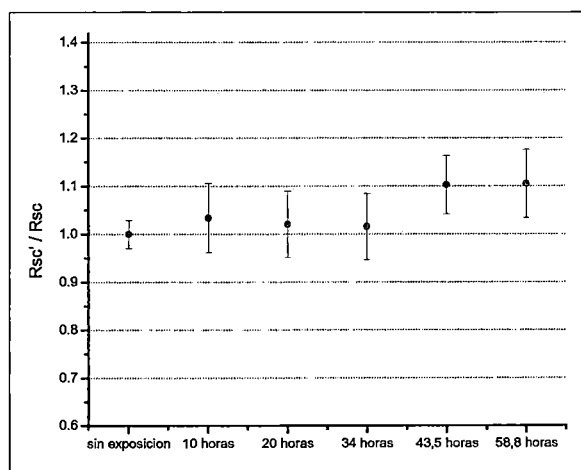


Gráfica 4.35: valores medidos de la reflectancia de los enlucidos tratados con soluciones de paraloid B72® al 3% y 3,6%.

IV.7.2. Medición de los cambios en la apariencia debido a la luz solar

Las exposiciones a la luz solar se realizaron a lo largo del mes de febrero del año 2013, entre las 09:30 y 16:00 horas; en total se contabilizaron 58,8 horas de exposición. Durante este periodo, la estación meteorológica de la UNI, registró 524 W/m² como valor máximo de irradiancia y 380 W/m² como valor mínimo. El valor promedio de la irradiancia fue 474 W/m².

En la gráfica 4.36 se muestra la variación respecto al tiempo de la comparación entre la reflectancia del enlucido sin consolidante expuesto a la luz solar (R_{sc}') y la reflectancia del enlucido sin consolidante que no ha sido expuesto a la luz solar (R_{sc}).



Gráfica 4.36: cambios en la apariencia de los enlucidos sin consolidante al cabo de 58,8 horas acumuladas de exposición a la luz solar.

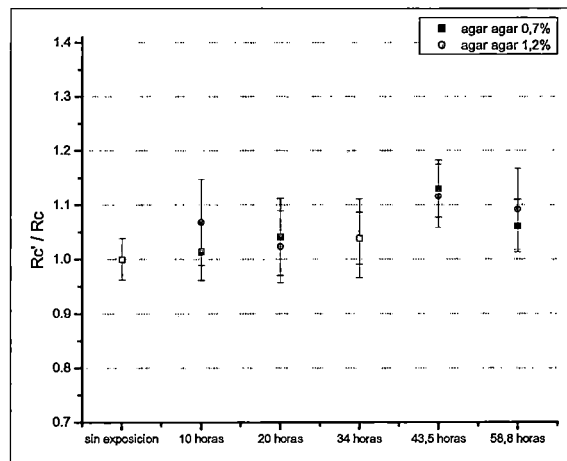
Observamos que durante las primeras 24 horas de exposición solar no se registra variación significativa. A partir de las 43,5 horas de exposición se observa la tendencia de variación en la apariencia final, siendo ésta un blanqueamiento.

IV.7.2.1 Consolidantes de origen vegetal

a. Soluciones de agar agar al 0,7% y al 1,2%

En la gráfica 4.37 se muestra la variación respecto al tiempo de la comparación entre la reflectancia del enlucido consolidado expuesto a la luz solar (R_c') y la reflectancia del enlucido consolidado que no ha sido expuesto a la luz solar (R_c).

Observamos que la solución al 0,7% no presenta variación significativa en la apariencia dentro de las diez primeras horas de exposición solar; a partir de este tiempo ya comienza a notarse la tendencia a producirse blanqueamiento en del enlucido.



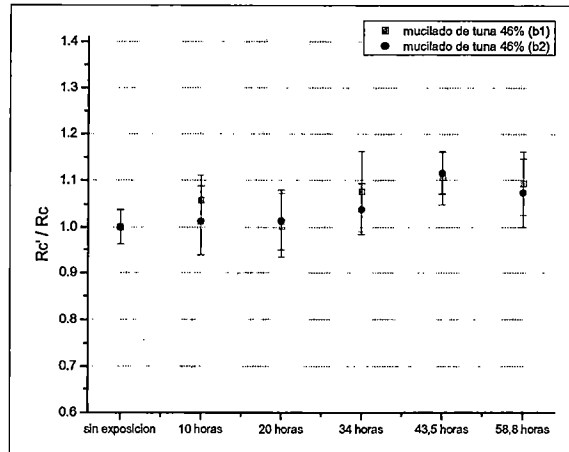
Gráfica 4.37: cambios en la apariencia de los enlucidos tratados con soluciones de agar agar al 0,7% y 1,2%, al cabo de 58,8 horas acumuladas de exposición a la luz solar.

La solución de agar agar al 1,2% muestra la tendencia a variar la apariencia dentro de las primeras horas de exposición solar. De igual manera se nota la tendencia a producirse blanqueamiento del enlucido.

b. Soluciones de mucílago de tuna al 46%(b1) y al 46%(b2)

En la gráfica 4.38 se muestra la variación respecto al tiempo de la comparación entre la reflectancia del enlucido consolidado expuesto a la luz solar (R_c') y la reflectancia del enlucido consolidado que no ha sido expuesto a la luz solar (R_c).

Observamos que los enlucidos tratados con ambas soluciones presentan idéntica tendencia de variación de la apariencia. Dentro de las primeras veinte horas de exposición, los enlucidos no presentan una tendencia significativa de cambio en la apariencia. A partir de este tiempo ya comienza a observarse la tendencia al blanqueamiento del enlucido consolidado.

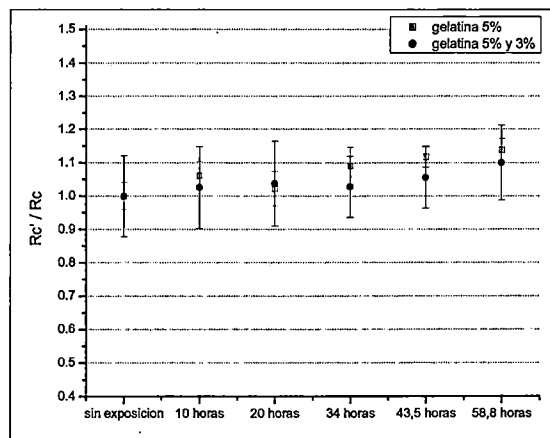


Gráfica 4.38: cambios en la apariencia de los enlucidos tratados con soluciones de mucílago de tuna al 46%(b1) y 46%(b2), al cabo de 58,8 horas acumuladas de exposición a la luz solar.

IV.7.2.2 Consolidantes de origen animal

c. Soluciones de gelatina al 3% y al 5%

En la gráfica 4.39 se muestra la variación respecto al tiempo de la comparación entre la reflectancia del enlucido consolidado expuesto a la luz solar (Rc') y la reflectancia del enlucido consolidado que no ha sido expuesto a la luz solar (Rc).



Gráfica 4.39: cambios en la apariencia de los enlucidos tratados con soluciones de gelatina al 5% y al 3%, al cabo de 58,8 horas acumuladas de exposición a la luz solar.

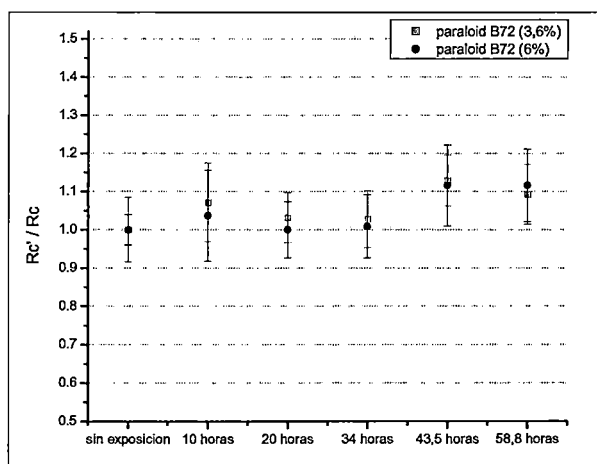
La solución de gelatina al 5% produce un cambio significativo en la apariencia a partir de las primeras horas de exposición solar. Así mismo se observa que al cabo de las 58,8 horas de exposición, el enlucido consolidado ha variado considerablemente la apariencia, siendo ésta un blanqueamiento.

El tratamiento realizado con la aplicación de las soluciones al 5% y al 3% no registra un cambio significativo dentro de las primeras treinta y cuatro horas de exposición solar. A partir de este tiempo ya se observa la tendencia a producir blanqueamiento sobre el enlucido.

IV.7.2.3 Consolidantes de tipo polímero sintético

d. Soluciones de paraloid B72® al 3,6% y al 6%

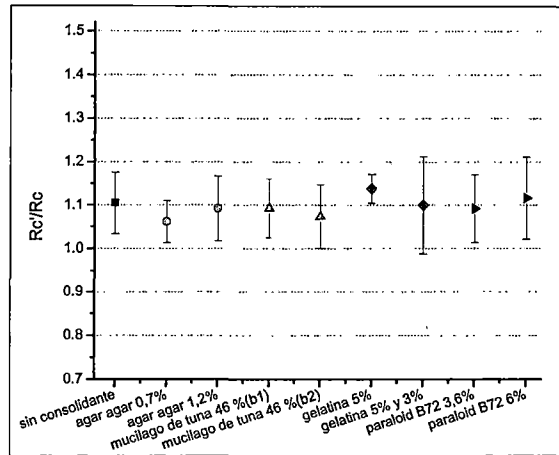
En la gráfica 4.40 se muestra la variación respecto al tiempo de la comparación entre la reflectancia del enlucido consolidado expuesto a la luz solar (R_c') y la reflectancia del enlucido consolidado que no ha sido expuesto a la luz solar (R_c).



Gráfica 4.40: cambios en la apariencia de los enlucidos tratados con soluciones de Paraloid B72 al 3,6% y al 6%, al cabo de 58,8 horas acumuladas de exposición a la luz solar.

Observamos que los enlucidos tratados con ambas soluciones presentan idéntica tendencia de variación de la apariencia. Dentro de las primeras treinta y cuatro horas de exposición, los enlucidos no presentan una tendencia significativa de cambio en la apariencia. A partir de este tiempo ya comienza a observarse la tendencia al blanqueamiento del enlucido consolidado.

En la gráfica 4.41 observamos la comparación entre la reflectancia de los enlucidos consolidados expuesto a la luz solar (R_c') y la reflectancia de los enlucidos consolidados que no ha sido expuesto a la luz solar (R_c) al cabo de las 58,8 horas de exposición a la luz solar.



Gráfica 4.41: cambios en la apariencia de los enlucidos tratados con todas las soluciones al cabo de 58,8 horas acumuladas de exposición a la luz solar.

Notamos que al cabo de todo el tiempo de exposición a la luz solar; en el enlucidos sin consolidar y expuesto a la luz solar se observó un blanqueamiento respecto al enlucido sin consolidar sin exposición. Así mismo se observó este efecto de blanqueamiento en todos los enlucidos consolidados. Sin embargo los enlucidos consolidados con soluciones de agar agar al 0,7% y mucilago de tuna 46% (b2) quienes presentaron este efecto en menor proporción y los enlucidos consolidados con las soluciones de gelatina 5% y paraloid B72® al 6% presentaron este efecto en mayor proporción. El resto de los enlucidos variaron la apariencia en igual proporción que los enlucidos sin consolidar.

IV.8. Medición de la tasa de abrasión

Las mediciones realizadas sobre la tasa de abrasión debido a un flujo de aire comprimido se llevaron de acuerdo a lo descrito en el ítem III.8.2.

La distancia entre el facsímil y el extremo del tubo dentro del sistema de recuperación de material es 3,0 mm. Este parámetro se mantuvo constante para todas las pruebas.

El tiempo de inyección de aire comprimido ha sido una hora para todos los facsímiles.

IV.8.1. Enlucido sin consolidante

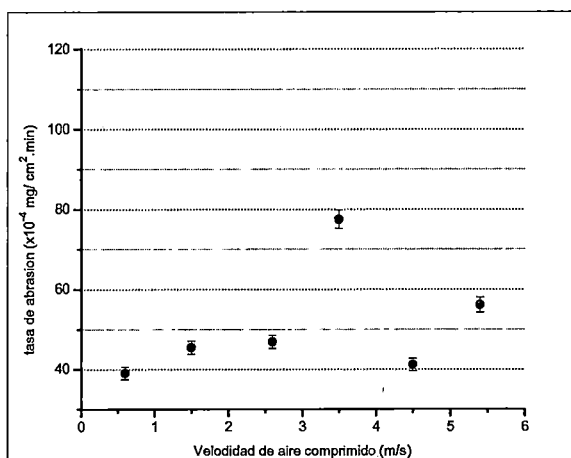
Expusimos a abrasión por aire comprimido un enlucido sin consolidar. Los valores de tasa de abrasión que obtengamos serán comparados con los enlucidos que sí están consolidados. Las dimensiones del enlucido sin consolidar son $(4,92 \pm 0,05)$ cm y $(4,76 \pm 0,05)$ cm.

Las velocidades de aire comprimido que se emplearon, la masa desprendida y la tasa de abrasión, calculada de acuerdo a la ecuación 3.20 se muestran en la tabla 4.38.

Tabla 4.38: datos sobre velocidad de aire comprimido, masa desprendida y tasa de abrasión sobre el enlucido sin consolidar.

| Velocidad de aire comprimido (m/s) | Masa desprendida (mg mg) | Tasa de abrasión $\times 10^{-4}$ (mg/ cm ² .min) |
|------------------------------------|--------------------------|--|
| $0,6 \pm 0,1$ | $5,5 \pm 0,1$ | $39,0 \pm 1,5$ |
| $1,5 \pm 0,1$ | $6,4 \pm 0,1$ | $45,6 \pm 1,7$ |
| $2,6 \pm 0,2$ | $6,6 \pm 0,1$ | $47,0 \pm 1,7$ |
| $3,5 \pm 0,2$ | $10,9 \pm 0,1$ | $77,6 \pm 2,3$ |
| $4,5 \pm 0,2$ | $5,8 \pm 0,1$ | $41,3 \pm 1,6$ |
| $5,4 \pm 0,2$ | $7,9 \pm 0,1$ | $56,2 \pm 2,0$ |

En la gráfica 4.42 mostramos la variación de la tasa de abrasión con respecto a la velocidad de aire comprimido. El menor desprendimiento ocurrió para la menor velocidad de aire comprimido, 0,6 m/s y el mayor desprendimiento ocurrió para una velocidad de 3,5 m/s.



Gráfica 4.42: tasa de abrasión por aire comprimido sobre el enlucido sin consolidar.

Atribuimos este valor al desprendimiento de una piedra o algún componente de mayor masa que los granos de enlucido del facsímil. Si obviamos este valor máximo de tasa de abrasión, se observa que a la máxima velocidad, 5,4 m/s, se produce una mayor abrasión, como es de esperar.

IV.8.2 Consolidantes de origen vegetal

a. Solución de agar agar

Se expuso a abrasión por aire comprimido un enlucido consolidado con solución de agar agar al 1,2%. Las dimensiones del enlucidos son $(5,1 \pm 0,1)$ cm y $(5,4 \pm 0,1)$ cm.

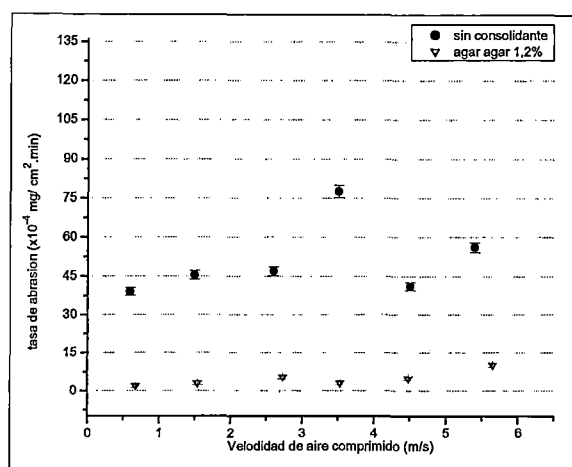
Las velocidades de aire comprimido que se emplearon, la masa desprendida y la tasa de abrasión, calculada de acuerdo a la ecuación 3.20 se muestran en la tabla 4.39.

Tabla 4.39: datos sobre velocidad de aire comprimido, masa desprendida Y tasa de abrasión sobre el enlucido consolidado.

| Velocidad de aire comprimido (m/s) | Masa desprendida (mg \pm 0,1 mg) | Tasa de abrasión $\times 10^{-4}$ (mg/ cm².min) |
|---|--|--|
| 0,7 \pm 0,1 | 0,3 | 1,8 \pm 0,6 |
| 1,5 \pm 0,2 | 0,5 | 3,0 \pm 0,7 |
| 2,6 \pm 0,2 | 0,9 | 5,4 \pm 0,7 |
| 3,5 \pm 0,2 | 0,5 | 3,0 \pm 0,7 |
| 4,5 \pm 0,3 | 0,8 | 4,8 \pm 0,7 |
| 5,7 \pm 0,4 | 1,7 | 10,2 \pm 0,8 |

En la gráfica 4.43 mostramos la variación de la tasa de abrasión con respecto a la velocidad de aire comprimido para el enlucido consolidado con solución de agar agar al 1,2%.

El menor desprendimiento ($1,8 \times 10^{-4}$ mg/ cm².min) ocurrió para la menor velocidad de aire comprimido, 0,7 m/s y el mayor desprendimiento ($10,2 \times 10^{-4}$ mg/ cm².min) ocurrió para la mayor velocidad de aire 5,7 m/s. Así mismo, observamos que la tasa de abrasión no presenta mucha variación entre los intervalos de velocidad de aire 0,7 m/s y 4,5 m/s.



Gráfica 4.43: tasa de abrasión por aire comprimido sobre el enlucido consolidado con solución de agar agar al 1,2% comparado con la correspondiente tasa de abrasión para el enlucido sin consolidar.

En comparación con el enlucido sin consolidante, el enlucido consolidado con la solución de agar agar presenta una mínima tasa de abrasión, en promedio, podemos decir que éste representa alrededor de la décima parte del promedio de la tasa de abrasión del enlucido sin consolidar.

b. Solución de mucílago de tuna

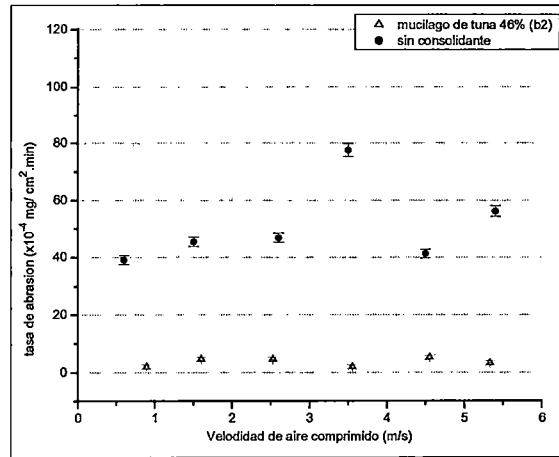
Se expuso a abrasión por aire comprimido un enlucido consolidado con solución de mucílago de tuna al 46% (b2). Las dimensiones del enlucidos son (5,0 ± 0,1) cm y (5,1 ± 0,1) cm.

Las velocidades de aire comprimido que se emplearon, la masa desprendida y la tasa de abrasión, calculada de acuerdo a la ecuación 3.20 se muestran en la tabla 4.40.

Tabla 4.40: datos sobre velocidad de aire comprimido, masa desprendida y tasa de abrasión sobre el enlucido consolidado.

| Velocidad de aire comprimido (m/s) | Masa desprendida (mg ± 0,1 mg) | Tasa de abrasión x10 ⁻⁴ (mg/cm ² .min) |
|------------------------------------|--------------------------------|--|
| 0,9 ± 0,1 | 0,3 | 1,9 ± 0,7 |
| 1,6 ± 0,2 | 0,7 | 4,5 ± 0,7 |
| 2,5 ± 0,1 | 0,7 | 4,5 ± 0,7 |
| 3,6 ± 0,1 | 0,3 | 1,9 ± 0,7 |
| 4,6 ± 0,2 | 0,8 | 5,2 ± 0,8 |
| 5,3 ± 0,3 | 0,5 | 3,2 ± 0,7 |

En la gráfica 4.44 mostramos la variación de la tasa de abrasión con respecto a la velocidad de aire comprimido para el enlucido consolidado con solución de mucílago. El menor desprendimiento ($1,9 \times 10^{-4} \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{min}$) ocurrió para dos velocidades de aire comprimido diferentes: 0,9 m/s y 3,6 m/s. El mayor desprendimiento ($5,2 \times 10^{-4} \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{min}$) ocurrió a velocidad de aire 4,6 m/s. Así mismo, observamos que la tasa de abrasión no presenta mucha variación entre los intervalos de velocidad de aire trabajados.



Gráfica 4.44: tasa de abrasión por aire comprimido sobre el enlucido consolidado con solución de mucílago al 46%(b2) comparado con la tasa de abrasión para el enlucido sin consolidar.

En comparación con el enlucido sin consolidante, el enlucido consolidado con la solución de mucílago de tuna presenta una mínima tasa de abrasión, en promedio, podemos decir que éste representa alrededor de la décima parte del promedio de la tasa de abrasión del enlucido sin consolidar.

IV.8.3 Consolidante de origen animal

c. Solución de gelatina

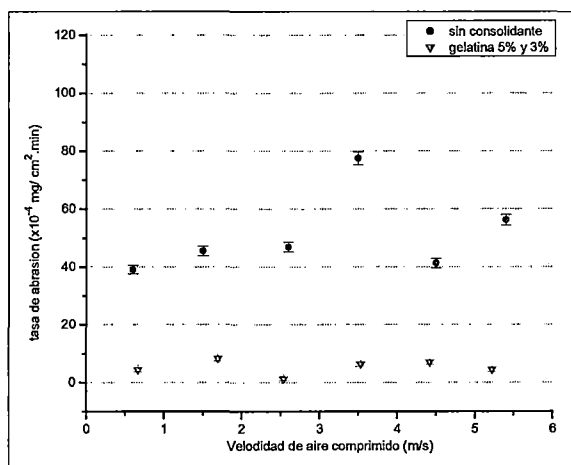
Se expuso a abrasión por aire comprimido un enlucido consolidado con dos soluciones de gelatina al 5% (1 capa) y 3% (dos capas). Las dimensiones del enlucidos son ($5,18 \pm 0,05$) cm y ($5,07 \pm 0,05$) cm.

Las velocidades de aire comprimido que se emplearon, la masa desprendida y la tasa de abrasión, calculada de acuerdo a la ecuación 3.20 se muestran en la tabla 4.41.

Tabla 4.41: datos sobre velocidad de aire comprimido, masa desprendida y tasa de abrasión sobre el enlucido consolidado.

| Velocidad de aire comprimido (m/s) | Masa desprendida (mg \pm 0,1 mg) | Tasa de abrasión $\times 10^{-4}$ (mg/ cm ² .min) |
|------------------------------------|------------------------------------|--|
| 0,7 \pm 0,1 | 0,7 | 4,4 \pm 0,7 |
| 1,7 \pm 0,2 | 1,3 | 8,2 \pm 0,8 |
| 2,5 \pm 0,2 | 0,2 | 1,3 \pm 0,7 |
| 3,5 \pm 0,2 | 1,0 | 6,3 \pm 0,8 |
| 4,4 \pm 0,3 | 1,1 | 7,0 \pm 0,8 |
| 5,2 \pm 0,5 | 0,7 | 4,4 \pm 0,7 |

En la gráfica 4.45 mostramos la variación de la tasa de abrasión con respecto a la velocidad de aire comprimido para el enlucido consolidado con soluciones de gelatina. El menor desprendimiento ($1,3 \times 10^{-4}$ mg/ cm².min) ocurrió a la velocidad de 2,5 m/s. El mayor desprendimiento ($7,0 \times 10^{-4}$ mg/ cm².min) ocurrió a velocidad de aire 4,4 m/s. Así mismo, observamos que la tasa de abrasión presenta poca variación entre los intervalos de velocidad de aire trabajados.



Gráfica 4.45: tasa de abrasión por aire comprimido sobre el enlucido consolidado con soluciones de gelatina al 5% y 3% comparado con la tasa de abrasión para el enlucido sin consolidar

En comparación con el enlucido sin consolidante, el enlucido consolidado con la solución de mucílago de tuna presenta una mínima tasa de abrasión, en promedio, podemos decir que éste representa alrededor de la décima parte del promedio de la tasa de abrasión del enlucido sin consolidar.

IV.8.4 Consolidante tipo polímero sintético

d. Solución de Paraloid B72®

Se expuso a abrasión por aire comprimido un enlucido consolidado con solución de Paraloid B72® al 3,6%. Las dimensiones del enlucidos son $(4,97 \pm 0,05)$ cm y $(5,14 \pm 0,05)$ cm.

Las velocidades de aire comprimido que se emplearon, la masa desprendida y la tasa de abrasión, calculada de acuerdo a la ecuación 3.20 se muestran en la tabla 4.42.

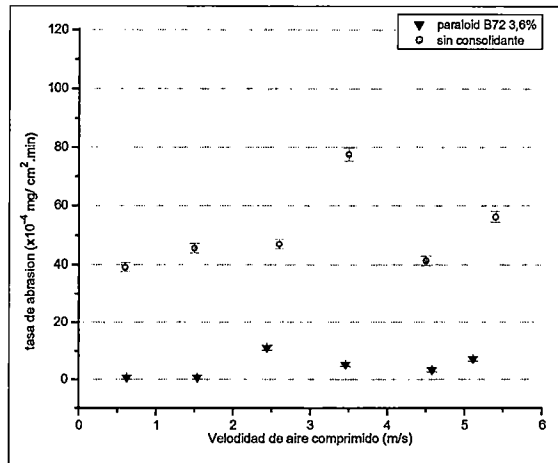
Tabla 4.42: datos sobre velocidad de aire comprimido, masa desprendida y tasa de abrasión sobre el enlucido consolidado.

| Velocidad de aire comprimido (m/s) | Masa desprendida (mg \pm 0,1 mg) | Tasa de abrasión $\times 10^{-4}$ (mg/ cm ² .min) |
|---------------------------------------|---------------------------------------|--|
| 0,6 \pm 0,1 | < 0,1 | < 0,7 |
| 1,5 \pm 0,2 | < 0,1 | < 0,7 |
| 2,4 \pm 0,2 | 1,7 | 11,1 \pm 0,9 |
| 3,5 \pm 0,2 | 0,8 | 5,2 \pm 0,8 |
| 4,6 \pm 0,2 | 0,5 | 3,3 \pm 0,7 |
| 5,1 \pm 0,4 | 1,1 | 7,2 \pm 0,8 |

Dado que las masas desprendidas para las velocidades de aire comprimido de 0,6 m/s y 1,5 m/s son menores a 0,1 mg, hemos tomado como valor de referencia este límite para establecer los correspondientes valores de tasa de abrasión.

En la gráfica 4.46 mostramos la variación de la tasa de abrasión con respecto a la velocidad de aire comprimido para el enlucido consolidado con solución de paraloid B72®. Los menores desprendimientos ($< 0,67 \times 10^{-4}$ mg/ cm².min) ocurrieron a las velocidades de 0,6 m/s y 1,5 m/s. El mayor desprendimiento ($11,11 \times 10^{-4}$ mg/ cm².min) ocurrió a velocidad de aire 2,4 m/s. Así mismo, observamos que la tasa de abrasión presenta variación entre los intervalos de velocidad de aire trabajados.

En comparación con el enlucido sin consolidante, el enlucido consolidado con la solución de Paraloid B72® presenta una mínima tasa de abrasión, en promedio, podemos decir que éste representa alrededor de la décima parte del promedio de la tasa de abrasión del enlucido sin consolidar.



Gráfica 4.46: tasa de abrasión por aire comprimido sobre el enlucido consolidado con solución de Paraloid B72® al 3,6% comparado con la tasa de abrasión para el enlucido sin consolidar.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

La primera parte de las pruebas realizadas consistieron en la determinación de las características texturales de todas las muestras. Esta prueba se llevó a cabo empleando el sistema de clasificación ASTM de las fracciones grava, arena, limo y arcilla. Así mismo hemos realizado diferentes pruebas para determinar los porcentajes de límite de plasticidad, componentes orgánicas, porosidad, sales solubles en agua y carbonatos presentes en las muestras.

Los resultados obtenidos en la determinación de las fracciones texturales revelan que existen diferencias notables entre las muestras de cada Templo. Las diferencias son más evidentes en la fracción grava (4,7 mm a 76 mm). Las muestras del Templo del Sol están formadas en muy poca cantidad por restos vegetales, conchas, huesecillos, la mayor parte del contenido son piedras de diferentes tamaños.

Por otro lado, en las muestras del Templo Pintado se observan dos subgrupos, el primero formado por los adobes, quienes contienen en mayor cantidad, restos vegetales, conchas, huesos de peces pequeños, pequeños carbonos; el segundo subgrupo formado por las muestras 4 y 5, éstas contienen casi en su totalidad piedras y en muy poca cantidad carbonos y conchas, sin observarse huesos de peces pequeños.

En la fracción arena (0,075 mm a 4,7 mm), las muestras del Templo del Sol presentan valores que varían desde 61% hasta 63%. En las muestras del Templo Pintado se obtuvieron dos subgrupos, el primero formado por los adobes, cuyos valores varían desde 62% hasta 71% y en el segundo subgrupo, formado por las muestras 4 y 5, se obtuvieron valores que son aproximadamente similares, alrededor del 73%. Así mismo se observó que en esta fracción, las muestras del Templo del Sol presentan porcentajes menores a las muestras del Templo Pintado.

En la fracción limo (0,075 mm a 0,005 mm), las muestras del Templo del Sol presentaron valores que no difieren significativamente entre ellos, éstos están comprendidos en el intervalo 20% y 23%. En las muestras del Templo Pintado los valores

obtenidos para cada muestra difieren significativamente entre ellos, éstos varían entre 14% y 24%.

En la fracción arcilla ($< 0,005$ mm), las muestras de ambos templos presentan valores menores al 20%. Por un lado, en las muestras del Templo del Sol se obtuvieron valores que varían alrededor del 13% para la muestra 9 y valores aproximadamente similares a 16% para las muestras 8 y 10. En las muestras del Templo Pintado, los valores encontrados no varían significativamente, estos oscilan entre el 8% y el 11%. Así mismo se observó que en esta fracción, las muestras del Templo del Sol presentan porcentajes mayores a las muestras del Templo Pintado.

De acuerdo a los porcentajes determinados de cada fracción podemos clasificar la textura de todas las muestras como franco arenoso, cuya característica es tener mayor cantidad de fracción arena y menor cantidad de fracción arcilla.

El límite de plasticidad (LP) se entiende como la mínima cantidad de agua necesaria para que un suelo devenga plástico. Las muestras 8 y 10, morteros asociados a rellenos de piedras del Templo del Sol presentan valores aproximadamente similares, comprendidos en el intervalo de 15% - 16%, sin embargo, estos son menores, en 3% a la muestra 9, mortero asociado a adobes.

En las muestras del Templo Pintado se sigue observando dos subgrupos, el primero, formado por los adobes, muestras 1, 2 y 3, cuyos valores de LP son aproximadamente similares comprendidos en el intervalo 19% - 20%. Los valores de LP del segundo subgrupo, muestras 4 y 5, mortero y enlucido respectivamente, de igual manera son aproximadamente similares, comprendidos en el intervalo 16% - 17%. Los valores de LP de los adobes del Templo Pintado son comparables a la muestra 9 del Templo del Sol y los valores de las muestras 4 y 5 del Templo Pintado son comparables a las muestras 8 y 10 del Templo del Sol. Todos los resultados obtenidos están justificados con los porcentajes encontrados en las respectivas fracciones de arcilla.

El contenido de componentes orgánicas comprende material vegetal, materiales carbonáceos, restos de conchas de moluscos, etc. Esto está relacionado directamente con la porosidad de los materiales de construcción, sean adobes, morteros o enlucidos. En la

determinación de dichos porcentajes empleamos dos protocolos. En las muestras del Templo del Sol empleamos el protocolo de disolución por peróxido de hidrógeno. Los resultados obtenidos para las muestras 8 y 10 son aproximadamente similares, comprendidos en el intervalo 3% - 4%, mientras que en la muestra 9 obtuvimos 1,7%, porcentaje considerablemente menor respecto a las dos anteriores. La aplicación de este protocolo presentó la dificultad de pérdida de material durante el proceso de filtración.

En las muestras del Templo Pintado aplicamos el segundo protocolo basado en la norma AASHTO T267-86. En los resultados obtenidos nuevamente se sigue observando dos subgrupos, el primero, formado por los adobes, muestras 1, 2 y 3, cuyos porcentajes de componentes orgánicas están comprendidos en el intervalo 1,6% y 3,0%. Los porcentajes obtenidos en el segundo subgrupo, muestras 4 y 5, mortero y enlucido respectivamente, están comprendidos en el intervalo 0,7% y 0,9%. Los resultados obtenidos tras la aplicación de este protocolo guardan relación con los respectivos porcentajes obtenidos de la fracción grava.

La determinación de la porosidad se realizó mediante la comparación entre la densidad aparente y la densidad real. El valor determinado comprende la suma de la porosidad textural y porosidad estructural. Los porcentajes obtenidos en las muestras 8 y 9 del Templo del Sol son altos, 32% y 22%, respectivamente; el porcentaje obtenido para la muestra 10 fue 18%. Los porcentajes obtenidos en las muestras del Templo Pintado fueron 18,5% para la muestra 1, 13% para la muestra 2, 15% para la muestra 3, 18% para la muestra 4 y 17% para la muestra 5. Estos valores son significativamente menores que los encontrados en las muestras 8 y 9 del Templo del Sol. Los porcentajes de las fracciones grava, arena, limo y arcilla, y los porcentajes de componentes orgánicas justificarían estos resultados siendo parte de la denominada porosidad textural. Así mismo es importante notar la diferencia entre las muestras, es decir, las muestras provenientes del Templo del Sol son morteros asociados a rellenos y entendemos esto como una mezcla que no ha tenido un proceso de compactación en su preparación, a diferencia de los adobes y del enlucido provenientes del Templo Pintado, esta diferencia en la manufactura es parte de la porosidad estructural.

La determinación de las sales solubles es un procedimiento importante para conocer las características de los materiales de construcción y como hemos mencionado, es una de las

principales causas en la degradación. Las fluctuaciones en el clima favorecen la movilidad de las sales en los poros, así mismo ocurre una incorporación de sales debidas a la brisa marina o al suelo donde se ha realizado la construcción. El procedimiento utilizado consistió en dilución de sales solubles en agua destilada a 90°C. Los resultados obtenidos en las muestras del Templo del Sol no presentan variaciones significativas, estos están comprendidos en el intervalo de 0,8% y 1%. En las muestras del Templo Pintado se observó que las muestras 1 y 2 extraídas del escalón 9 y muestra 5 extraída del sector Almacenes, presentan los mayores porcentajes de sales solubles. Estos resultados serían incorporados por la acción de la brisa marina. Las muestras 3 y 4 presentan los menores valores.

Los análisis de EDFRX llevados a cabo sobre las sales recristalizadas muestran la presencia de K, Ca y S como elementos mayoritarios. Estos elementos están asociados a nitratos de potasio y sobre todo a sulfato de calcio dihidratado que se observó en todas las muestras analizadas. Así mismo se detectó Cu en trazas. También se detectó Cl como elemento mayoritario en las muestra 8 del Templo del Sol y en las muestras 2 y 3 del Templo Pintado, este elemento estaría asociado a la presencia de cloruro de potasio o cloruro de calcio.

Determinar la presencia de sales no solubles como los carbonatos es importante porque reaccionan con el ácido presente en el agua para formar sales no solubles o poco solubles. Hemos empleado el método de dilución por HCl para determinar el porcentaje de carbonatos. Los valores hallados en las muestras del Templo del Sol varían entre 3,5% y 4,6%, valores superiores a los obtenidos en las muestras del Templo Pintado, los cuales varían entre 2,0% y 3,5%. Los porcentajes obtenidos en la prueba de determinación de carbonatos son mayores a los obtenidos en la determinación de sales solubles..

Todos los test realizados en esta primera parte nos dan cuenta que las muestras del Templo del Sol son notablemente diferentes a las muestras del Templo Pintado, esto evidencia que la materia prima fue extraída de diferentes lugares. Así mismo, observamos que entre las muestras del Templo del Sol, no hay diferencia notable entre ellas, lo que podría significar que pertenecen a una misma zona de extracción de materia prima. Por otro lado, entre las muestras del Templo Pintado sí se distinguen diferencias notables entre el subgrupo de adobes y el subgrupo mortero y enlucido. Estas diferencias son más

evidentes en las fracciones grava y en los porcentajes de componentes orgánicas. La razón podría deberse a un gesto de preselección antes de la utilización como material de construcción o podría deberse a que fueron extraídas de lugares diferentes.

La segunda parte del trabajo realizado consistió en la preparación de los facsímiles conformados por una base de adobe de 25 cm² de área y 4 cm de altura y una capa de enlucido de 0,4 cm de espesor. La base de adobe se armó con la tierra de la muestra 1 del Templo Pintado; la proporción de ésta y agua fue de 125 g a 35 g respectivamente. La capa de enlucido se preparó también de la muestra 1 del Templo Pintado, pero conservando las proporciones de cada fracción textural de la muestra 5; la proporción de tierra a agua fue 24 g a 10 g. El ciclo de secado constó en tres etapas: tres días de secado al aire libre, dos días en estufa a 90°C y finalmente dos días de secado al aire libre. Los resultados obtenidos fueron bastante óptimos ya que ni la base de adobe, ni los enlucidos presentaron rajaduras, ni desprendimientos de material, además obtuvimos una buena adherencia del enlucido a la base del adobe.

La tercera parte del trabajo consistió en la preparación y aplicación de los consolidantes. La primera solución trabajada fue agar agar al 0,7%, 1,2% y 3,7%, aplicadas a 80°C. Luego de la primera capa de aplicación con la solución de 3,7% se observó que sobre el enlucido se forma una capa desprendible, que deja una apariencia blanquecina y brillante. Este resultado nos condujo a dejar de lado el trabajo con esta solución y continuar con las soluciones más diluidas. La segunda solución trabajada fue mucilago de tuna al 46%, preparada de dos maneras diferentes, las que llamamos b1 y b2, aplicadas a temperatura ambiente, alrededor de 23°C. La tercera solución trabajada fue gelatina al 3% y a 5%, aplicadas a 37°C. La cuarta solución trabajada fue Paraloid B72® a 3,6% y 6%, aplicadas a temperatura ambiente, alrededor de 23°C.

La cuarta y última parte del trabajo fue acerca de la evaluación del desprendimiento de los enlucidos consolidados, medición de la microdureza de los consolidantes, profundidad de penetración, medición de los cambios de apariencia y la tasa de abrasión del enlucido consolidado.

El test conducido para realizar la evaluación del desprendimiento de los enlucidos consolidados se basó en la norma ASTM D4214-07. Este test nos permitió determinar la

cantidad de capas aplicadas por cada consolidante. En el caso de la solución de agar agar al 0,7% aplicamos cuatro capas hasta obtener un mínimo desprendimiento. La solución de agar agar al 1,2% también necesitó cuatro capas hasta obtener el menor desprendimiento. La diferencia que encontramos entre estas dos soluciones fue que la última desprende menor cantidad que la primera, indicándonos que a esta concentración, la solución de agar agar es bastante eficiente como adhesivo.

La solución de mucílago de tuna al 46% preparada de acuerdo al protocolo b1 necesitó diez capas hasta obtener un mínimo desprendimiento; mientras que la solución preparada de acuerdo al protocolo b2 necesitó cuatro capas hasta obtener un mínimo desprendimiento. Esto nos indica que el protocolo de preparación b2 es la manera más eficiente de obtener un consolidante de mejor calidad adhesiva.

La aplicación de la solución de gelatina se realizó de forma diferente. La primera forma de aplicación fue únicamente utilizando solución al 5% y la segunda, utilizando una primera capa de solución al 5% seguida de varias capas con solución al 3%. La justificación de estas dos formas diferentes de aplicación fue a partir del cambio de apariencia observado tras la primera capa de aplicación. En el primer caso la solución de gelatina al 5% necesitó únicamente dos capas hasta obtener un mínimo desprendimiento. En el segundo caso, tras la aplicación de una capa con solución de gelatina al 5%, se necesitó dos capas adicionales de solución al 3% para desprender lo mínimo posible, siendo este desprendimiento mayor al del primer caso. Esto nos indica que la forma más eficiente de aplicación es utilizando únicamente la solución al 5%.

La solución de Paraloid B72® al 6% necesitó dos capas hasta obtener un mínimo desprendimiento. La solución de Paraloid B72® al 3,6% también necesitó dos capas hasta obtener un mínimo desprendimiento. La diferencia que encontramos entre estas dos soluciones fue con la última se desprende mayor cantidad de material que la primera, indicándonos que a esta concentración, la solución es menos eficiente como adhesivo.

Realizamos el test de dureza con el fin de estudiar las características del consolidante ante la dilatación y la retracción. Este se realizó midiendo la microdureza Vickers de los consolidantes adheridos sobre sustratos de vidrio. Los resultados obtenidos para las soluciones de Paraloid B72® son mayores respecto a todas las soluciones. Estos valores de

dureza son del orden de 120HV100. El valor de microdureza para el mucílago de tuna al 46%, preparada por el protocolo b1, es alrededor de 58HV300, valor considerablemente alto respecto a la solución preparada por el protocolo b2. Este resultado nos muestra que el filtrado en esta solución no fue eficiente y las indentaciones se realizaron sobre algunos pedazos pequeños de cladodio de tuna. El valor de microdureza para la solución de agar agar al 0,7% fue 41HV100, valor considerablemente mayor a la solución de agar agar al 1,2% de 24HV100. El menor valor de microdureza obtenido fue para la solución de gelatina al 5%, cuyo valor es 6HV100.

De todos los valores obtenidos podemos decir que el Paraloid B72® presenta una baja respuesta a la dilatación y retracción, provocando desprendimientos en bloque; esta característica representa un daño potencial a la superficie consolidada con estas soluciones y presentarían daños irreversibles ante las variaciones de temperatura. Por el contrario, podemos decir que las soluciones de agar agar y gelatina son las que mejor respuesta tendrían ante dichas variaciones.

Medir la profundidad de penetración del consolidante es un parámetro que nos indica la extensión del mejoramiento de la adhesión del enlucido al adobe. Para llevar a cabo esta medición, tinturamos las soluciones y aplicamos una capa sobre los enlucidos. Las soluciones de paraloid B72® fueron las que menos penetraron, alrededor de 100 μm ; mientras que las soluciones de agar agar al 1,2%, mucílago de tuna al 46%, preparada según el protocolo b1 y gelatina al 5% penetraron 333 μm , 300 μm y 340 μm respectivamente. Estos resultados nos indican que el paraloid B72® produce adhesiones muy superficiales en los enlucidos.

El cambio de apariencia después de la consolidación es un tema importante a evaluar, ya que es de interés primordial en conservación que los tratamientos realizados no alteren la apariencia final. Medimos los cambios de apariencia en los enlucidos consolidados, a partir de las reflectancias difusas sin componente especular y las comparamos con enlucidos sin consolidar. Los resultados nos muestran que las soluciones de agar agar al 0,7% y al 1,2% presentan mínima variación en la apariencia, las soluciones de mucílago de tuna al 46%, preparadas según los protocolos b1 y b2, presentaron un cambio en la apariencia, con tendencia a oscurecer el enlucido consolidado; estas soluciones fueron las que más alteraron la apariencia final. Las soluciones de paraloid B72® cambiaron la

apariciencia final, con tendencia a oscurecer el enlucido, sin embargo este oscurecimiento no se observó homogéneamente en toda la superficie consolidada, sino únicamente en zonas determinadas. Esta es la razón porque en las mediciones de las reflectancias observamos que la solución de mucílago de tuna b1 oscureció más el enlucido consolidado. Las soluciones de gelatina también oscurecieron la apariciencia final del enlucido consolidado, observándose que la solución al 5% oscurece menos que aplicar una capa al 5% y dos capas al 3%; sin embargo estas soluciones alteraron menos la apariciencia que las soluciones de mucílago de tuna y paraloid B72®.

La exposición a la luz solar produce degradación en las superficies expuestas. El rango de luz visible produce decoloraciones, oscureciendo o blanqueando. Medimos las reflectancias difusas, sin reflexión especular sobre enlucidos consolidados para evaluar los cambios en la apariciencia. Nuestros resultados nos muestran que todas las soluciones producen blanqueamientos, sin embargo, observamos que las soluciones de agar agar al 0,7%, mucílago de tuna al 46%, preparada de acuerdo al protocolo b2 producen este efecto en menor proporción; mientras que las soluciones de gelatina al 5% y paraloid B72® al 6% producen este efecto en mayor proporción. El resto de las soluciones producen un cambio en la apariciencia en proporciones similares.

Dentro de los tipos de factores que producen deterioro en los sitios arqueológicos se encuentran los factores atmosféricos, siendo uno de los principales la abrasión producida por el viento que lleva consigo granos de arena. La medición de la tasa de abrasión se realizó a partir de la inyección de aire comprimido a diferentes velocidades sobre el enlucido consolidado. Los resultados nos muestran que todos los enlucidos consolidados producen una tasa de desprendimiento considerablemente menor a un enlucido sin consolidar, alrededor de la cuarta parte; esto nos dice que se obtuvo una mejora considerable en la adhesión de la capa superficial. Entre los enlucidos consolidados se observó que en promedio, la mayor y la menor tasa de desprendimiento obtenida fue la solución de gelatina y la solución de mucílago de tuna respectivamente.

Finalmente, de todo lo expuesto podemos concluir que los análisis texturales pueden dar indicios sobre el origen de extracción de la materia prima. Así mismo los consolidantes alternativos utilizados han sido muy eficientes como fijador de superficies de los enlucidos, provocando un mínimo desprendimiento; además, estos consolidantes tendrían

una buena respuesta a la variación del comportamiento mecánico ante la expansión – contracción del enlucido consolidado y nos permitió obtener una mayor profundidad de penetración respecto al Paraloid B72.

El uso de las soluciones de mucílago de tuna y gelatina produjeron un cambio evidente en la apariencia final del enlucido consolidado, sin embargo este no ha sido el caso de la solución de agar agar, que produjo una mínima variación en la apariencia del enlucido consolidado. Todas las propiedades evaluadas nos indican que el uso de agar agar como consolidante debería continuar siendo investigada ya que presenta un gran potencial para su uso en conservación.

CAPÍTULO VI: PERSPECTIVAS DE FUTUROS TRABAJOS

Todo el trabajo que hemos realizado nos permite decir que los resultados obtenidos dan pie a continuar con futuros trabajos a fin de complementar todos los test realizados antes de desarrollar pruebas en los enlucidos del sitio arqueológico de Pachacamac.

En el primer capítulo hemos mencionado que encontramos diferencias notables entre los subgrupos formados en las muestras del Templo Pintado, así mismo hemos planteado como una hipótesis que estas diferencias puedan deberse a distintos lugares de extracción de materia prima. Una forma de verificar la validez de esta hipótesis sería realizar más muestreos en los diferentes escalones del frontis norte y llevar a cabo un análisis de activación neutrónica; de esta manera el estudio de los elementos traza podrían ayudarnos a establecer diferencias o similitudes en las muestras analizadas.

Consideramos que es muy importante volver a realizar un test de porosidad, de sales solubles en agua, así como la determinación de carbonatos sobre los enlucidos consolidados y compararlos con los enlucidos sin consolidar. Esto nos permitirá averiguar cómo ha cambiado estos factores que son importantes para asegurar un buen tratamiento de conservación. Así mismo, es importante determinar el porcentaje de absorción de agua de los enlucidos consolidados, para ello se podría conducir el test de RILEM (ensayo 11.4) que mide la absorción de agua por minuto. La determinación de este parámetro nos indicaría la variación de la porosidad superficial del enlucido consolidado.

Un análisis que no se puede dejar de lado es realizar un cultivo de bacterias. En efecto, dado que los consolidantes alternativos utilizados tienen origen orgánico, es importante conocer si los tratamientos realizados ha favorecido la aparición de bacterias sobre los enlucidos.

Una prueba importante a realizar para poder establecer si los consolidantes utilizados son adecuados para la conservación es realizar pruebas para determinar la irreversibilidad del tratamiento.

Las mediciones de cambio de apariencia que condujimos sobre los enlucidos consolidados se realizaron sobre superficies sin color. La siguiente etapa en este análisis es

medir los cambios de color en los enlucidos pigmentados consolidados. Para ello, lo primero ~~ya~~ realizar consistiría en agregar una capa de pintura preparada con el pigmento mineral rojo encontrado en el sitio arqueológico de Pachacamac. Sobre esta capa, se realizaría la consolidación con los protocolos que hemos utilizado en nuestro trabajo. Las mediciones de los cambios de apariencia serían conducidas midiendo las reflectancias y realizando mediciones colorimétricas.

Así mismo, es importante conducir la medición de la tasa de abrasión sobre el enlucido luego de inyectar un flujo continuo de arena, así como la tasa de abrasión debido a la lluvia; para este último se puede implementar un sistema de goteo constante.

BIBLIOGRAFÍA

Aloiz, E., 2011. New investigations into a historic treatment: the efficacy of gelatin as an adhesive for the earthen finishes at Mesa Verde National Park. Tesis de Maestría, Universidad de Pennsylvania, Estados Unidos. p: 19.

Bañón L., Beviá J.F., 2000. Manual de Carreteras. Ortiz e Hijos , contratista de Obras, S.A., Alicante. Vol. 2, p: 9 – 10.

Benavente, R., 2011. Microdureza y nanoindentación. Disponible en <http://www2.ictp.csic.es/qf/ppcontrol/bibliografia/D22-MH-2011.pdf>. Consultado el 22/09/2013.

Borrelli, E. 1999. *Porosity*. International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property, Roma. Vol. 2, p: 3-4.

Borrelli, E. 1999. *Salt*. International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property, Roma. Vol. 3, p: 3.

Carr, R., 2002. Evaluation of adhesive binders for the preservation of in-situ aboriginal surface finishes at mesa Verde National Park. Tesis de Maestría. Universidad de Pennsylvania, Estados Unidos. p: 42 – 45.

Cerisola, C.I., García, M.G., Filgueira, R., 2005. Distribución de la porosidad de un suelo franco arcilloso (alfisol) en condiciones semiáridas después de 15 años de siembra directa. *Ciencia del Suelo*, Vol 23(2), p: 167 – 178.

Curiel, F.A., 2004. Predicción de propiedades ópticas de películas inhomogéneas por medio de modelos de transferencia radiativa y su aplicación en pinturas. Tesis doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F. p: 09 – 10.

Ferron, A., 2007. The Consolidation of Earthen Surface Finishes: A Study of Disaggregating Plasters at Mesa Verde National Park. . Tesis de Maestría. Universidad de Pennsylvania, Estados Unidos. p: 45 – 47, 66 – 76.

Gabriels, D., Lobo D., 2006. Métodos para determinar granulometría y densidad aparente del suelo. *Venesuelos*, Vol 14 (1), p: 37 – 48.

Hoyle, A. M., 1990. Chan Chan: Aportes para la Conservación de la Arquitectura en Tierra. *En* N. Agnew, N, A. Alva, H. Houben (Eds.). Acta 6th International Conference on the Conservation of Earthen Architecture. Getty Conservation Institute, Los Angeles. p: 225 – 229.

Illescas, J.F., 2012. Nuevos Nanomateriales para la conservación del Patrimonio Monumental Andaluz. Tesis doctoral. Universidad de Cádiz. España. p: 13 – 15.

Lian-You, L., Shang-Yu, G., Pei-Jun, S., Xiao-Yan, L., Zhi-Bao, D., 2003. Wind tunnel measurements of adobe abrasión by blown sand: profile characteristics in relation to wind velocity and sand flux. *Journal of Arid Environments*, Vol. 53(3). p: 351 – 363.

Michalski, S., 2011. “Light, Ultraviolet and Infrared.” *Canadian Conservation Institute Caring for Collections*. Disponible en: <http://www.cci-icc.gc.ca/caringfor-prendresoindes/articles/10agents/chap08-eng.aspx>. Última actualización: 02/08/2011.

Nascimento, V., 1999. Técnicas analíticas nucleares de fluorescência de raios X por dispersão de energia (ED-XRF) e por reflexão total (TXRF). Disponible en [http://fapos.if.usf.br/~tabacnik/FAP5844/edxrf_txrf-virgilio\(1999\).doc](http://fapos.if.usf.br/~tabacnik/FAP5844/edxrf_txrf-virgilio(1999).doc). Consultado el 31/08/2013.

Pozzi-Escot, D., Chávez, A., Uceda, C.R., (Eds.), 2011. *Pachacamac: revalorando el patrimonio histórico. Conservación e investigación en el santuario*. Ministerio de Cultura (1ra ed.). Lima. p: 9 – 10.

Pozzi-Escot, D., Pacheco, G., Uceda, C.R., 2013. *Pachacamac: Templo Pintado. Conservación e investigación*. Ministerio de Cultura (1ra ed.). Lima. p: 20 – 21, 44, 46, 49, 57 – 60.

Pozzi-Escot, D. (Ed.), Torres, H., Camargo, B., Uceda, C.R., 2013. *Manual de Conservación Pachacamac*. Ministerio de Cultura (1ra ed.). Lima. p: 11 – 13.

Santos, E., Yenque, J., Rojas, O., Rosales, V., 2001. Acerca del Ensayo de Dureza. *Industrial Data*, Vol. 4(2), p: 73 – 80.

Smith, C. Bertalan, S., Dwan, A., English, J., Nicholson, C., Rodgers Albro, S., Schenck, K., Stiber, L., Wagner, S., 1989. Adhesives. Cap. 46 en: *Paper Conservation Catalog* (6ta ed.). The American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works. Book and Paper Group. Washington D.C. p: 4 – 91.

Teutonico, J.M., 1988. *A Laboratory Manual for Architectural Conservators*. International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property, Roma, p: 73-81, 83-93, 45-49

Torraca, G., 2009. *Lectures on Materials Science for Architectural Conservation*. The Getty Conservation Institute, Los Angeles. p: 39, 43, 85, 88, 96.

Uceda, S., Mujica, E., Morales, R., (Eds.), 2000. *Investigaciones en la Huaca de la Luna 1997*. Facultad de Ciencias Sociales, Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo. p: 295 – 300.

Vargas, J., Heredia, E., Bariola, J., Mehta, P., 1986. Preservación de las construcciones de adobe en áreas lluviosas. Departamento de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima. p: 3 – 5.

Villegas R., Baglioni R., Sameño, M., 2003. Tipología de Materiales para Tratamiento
En: *Metodología de diagnóstico y evaluación de tratamientos para la conservación de los edificios históricos*. Vol. 1. Comares. Granada., 2003. p: 181.

año 3,

Wright, V., Étude de la polychromie des reliefs sur terre crue de la Huaca de la Luna.
Tesis doctoral. Université Paris I – Panthéon Sorbonne. Francia. p: 276 – 279.