



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA

PRESERVACION DE LAS CONSTRUCCIONES DE ADOBE EN AREAS LLUVIOSAS

JULIO VARGAS NEUMANN
ERNESTO HEREDIA ZAVONI
JUAN BARIOLA BERNALES
POVINDAR K. MEHTA

PROYECTO FINANCIADO POR LA
AGENCIA PARA EL DESARROLLO
INTERNACIONAL

PUBLICACION DI - 86 - 02
MAYO 1986



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA

PRESERVACION DE LAS CONSTRUCCIONES DE ADOBE EN AREAS LLUVIOSAS

JULIO VARGAS NEUMANN
ERNESTO HEREDIA ZAVONI
JUAN BARIOLA BERNALES
POVINDAR K. MEHTA

PROYECTO FINANCIADO POR LA
AGENCIA PARA EL DESARROLLO
INTERNACIONAL

PUBLICACION DI - 86 - 02
MAYO 1986

PRESERVACION DE LAS CONSTRUCCIONES DE ADOBE
EN AREAS LLUVIOSAS

Julio Vargas Neumann
Ernesto Heredia Zavoni
Juan Bariola Bernal

Pontificia Universidad Católica del Perú

Povindar K. Mehta

Universidad de California, Berkeley

RESUMEN

Se presentan los resultados de un estudio experimental en enlucidos de barro estabilizado sometidos a la acción erosiva de una lluvia simulada. Diferentes estabilizantes fueron utilizados como los extractos obtenidos de las hojas de la tuna, una variedad de cactus, de las hojas y el tallo del plátano y de las vainas del fruto del algarrobo. Con fines de comparación, se presentan adicionalmente resultados de ensayos de enlucidos de barro estabilizado con asfalto RC-250.

Los resultados experimentales mostraron que la fisuración por contracción de secado es uno de los factores más importantes que afectan la durabilidad del enlucido frente a las lluvias. Se desarrolló un procedimiento para fabricar enlucidos resistentes a la lluvia en base a suelo, arena gruesa, paja y el estabilizante obtenido de la planta de la tuna.

RECONOCIMIENTO

El presente trabajo fue llevado a cabo con financiación de la Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos de América, a quienes agradecemos especialmente el apoyo brindado para estudiar y poner en práctica nuevas y más seguras formas de construir con adobe.

Se contó para la realización de este proyecto con la valiosa colaboración del personal del Laboratorio de Estructuras de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

INTRODUCCION

La tierra es probablemente el material de construcción más antiguo y universal. En muchos países del mundo las dos terceras partes de la población continúa viviendo en casas de adobe. Sin embargo, la experiencia indica que las edificaciones de adobe no toleran adecuadamente la acción destructiva de las lluvias que origina la erosión y el deterioro de las construcciones.

En el Perú, donde la durabilidad de construcciones recientes de adobe frente a la acción de las lluvias ha sido más bien pobre, existen varios ejemplos que demuestran que es posible construir estructuras de adobe buenas y durables, tales como Chan Chan (Trujillo) y San Pedro de Racchi (Cuzco). Desafortunadamente se han perdido las técnicas de construcción desarrolladas por los Chimús, los Incas y posteriormente por los primeros españoles que llegaron al país. En las últimas décadas, el deterioro de las viviendas de adobe por acción de las lluvias ha cuestionado a la construcción con adobe como una solución adecuada al problema habitacional a pesar de ser un tipo de construcción al alcance de las grandes mayorías en los países del Tercer Mundo.

ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

Una serie de investigaciones han sido llevadas a cabo con el objeto de mejorar la durabilidad de las construcciones de adobe frente a la humedad (1, 2, 3)¹. La mayoría de las soluciones propuestas en dichos trabajos emplean materiales costosos como cemento portland, asfalto, etc., que se encuentran fuera del alcance de los pobladores de escasos recursos económicos. Por otro lado, una serie de productos y compuestos naturales que se obtienen de las hojas, de la corteza o de los frutos de diferentes tipos de plantas, han sido tradicionalmente usados por la gente del campo como estabilizantes de enlucidos o como pinturas impermeabilizantes. En Africa y Sud-América se producen pinturas de este tipo moliendo la planta *Euphorbia Lacter*, una variedad común de la familia del caucho (4). En las áreas donde existen cultivos de plátano se fabrican pinturas similares hirviendo el tallo y las hojas de la planta. En el Perú, un líquido viscoso que se obtiene de la planta de la tuna, una variedad de cactus, se utiliza mezclado con cal para la imprimación de muros. En Ghana del Norte, los muros son revestidos con enlucidos de barro mezclado con estiércol de vaca y el extracto del hervido de las vainas vacías del fruto del algarrobo (5). En la región Nankansi (Ghana) el enlucido de barro es además pulido con piedras, lo cual aparentemente reduce la permeabilidad.

No existen, sin embargo, estudios que evalúen en forma científica los métodos y productos descritos anteriormente.

El objetivo del presente estudio es evaluar y estudiar en laboratorio la eficacia de diferentes productos naturales y técnicas populares tradicionalmente utilizadas para proteger las construcciones de adobe contra la lluvia.

1 Ver referencias al final del texto.

1. EVALUACION DE ESTABILIZANTES Y TECNICAS PARA EL MEJORA- MIENTO DE LA RESISTENCIA AL AGUA DEL ENLUCIDO

Se programaron una serie de ensayos para evaluar la eficacia de diferentes productos naturales y técnicas para mejorar la durabilidad del enlucido. La evaluación se realizó en términos de la erosión causada por una lluvia controlada en condiciones de laboratorio.

1.1 Selección y Características del Suelo

El suelo del campus de la Universidad Católica del Perú (suelo PUC) fue ampliamente estudiado en una investigación anterior (6) por lo que se consideró conveniente su uso para la presente investigación. El suelo PUC es una arcilla de baja plasticidad (CL) cuyos límites de Atterberg son los siguientes: Límite plástico = 19%, Límite líquido = 28%, e Índice de Plasticidad = 9%. La distribución granulométrica del suelo PUC se indica en la Tabla 1.1.

1.2 Características de los Estabilizantes

Para los fines de esta investigación, el término estabilizante se utilizó para designar en general a los aditivos que incrementan la resistencia del enlucido frente a la acción erosiva de la lluvia.

Las siguientes sustancias fueron seleccionadas para estudiar sus propiedades estabilizantes:

- a) Estabilizante de tuna (*Opuntia Ficus Indica*)
- b) Estabilizante de plátano (*Musa Paradisiaca*)
- c) Estabilizante de algarrobo (*Ceratonia Silicua*)
- d) Asfalto líquido

En las Figuras 1.1 a 1.3 se muestran fotografías de la planta de la tuna, de la planta del plátano y del fruto del algarrobo.

En el caso de los productos naturales cada sustancia requirió un proceso de fabricación diferente. El estabilizante de tuna se obtuvo remojando por cinco días la planta previamente cortada en trozos. Se utilizaron iguales proporciones en peso de tuna y de agua.

Los estabilizantes de plátano y algarrobo requirieron del hervido de estos vegetales en agua. El hervido del tallo y de las hojas del plátano no dió como resultado un líquido denso a diferencia de lo que se menciona en la literatura (5). Aparentemente la especie de plátano seleccionada en esta investigación no sería apropiada como estabilizante. El hervido de las vainas del fruto del algarrobo para la preparación del estabilizante dió como resultado un residuo espeso; sin embargo, atrajo insectos por lo que su uso tuvo que ser descartado. En el Apéndice A se presentan detalladamente los procesos de fabricación empleados.

El asfalto líquido utilizado fue del tipo cut-back, de curado rápido y viscosidad intermedia (RC-250).

1.3 Fabricación de Especímenes

Los especímenes fueron denominados “capas de enlucido” y consistieron en una capa de mortero vaciada en un marco de madera de dimensiones 400 x 400 x 20 mm. El marco de madera fue barnizado, por lo cual la superficie lisa del fondo no restringió mayormente la contracción de secado y en consecuencia sólo aparecieron fisuras pequeñas en la superficie de los enlucidos.

El mortero consistió en una mezcla de suelo, agua y/o estabilizante y paja. El tipo de paja seleccionado fue el Césped en un porcentaje de 20% en peso respecto del peso de suelo seco. El agua o el estabilizante fueron añadidos en la cantidad necesaria para obtener una “consistencia estándar” o trabajabilidad de la mezcla. La consistencia fue controlada con una Aguja de Vicat modificada soldando una bolita de acero de 10 mm al extremo de la aguja (6). Se definió como consistencia estándar una penetración de 10 mm de la aguja”.

Los ensayos correspondientes a los estabilizantes naturales se llevaron a cabo en especímenes fabricados con suelo, paja y estabilizante, sin la adición de agua. La superficie de los enlucidos fue pulida a edades de los especímenes entre 5 y 7 días utilizando un badilejo. El badilejo fue “pasado” aplicando presión mientras se rociaba una pequeña cantidad de agua. Adicionalmente, los especímenes fueron pintados con el mismo estabilizante utilizado en la preparación del barro. Durante los primeros días de edad se notó la aparición de hongos en la superficie de los enlucidos; sin embargo, estos desaparecieron posteriormente sin causar ningún problema.

El efecto del asfalto como estabilizante fue estudiado considerándose dos porcentajes: 20% y 40% en peso, respecto del peso de suelo seco. Con propósitos comparativos se prepararon adicionalmente especímenes de suelo sin estabilizar y especímenes de suelo sin estabilizar con acabado pulido.

1.4 Ensayo de Lluvia Simulada

Se realizaron ensayos consistentes en someter a los especímenes a la acción cíclica de una lluvia simulada mediante un sistema hidráulico y recolectar el material erosionado en cada ciclo. En la Figura 1.4 se muestra el dispositivo de ensayo.

Los especímenes fueron sometidos a ciclos de 3 horas diarias de lluvia durante 20 días. El ensayo fue detenido si el peso acumulado del material erosionado excedía el 100% del peso del espécimen (aproximadamente 5 kg). El daño sufrido por los especímenes al finalizar el ensayo fue visualmente calificado como leve, moderado o severo. Los ensayos se llevaron a cabo dentro de un ambiente especialmente diseñado para evitar variaciones de la lluvia simulada por efecto del viento.

Los resultados de los ensayos se indican en la Tabla 1.2. En la Figura 1.5 se muestran dos de los enlucidos después de ser ensayados. En la Fig. 1.6 a y b se muestra la variación del peso acumulado de material erosionado vs. el número de horas de ensayo.

1.5 Discusión de los Resultados

Los ensayos de erosión frente a la lluvia causaron daños a los especímenes S1 (suelo sin estabilizar), (ver Tabla 1.2), que pudieron ser observados claramente desde

los primeros 30 minutos de exposición. El ensayo fue detenido al final del noveno ciclo ya que la cantidad de material erosionado alcanzó el límite especificado de 100% del peso del espécimen. Al final del ensayo se podían observar profundas cavidades que atravesaban completamente el espesor del enlucido (20 mm).

En el caso de los especímenes S2, el pulido de la superficie mostró ser efectivo sólo durante aproximadamente los primeros cuatro ciclos. Durante los siguientes ciclos los daños sufridos por erosión fueron similares al caso de los especímenes S1.

Luego del primer ciclo de ensayo de los especímenes estabilizados con plátano (S3), alrededor de un 50% de la superficie del enlucido había sido deteriorada en las zonas de fisuras que ocurrieron por contracción de secado. Las fisuras crearon zonas débiles donde el daño se concentró en los siguientes ciclos de ensayo.

Durante los ensayos de los especímenes con estabilizante de tuna (S4), se observó que inicialmente el agua escurría fácilmente sobre el acabado pulido de la superficie, el cual era liso y compacto. El acabado se fue perdiendo gradualmente debido a la erosión alrededor de zonas de pequeñas fisuras (ver Figura 1.5).

Excepto los especímenes con 40% de asfalto, el comportamiento de los especímenes con estabilizante de tuna fue el mejor. El peso del material erosionado fue solo 28 gr en comparación a 650 gr para los especímenes S1. Después de veinte ciclos de lluvia un porcentaje de aproximadamente 40% del área se encontraba aún pulido. Los resultados para los especímenes con estabilizante de tuna muestran que luego de los primeros ciclos de ensayo el material perdido por ciclo tiende a disminuir, con lo cual el crecimiento del peso acumulado es muy pequeño (ver Figura 1.6b).

1.6 Conclusiones

- (1) Los ensayos de erosión frente a la lluvia llevados a cabo en capas de enlucido indicaron que las fisuras por contracción de secado originan zonas débiles donde el deterioro se concentra. Desde este punto de vista, el control de la fisuración por contracción de secado es un punto crítico.
- (2) Los resultados experimentales indicaron que con el uso del estabilizante de tuna puede obtenerse un nivel de estabilización comparable al del asfalto, por lo que sería conveniente optimizar su composición.
- (3) Los ensayos realizados permitieron comprobar que la técnica del pulido contribuye a mejorar la resistencia a la erosión del enlucido. Esto probablemente se debe a que el pulido proporciona un acabado liso y sella los vacíos de la superficie reduciendo en cierta medida la porosidad.

2. ESTUDIOS ADICIONALES PARA MEJORAR LA DURABILIDAD DEL ENLUCIDO

En base a los resultados descritos en el Capítulo 1, se decidió continuar el trabajo experimental con los siguientes objetivos: (1) Determinar la composición óptima del estabilizante de tuna, (2) Estudiar el control de la fisuración por contracción de secado y (3) Investigar sobre la técnica de pulido con piedra en el laboratorio.

2.1 Ensayos para Determinar la Composición Óptima del Estabilizante de Tuna

El objetivo de estos ensayos fue estudiar la influencia del tiempo de remojo en la eficiencia del estabilizante. Se realizaron ensayos en capas de enlucido de 400 x 400 x 20 mm y en enlucidos aplicados en muretes de adobe, los cuales se describen a continuación.

(A) Ensayos sobre Capas de Enlucido

El barro se preparó mezclando suelo PUC, paja (Ichu 20/o) y estabilizante de tuna (280/o en peso respecto del peso de suelo seco) obtenido con diferentes tiempos de remojo de las pencas en el agua. Los especímenes se dejaron secar al aire durante 14 días antes de ser ensayados. Se realizaron ensayos de erosión por lluvia de tres horas de duración y los resultados se muestran en la Tabla 2.1a. En la figura 2.1a se muestra la variación de la pérdida de material erosionado vs. el tiempo de remojo.

Como puede verse en la Figura 2.1a, el tiempo de remojo de las pencas para la fabricación del estabilizante de tuna influye decisivamente en la resistencia a la erosión de los enlucidos. Para tiempos de remojo entre 14 y 25 días se obtuvieron los mejores resultados: el peso del material erosionado de un barro preparado con estabilizante obtenido con un día de remojo se redujo en 99.50/o cuando las pencas se remojaron 18 días.

Se observó que a medida que el tiempo de remojo aumenta, las características del estabilizante de tuna cambian. Durante los primeros días de remojo, el estabilizante presenta un color verde claro, una consistencia gomosa y es transparente e inodoro. En el período entre 14 y 25 días, el color cambia a verde, adquiere una mayor consistencia de goma, presenta un fuerte olor a materia orgánica y deja de ser transparente. Durante este período la pulpa de las pencas se disuelve completamente y sólo queda la cáscara como material remanente. A continuación el color se oscurece y la consistencia gomosa se pierde. Aproximadamente a los 60 días de remojo se obtiene un líquido negro de consistencia semejante a la del agua y con fuerte olor a materia orgánica descompuesta.

Como se ha mencionado, el tiempo de remojo necesario para obtener un estabilizante óptimo se encuentra entre 14 y 25 días; sin embargo, estos ensayos se realizaron durante el invierno (15-20°C, 82-920/o de humedad). Durante el verano (20-25°C, 76-880/o de humedad) se pudo observar que los períodos de tiempo arriba mencionados se acortan. Las pencas se disuelven entre los 7 y 14 días y el proceso de descomposición se inicia aproximadamente a los 21 días.

(B) Ensayos de Enlucidos Aplicados sobre Muretes

Los morteros fueron preparados mezclando suelo PUC, paja (ichu 20/o) y estabilizante de tuna obtenido con diferentes tiempos de remojo (7, 14, 21 y 28 días). Los enlucidos se aplicaron en una sola capa de 12 mm de espesor sobre muretes de adobe de 0.60x0.60x0.15 m. Para la aplicación de los morteros se limpió previamente el polvo de la superficie del murete y se le humedeció rociándola con agua.

Se realizaron ensayos de erosión por lluvia de tres horas de duración y los resultados se muestran en la Tabla 2.1b. En la Figura 2.1b se muestra la variación de la pérdida de material erosionado vs. el tiempo de remojo.

Los resultados de los ensayos, considerados más representativos del caso real que los realizados en morteros aplicados sobre capas de enlucido, indicaron que efectivamente el tiempo de remojo influye en la resistencia a la erosión del enlucido. Como se aprecia en la Tabla 2.1 b se obtuvieron resultados óptimos para un tiempo de remojo de 18 días.

(C) Conclusiones

El tiempo de remojo de las pencas para la fabricación del estabilizante influye en la resistencia a la erosión por lluvia de los enlucidos. El tiempo de remojo necesario para obtener el mortero más resistente a la erosión depende de las condiciones climáticas (humedad relativa y temperatura ambiental).

Para las condiciones climáticas en las que fueron realizados estos ensayos (invierno, 15-20°C, 82-92% de humedad) el tiempo de remojo óptimo fue de 18 días. Para tiempos de remojo mucho menores o mayores que el tiempo de remojo óptimo el efecto del estabilizante de tuna en la resistencia a la erosión es nulo.

2.2 Investigaciones sobre el Control de la Fisuración por Contracción de Secado

2.2.1 Control de la Fisuración mediante adición de Arena y Paja

Se decidió estudiar el control de la fisuración del mortero en enlucidos de barro a través de: (1) Restricción de la contracción de secado mediante adición de arena gruesa al suelo, (2) Control de la propagación y crecimiento de las fisuras mediante adición de paja al suelo y (3) Reducción de la velocidad de secado del enlucido brindándole protección contra el viento.

(A) Preparación de Especímenes

El control de la fisuración de los morteros se estudió en base a enlucidos de 12 mm de espesor aplicados sobre muretes de adobe de 0.60x0.60x0.15 m. (4 especímenes por ensayo). Para la aplicación de los morteros se limpió previamente el polvo de la superficie del murete y se le humedeció rociándola con agua.

La arena gruesa utilizada tenía partículas comprendidas entre las mallas No. 4 y No. 40. Las cantidades añadidas fueron 50%, 100% y 200% en peso, con respecto al peso de suelo seco.

La paja utilizada fue de un solo tipo: Ichu, proveniente de Cuzco. El Ichu fue cortado en trozos de aproximadamente 100 mm de longitud y se utilizó seco. La cantidad de ichu agregada fue de 2% en peso respecto del peso total de suelo seco. Este porcentaje de paja es un límite superior para garantizar una adecuada trabajabilidad del barro.

Para estudiar el control de fisuración mediante la reducción de la velocidad de secado del mortero se prepararon enlucidos que fueron totalmente cubiertos con costales de yute. Los costales se mantuvieron humedecidos con agua durante el primer día de secado a fin de disminuir aún más la velocidad de secado del enlucido.

(B) Pruebas de Laboratorio

Se realizó un experimento que consistió en dejar secar al aire los especímenes durante 60 días; una vez secos, se trazaron un par de ejes coordenados por el centro de la superficie de cada uno de los especímenes. A continuación se registraron los siguientes datos : el espesor máximo de las fisuras y el número de fisuras que cortaban a los ejes coordenados trazados. En la Tabla 2.2 se indican los resultados obtenidos.

(C) Discusión de los Resultados

La adición de 50^o/o de arena gruesa al suelo no produjo ninguna mejora importante. Los morteros se fisuraron excesivamente originando la pérdida de adherencia entre el enlucido y el muro.

La reducción de la fisuración en los morteros con 100^o/o y 200^o/o de arena gruesa fue considerable; sin embargo, estas cantidades de arena trajeron como consecuencia la pérdida de cohesión del suelo y no se pudieron obtener mezclas de trabajabilidad adecuada.

La cantidad de paja que se agregó al mortero para los enlucidos (2^o/o) es capaz de controlar eficazmente la fisuración de morteros en las juntas de la mampostería de adobe. Sin embargo, en el caso de enlucidos de barro, se encontró que agregar 2^o/o de paja ichu no es suficiente para controlar la fisuración del mortero. Esto probablemente se debe a que la pérdida de humedad en los enlucidos es más rápida que en el caso de los morteros en las juntas de la mampostería.

Los enlucidos con suelo PUC, paja y arena gruesa (Tabla 2.2) mostraron un número considerablemente menor de fisuras y muy finas (espesor máximo 0.8 mm). El mortero con 50^o/o de arena gruesa y paja ichu (2^o/o) pudo ser mezclado apropiadamente y se obtuvo un barro trabajable.

Se pudo comprobar, por simple observación visual, que al proteger los enlucidos contra el viento se reduce la velocidad de pérdida del contenido de humedad por evaporación y con ello, el proceso de secado es más lento. Para cada tipo de mortero la fisuración fue menor en el caso de los especímenes protegidos contra el viento. Sin embargo, la reducción de fisuración que se consiguió no fue suficientemente importante para justificar el esfuerzo que demandaría proteger enlucidos con morteros de barro en muros de adobe a escala natural.

(D) Conclusiones

Las principales conclusiones de esta parte del estudio fueron las siguientes:

- (1) Agregar arena gruesa al suelo produce mejoras en el control de fisuración de enlucidos pero puede ocasionar la pérdida de cohesión del suelo.
- (2) La adición de paja contribuye a reducir la fisuración por contracción de secado y por lo tanto a mejorar la adherencia entre el enlucido y el muro.
- (3) La adición simultánea de arena gruesa y paja contribuye en forma óptima al control de la fisuración. La cantidad de paja debe ser la máxima posible siempre

que permita un mezclado apropiado del mortero. La cantidad de arena gruesa debe ser tal que no origine pérdida de cohesión del suelo y que permita obtener un mortero de trabajabilidad adecuada.

(4) Se puede reducir la fisuración del mortero protegiendo el enlucido contra el viento. Sin embargo, agregar al suelo aditivos como la paja o la arena gruesa resulta ser una manera más práctica de reducir la fisuración.

2.2.2 Pulido con Piedra de la Superficie del Enlucido

Con el propósito de estudiar esta técnica más en detalle se realizaron en el laboratorio pruebas de pulido con piedra. Se utilizaron enlucidos de 12 mm de espesor aplicados sobre muretes de adobe de 0.60x0.60x0.15 m. El barro para los enlucidos fue preparado con las cantidades de arena gruesa y paja ichu que dieron resultados óptimos en el estudio de control de fisuración (50^o/o y 2^o/o respectivamente).

El procedimiento seguido para el pulido fue el que se menciona en la literatura (5) y consiste en: (1) frotar la superficie del enlucido con una piedra de superficie áspera y (2) humedecer la superficie y frotarla luego con una piedra de superficie lisa (ver Figura 2.2). En pruebas preliminares se observó que la presencia de arena gruesa y de paja en trozos muy largos dificultan el acabado de la superficie. Debido a esto, se decidió aplicar el enlucido en dos capas. La primera consistió en un mortero en base a suelo PUC, arena gruesa (50^o/o) y paja ichu (2^o/o). La segunda capa, de espesor muy delgado (3mm), se preparó con suelo PUC y paja ichu (2^o/o) cortada en trozos de 50 mm de longitud (sin agregar arena gruesa). Esta capa delgada cubre las fisuras de la capa gruesa y adicionalmente proporciona una superficie que puede ser pulida con facilidad.

Se observó en el laboratorio que el efecto de frotar el enlucido con una piedra rugosa es alisar la superficie. Al mismo tiempo se logra sellar los poros y las fisuras superficiales. Por otro lado, el efecto de frotar el enlucido con una piedra lisa es proporcionar una superficie muy lisa y brillante. Este efecto puede lograrse sólo si la superficie se humedece con agua previamente. Puede obtenerse el mismo acabado liso y brillante utilizando el estabilizante de tuna en lugar de agua.

3. ENSAYO FINAL DE DURABILIDAD DE ENLUCIDOS

Las conclusiones derivadas de los estudios realizados previamente a esta etapa fueron puestas en práctica en la fabricación de enlucidos aplicados sobre muretes de adobe de 0.60x0.60x0.15 m con el objeto de evaluar su resistencia a la erosión.

3.1 Fabricación de Especímenes

Para la aplicación de los enlucidos, se pintó previamente la superficie de los muretes con tres capas de estabilizante de tuna y se les dejó secar 7 días. Durante pruebas preliminares se pudo observar que la erosión de los enlucidos aplicados sobre muretes pintados fue mucho menor que los casos en los que no se siguió este procedimiento. Esto probablemente se debe a que la imprimación previa de la superficie del muro no permite que los adobes de la mampostería absorban el estabilizante de tuna del enlucido.

Los enlucidos fueron aplicados en dos capas: (1) una capa de enlucido grueso de 12 mm de espesor y (2) una capa de enlucido fino de 3 mm de espesor.

El enlucido grueso fue preparado en base a suelo PUC, arena gruesa, estabilizante de tuna y paja. Las cantidades de arena gruesa y paja (ichu) utilizadas fueron 50^o/o y 2^o/o, en peso, respectivamente. Estas cantidades produjeron resultados óptimos en cuanto a control de fisuración por contracción de secado. La paja se utilizó en trozos de 100 mm de longitud. El enlucido fino fue preparado en base a suelo PUC, paja y estabilizante de tuna. Se utilizó paja ichu cortada en trozos de 50 mm de longitud y no se añadió arena gruesa a la mezcla debido a que dificulta el acabado de la superficie.

En ambas capas del enlucido se utilizó estabilizante de tuna obtenido con el tiempo de remojo óptimo (18 días). La superficie del enlucido fue terminada utilizando la técnica del pulido con piedra.

Con fines de comparación, se fabricaron adicionalmente especímenes en base a suelo PUC sin estabilizar y paja (ichu 2^o/o).

3.2 Ensayo de Laboratorio

Los especímenes fueron sometidos a 2 horas continuas de lluvia simulada durante 15 días. El dispositivo de ensayo se muestra en la Figura 3.1. En la Figura 3.2 se muestra la variación del peso acumulado de material erosionado vs. el número de horas de ensayo.

3.3 Discusión de Resultados

Los resultados muestran que el enlucido con mortero de suelo PUC, paja, arena gruesa y estabilizante de tuna (M2) es bastante más resistente a la erosión que el enlucido de barro sin estabilizar (M1), (ver Fig. 3.2). Aparentemente, esto se debe a: (1) la reducción de la fisuración mediante el uso de paja y arena gruesa, (2) la acción del estabilizante de tuna que mejora la resistencia a la erosión del enlucido y (3) el acabado superficial pulido.

Al finalizar los ciclos de ensayo, los morteros con estabilizante de tuna se encontraban en condiciones en las que eran susceptibles de ser reparados.

4. CONCLUSIONES

Las conclusiones más importantes de este estudio son las siguientes:

- (1) Se puede mejorar la durabilidad del enlucido de barro frente a las lluvias en base a: aditivos naturales (paja y arena gruesa), estabilizantes naturales (planta de la tuna) y técnicas de acabado superficial (pulido con piedra).
- (2) La fisuración por contracción de secado es uno de los factores más importantes que afectan la durabilidad de los enlucidos de barro.
- (3) La eficacia del estabilizante de tuna depende fundamentalmente de su composición. La composición óptima del estabilizante se controla con el tiempo de remojo

de las pencas de tuna durante el proceso de fabricación. El tiempo de remojo depende de las condiciones climatológicas (temperatura y humedad relativa).

5. RECOMENDACIONES PRACTICAS DE CAMPO

A continuación se dan las principales recomendaciones prácticas de campo para el enlucido de muros de adobe:

- (1) Preparar el estabilizante natural remojando las pencas de la tuna hasta que la pulpa se disuelva completamente y sólo queden las cáscaras como material remanente. El estabilizante deberá presentar las siguientes características: consistencia gomosa, color verde y fuerte olor a materia orgánica.
- (2) Limpiar el polvo de la superficie del muro, pintarla con estabilizante de tuna y dejar secar.
- (3) Aplicar el enlucido en dos capas, una primera de 12 mm de espesor y una segunda de espesor muy delgado (aproximadamente 3 mm). La primera capa debe contener paja y arena gruesa en cantidades que permitan una adecuada trabajabilidad. La segunda capa cubre las fisuras de la primera y proporciona una superficie fácil de pulir. El mortero para la segunda capa debe contener paja en trozos muy pequeños y no debe contener arena gruesa. Ambas capas se preparan con estabilizante de tuna.
- (4) Alisar la superficie del enlucido frotándola con una piedra rugosa. A continuación, humedecerla con estabilizante de tuna y pulirla frotándola con una piedra lisa.
- (5) Pintar la superficie terminada del enlucido con estabilizante de tuna.

Tabla 1.1 Distribución Granulométrica del Suelo PUC

Malla No.	4	10	20	40	100	200
Abertura (mm)	4.76	2.00	0.84	0.43	0.15	0.075
o/o Retenido Acumulado	0.0	1.3	3.4	9.4	24.0	34.0

Tabla 1.2 Resultados de Ensayos de Lluvia en Capas de Enlucido

Enlucido	Número de Ciclos	Pérdida (gr)	Daño
S1 (Suelo sin Estabilizar)	9	613	Severo
S2 (Acabado Pulido)	10	653	Severo
S3 (Suelo con Estabilizante de Plátano)	20	288	Moderado
S4 (Suelo con Estabilizante de Tuna)	20	28	Leve
S5 (Suelo Estabilizado con Asfalto (2 ^o /o))	20	60	Leve
S6 (Suelo Estabilizado con Asfalto (4 ^o /o))	20	15	Leve

Tabla 2.1 Resultados de Ensayos de Optimización del Estabilizante de Tuna
(a) Ensayo de Capas de Enlucido

Tiempo de Remojo (días)	Material Erosionado (gr)	Observaciones del Estabilizante de Tuna Durante el Proceso de Fabricación
1	162.0	Transparente y de color verde claro. Inodoro. Densidad rel. = 0.97.
3	51.6	Consistencia gomosa. Densidad rel. = 0.98.
5	13.3	Similar al estado previo.
7	9.0	Similar al estado previo.
14	4.5	Olor a materia orgánica descompuesta. Opaco y de color verde oscuro. Mayor consistencia. La pulpa de la mayoría de pencas se ha disuelto. Densidad rel. = 0.98.
18	0.8	Similar al estado previo. Densidad rel. = 0.99.
25	2.2	Similar al estado previo.
35	34.4	Perdida de consistencia.
60	72.3	Líquido de color negro. Consistencia semejante a la del agua. Fuerte olor a materia orgánica descompuesta.

Tabla 2.1 Resultados de Ensayos de Optimización del Estabilizante de Tuna
(b) Ensayo de Enlucidos Aplicados sobre Muretes

Tiempo de Remojo (días)	Peso del Material Erosionado (gr)
7	440
14	302
18	160
25	287

Tabla 2.2 Efecto de la Adición de Paja y Arena en el Control de la Fisuración

Paja Ichu (°/o)	Arena Gruesa (°/o)	Protección contra el viento	Número de Fisuras	Tamaño Máximo (mm)	Observaciones
---	50	No	---	8.0	Excesiva fisuración. Falta de adherencia entre enlucido y muro.
---	100	No	23	2.0	Fisuración sin pérdida de adherencia.
---	200	No	6	0.8	Muy poca fisuración. Mortero de barro con poca cohesión.
2	---	No	34	2.0	Fisuración sin pérdida de adherencia.
2	50	No	14	0.8	Poca fisuración. Buena adherencia.
2	---	Si	27	1.3	Fisuración apreciable. Proceso de secado más lento.
2	50	Si	10	0.6	Muy poca fisuración. Proceso de secado más lento.

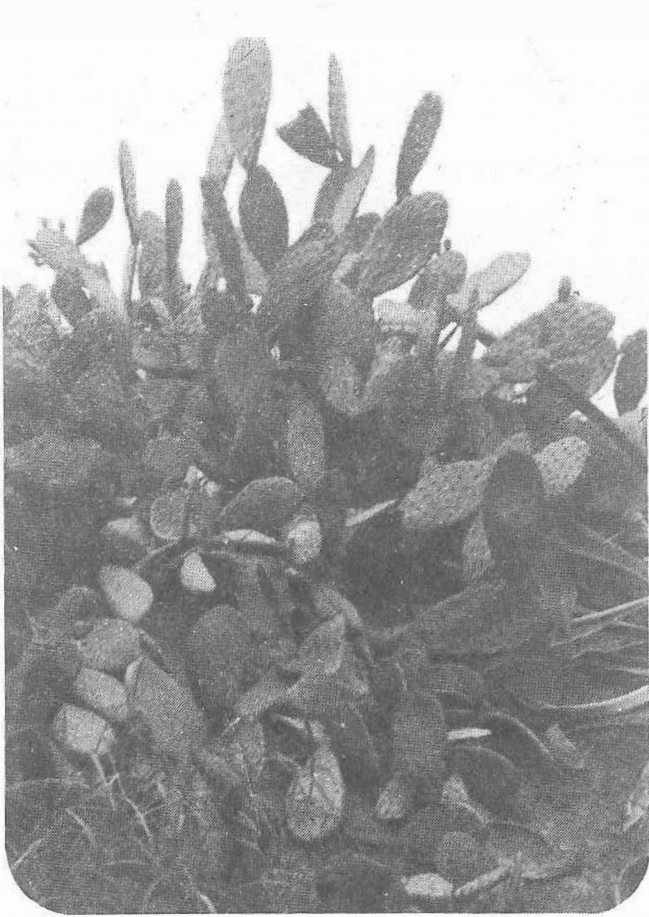


Fig. 1.1 Planta de la Tuna.

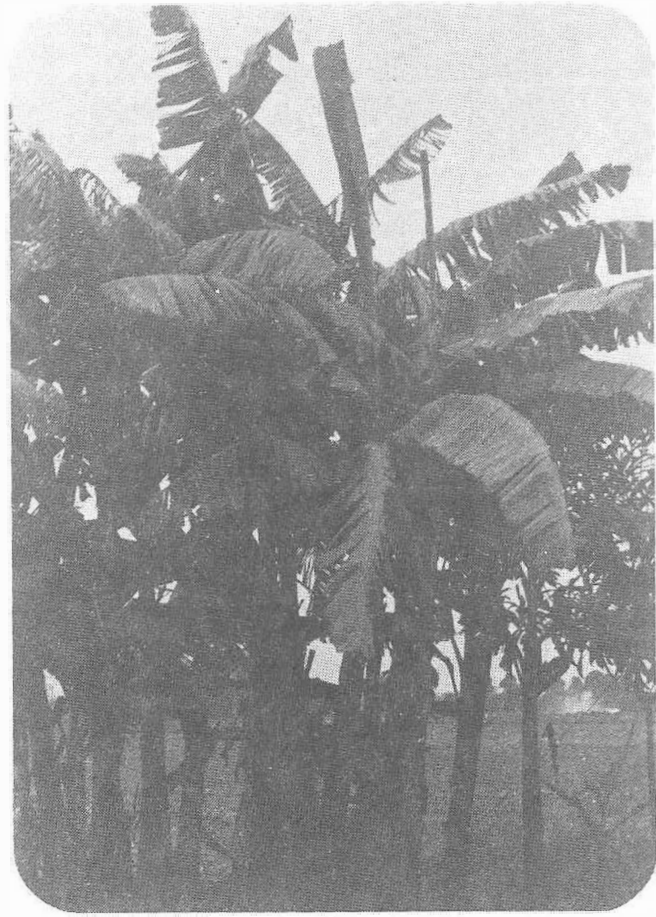


Fig. 1.2 Planta del Plátano

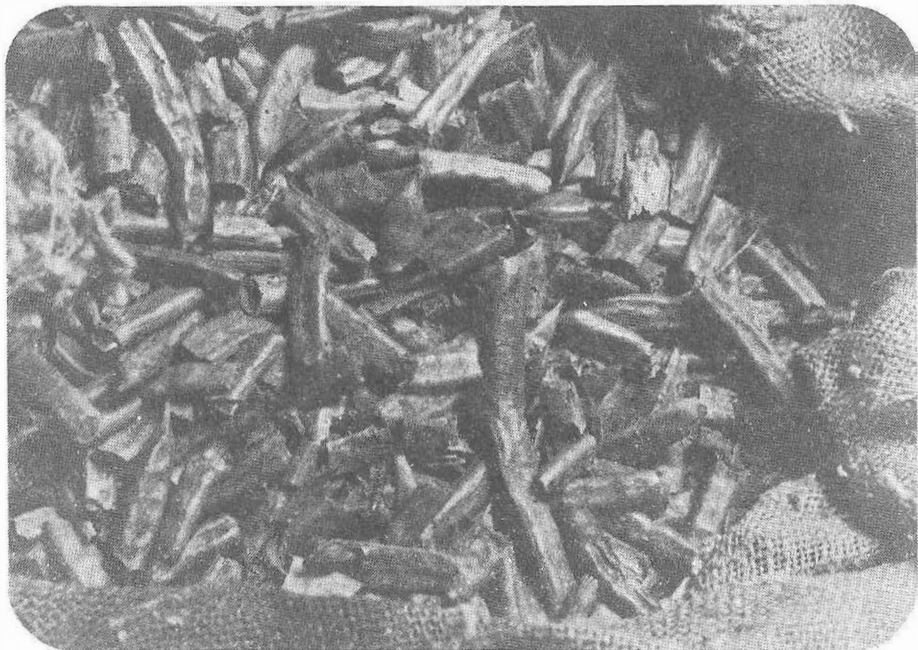


Fig. 1.3 Fruto del Arbol del Algarrobo.



Fig. 1.4 Dispositivo de Ensayo.

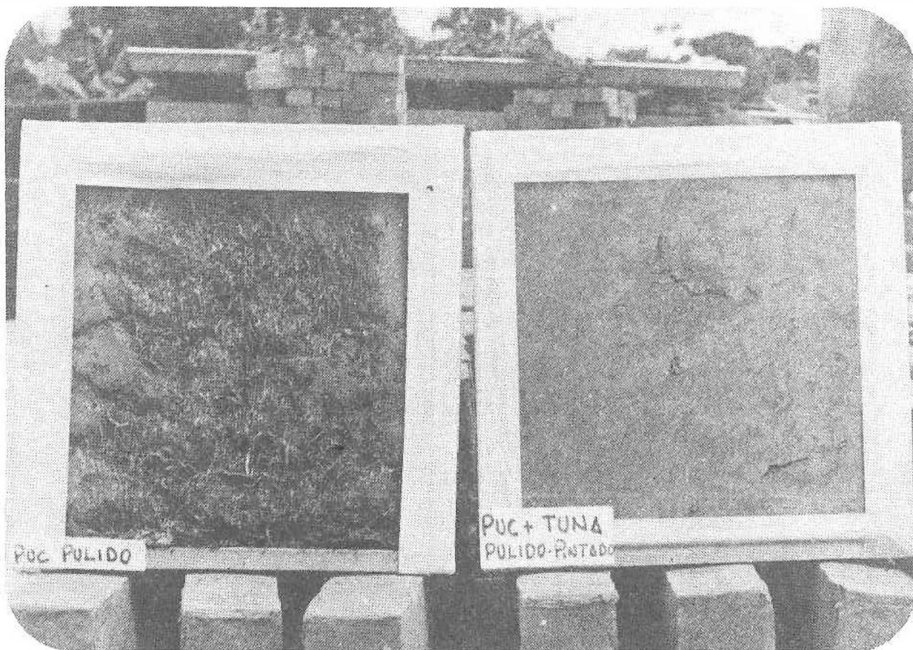
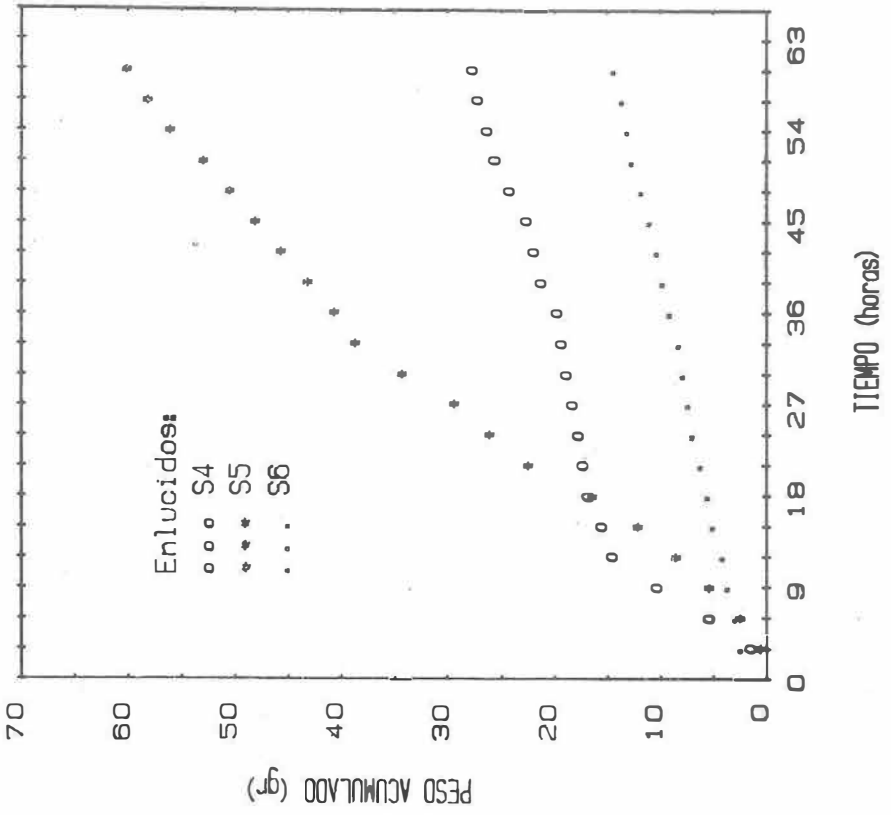
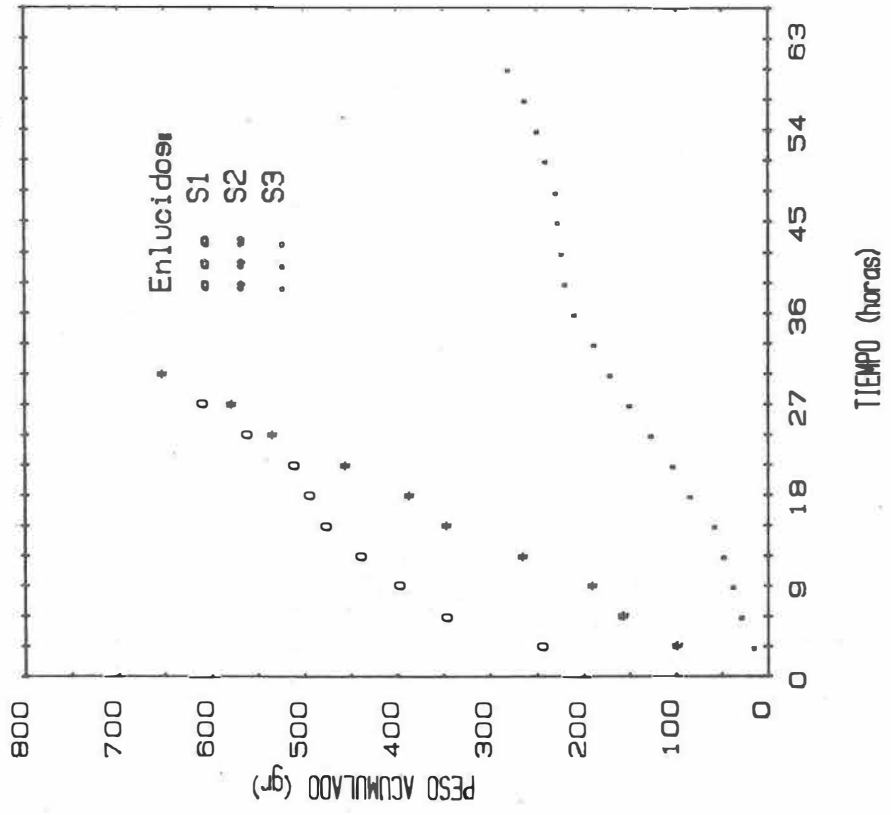


Fig. 1.5 Enlucidos S2 y S4 Después del Ensayo.

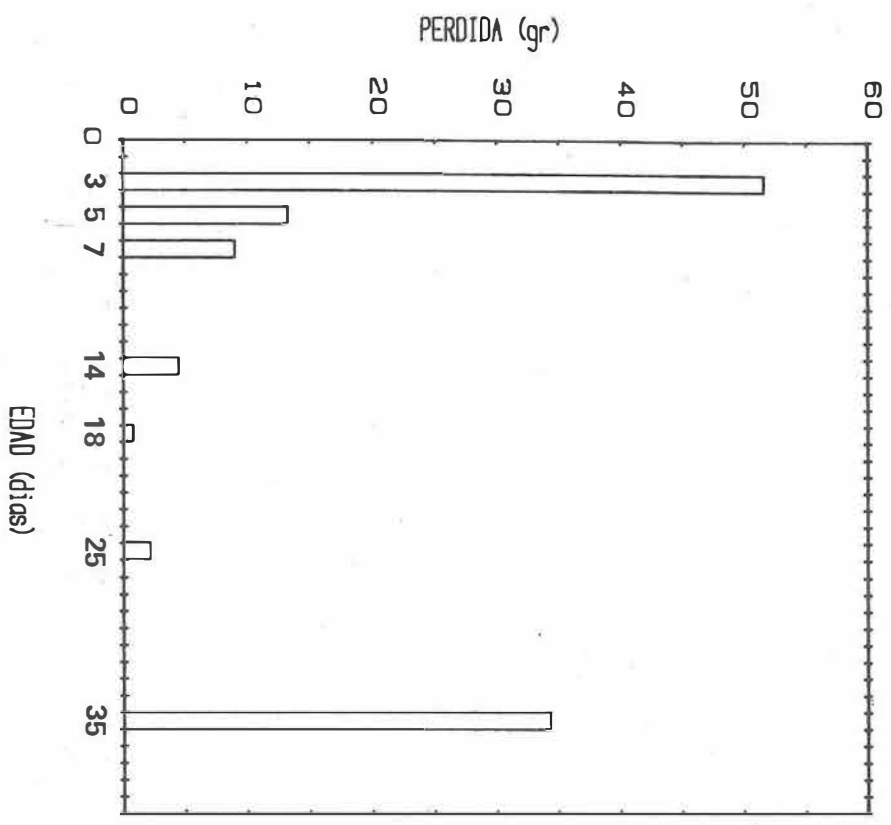


b) Enlucidos S4, S5 y S6

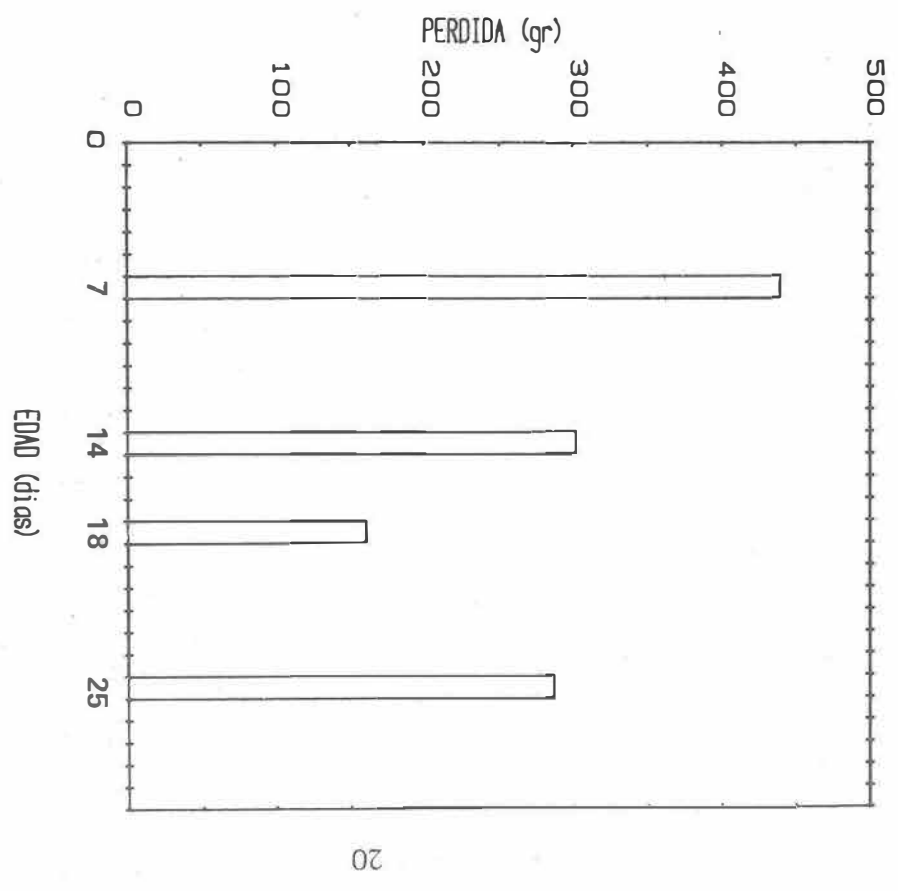


a) Enlucidos S1, S2 y S3

Figura 1.6 Pérdida Acumulada de Material vs. Tiempo (Capas de Enlucido)



a) Ensayo de Capas de Enlucido



b) Ensayo de Enlucidos Aplicados sobre Muretes.

Figura 2.1 Influencia del Tiempo de Remojo en la Eficiencia del Estabilizante.



Fig. 2.2 Pulido de la Superficie del Enlucido.

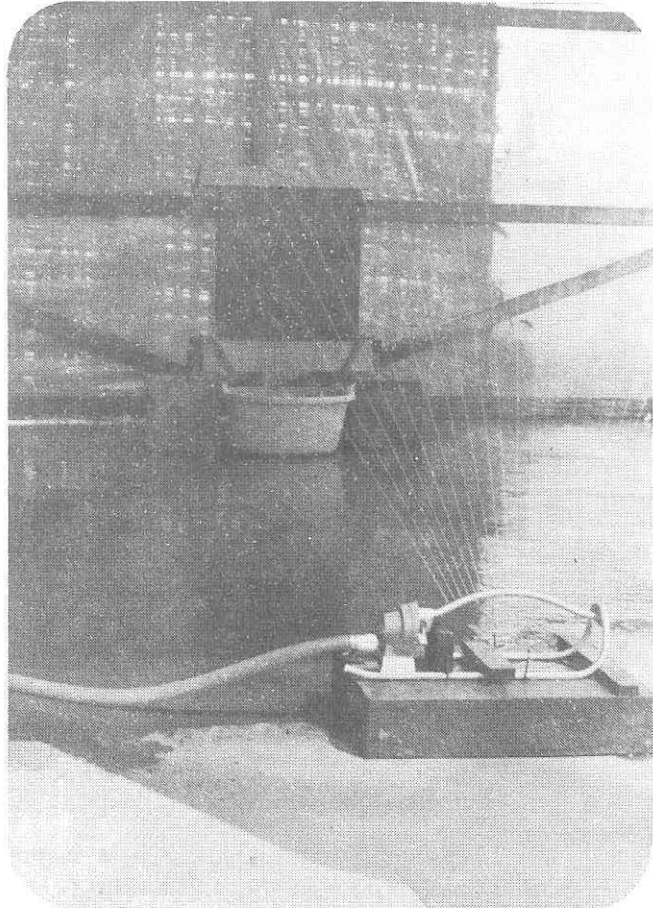


Fig. 3.1 Dispositivo de Ensayo (Enlucidos Aplicados sobre Muretes)

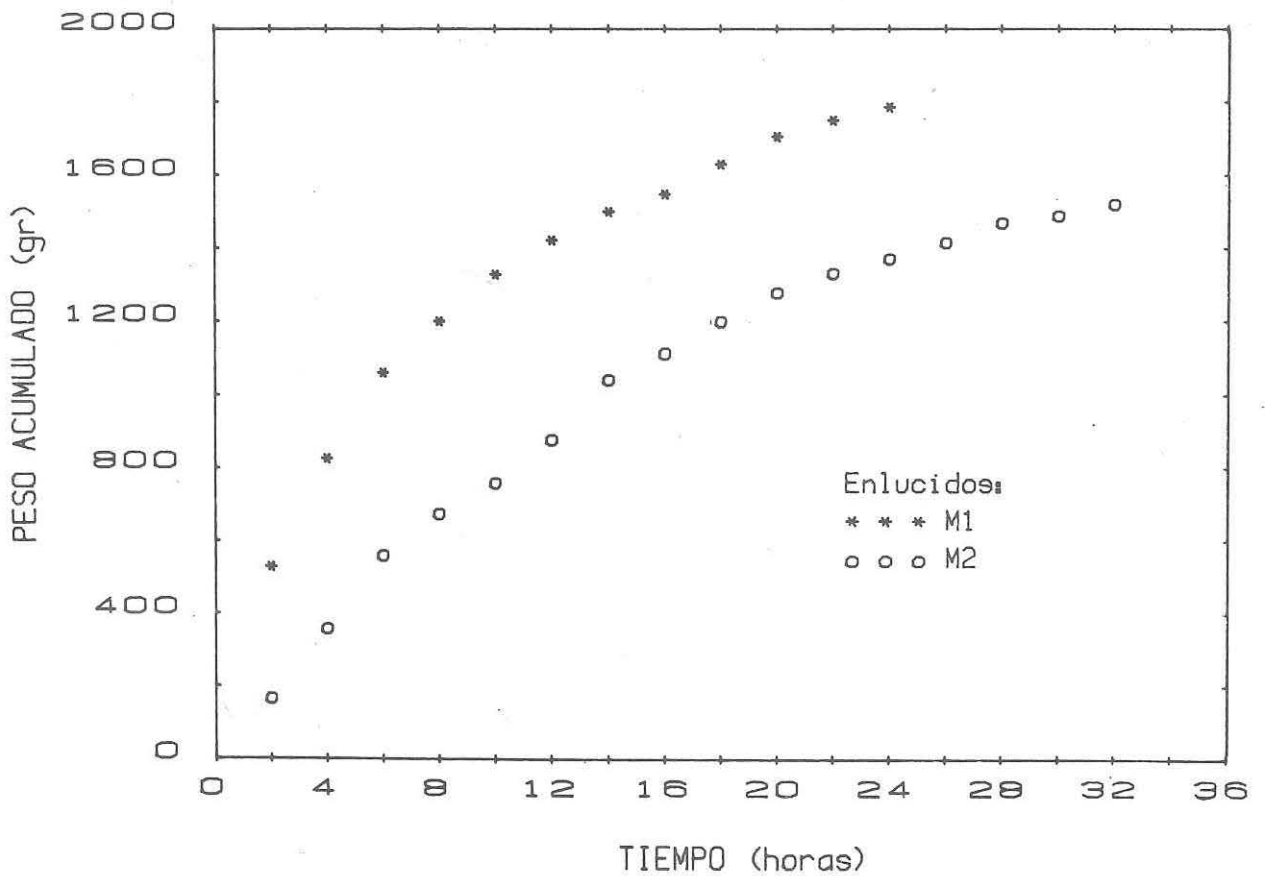


Figura 3.2 Pérdida Acumulada de Material vs. Tiempo (Ensayo de Enlucidos Aplicados sobre Muretes) Enlucidos M1 y M2

APENDICE A

FABRICACION DE ESTABILIZANTES

A.1 Estabilizante de Algarrobo (Ceratonia Silicua)

El procedimiento de fabricación del extracto consistió en cortar las vainas del algarrobo en trozos de aproximadamente 20 mm de longitud y hervirlos en agua. La cantidad de material empleado fue de 100% en peso respecto del peso de agua. Este preparado se hirvió hasta que se consumieron dos tercios de su volumen total. A continuación se extrajeron los restos de las vainas y el preparado se dejó decantar. Se obtuvo un líquido de viscosidad ligeramente mayor a la del agua, de color naranja y sedimentos de color marrón.

A.2 Estabilizante de Plátano (Musa Paradisiaca)

El procedimiento seguido para la preparación del estabilizante de plátano fue el que se menciona en la literatura (5). El tallo y las hojas de una planta, que ya tenía frutos, fueron cortados en trozos muy pequeños (aproximadamente 50 mm). Con estos trozos se llenó las dos terceras partes del volumen de un cilindro de 55 Galones de capacidad y luego se añadió agua hasta llenarlo completamente. Esta mezcla se hirvió en una fogata con leña durante 16 horas (2 días de 8 horas de hervido continuo) sin conseguir que se incrementara la densidad del preparado. A continuación se extrajeron del cilindro los restos de la planta y se dejó decantar el preparado. Se obtuvo un líquido de color verde grisáceo, con viscosidad semejante a la del agua y sedimentos de color oscuro.

Con el objeto de obtener un líquido denso, como el mencionado en la literatura, se decidió probar con una menor cantidad de agua y trozos de plátano. Se utilizó para el hervido un recipiente pequeño y una cocina. Durante el hervido los trozos de planta fueron molidos cada cierto tiempo (aproximadamente cada 15 minutos). El preparado comenzó a consumirse después de una hora de hervido y no se obtuvo un líquido denso.

A.3 Estabilizante de Tuna (Opuntia Ficus Indica)

Para la preparación del estabilizante de tuna se limpiaron las pencas eliminándose las espinas. Se cortaron luego en rebanadas de aproximadamente 30 mm de espesor y se pusieron a remojar en agua en un cilindro de 55 Galones de capacidad. La cantidad de agua utilizada fue de 100% en peso respecto del peso de las pencas de tuna. Se observó que esta cantidad de agua corresponde aproximadamente a la necesaria para cubrir completamente las pencas dentro del cilindro. Las pencas se mantuvieron en remojo durante varios días. El tiempo de remojo es un factor influyente como se menciona en la sección 2.1. Finalmente el preparado fue tamizado a través de una malla de tela metálica para eliminar las cáscaras de las pencas y el material sólido remanente. Se obtuvo un líquido viscoso de consistencia gomosa y sin sedimentos.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Whittemore H., Stang A., Hubbel E., Dill R., "Structural, Heat-Transfer and Water-Permeability Properties of Five Earth-Wall Constructions", Building Materials and Structures, Report BMS 78, US Department of Commerce, National Bureau of Standards, Oct. 1941.
2. Mehrotra S.N., "Non Erodable Mud Plaster on Mud Walls for Rural Houses", Building Research Note, Central Building Research Institute, Roorkee, India, Jun. 1983.
3. OIN, "Programa COBE-Adobe Estabilizado". Universidad Nacional de Ingeniería, Oficina de Investigación y Normalización, Ministerio de Vivienda y Construcción, Lima.
4. Clifton J., "Preservation of Historic Adobe Structures", NBS Technical Note 934, US Department of Commerce, National Bureau of Standards, 1977.
5. Schreckenbach H., Abankwa J., "Construction Technology for a Tropical Developing Country", Department of Architecture, University of Science and Technology, Kumasi, Ghana, German Agency for Technical Cooperation.
6. Vargas J., Bariola J., Blondet M., "Resistencia Sísmica de la Mampostería de Adobe", Pontificia Universidad Católica del Perú, Publicación DI 84-01, Abril 1984.

BIBLIOGRAFIA

1. Clifton R.J., "Preservation of Historic Adobe Structures", NBS Technical Note 934, U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards, 1977.
2. Vargas J., Bariola J., Blondet M., "Resistencia Sísmica de la Mampostería de Adobe", Departamento de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú, Publicación DI 84-01, Abril 1984.
3. McHenry P.G., "Adobe Build it Yourself", The University of Arizona Press, Tucson, Arizona, 1979.
4. Schreckenbach H., Abankwa J., "Construction Technology for a Tropical Developing Country", Department of Architecture, University of Science and Technology, Kumasi, Ghana, Published by the German Agency for Technical Cooperation, 1984.
5. Mehrotra S.N., "Non Erodable Mud Plaster on Mud Walls for Rural Houses", Building Research Note, Central Building Research Institute, Roorkee, India, June 1983.
6. Brown P., Robbins C., Clifton, J., "Factors Affecting the Durability of Adobe Structures", National Bureau of Standards, NBS 78-1495, US Department of Commerce, Washington D.C., July 1978.
7. Vaidynathan R., Ramaswamy S.V., "Strength and Erosion Resistance of Rammed Earth Walls", International Conference on Materials of Construction for Developing Countries, Bangkok, Thailand, August 1978.
8. Wolfskill L., Dunlap W., Gallaway B., "A Review of Principles and Practice", Department of Scientific and Industrial Research, Building Research Station, Tropical Building Studies No. 5, London, 1963.
9. Wolfskill L., Dunlap W., Gallaway B., "Handbook for Building Homes of Earth", Texas Transportation Institute, Bull. No. 21, E-14-63, Texas, 1963.
10. "The Manufacture of Asphalt Emulsion-Stabilized Soil", International Institute of Housing Technology, Vol. 1, No. 1, Fresno, California, May 1977.
11. McHenry P.G., "Adobe and Rammed Earth Buildings, Design and Construction", John Wiley, 1983.
12. Hansen E.L., "The Suitability of Stabilized Soil for Building Construction", Engineering Experimental Station Bulletin Series, No. 333, University of Illinois, Urbana, Illinois, 1941.
13. Hernandez O., Meli R., "Refuerzo de Vivienda Rural en Zonas Sísmicas", Dirección de Prevención, Atención de Emergencias Urbanas, Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, Mexico, 1978.

14. Blondet M., Vargas J., "Investigación sobre Vivienda Rural", Departamento de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú, Ministerio de Vivienda, 1978.
15. "Adobe Estabilizado", Programa COBE, Oficina de Investigación y Normalización, Ministerio de Vivienda y Construcción, Lima 1977.
16. "Indigenous Building Techniques of Peru and their Potential for Improvement to Better Withstand Earthquakes", U.S. Department of State, U.S. Agency for International Development and Oficina de Investigación y Normalización, Ministerio de Vivienda y Construcción.
17. Prakash S., Singh B., "Evaluation of Mud Brick Walls for Rural Housing in Northern India", International Conference on Materials of Construction for Developing Countries. Bangkok, Thailand, August 1978.
18. Moriarty P., "Earth Wall Construction: A Tanzanian Case Study", International Conference on Materials of Construction for Developing Countries, Bangkok, Thailand, August 1978.
19. Khan A.M., "Low Cost Construction Using Cement Stabilized Soil Blocks in Rural Areas of Pakistan", International Conference on Materials of Construction for Developing Countries, Bangkok, Thailand, August 1978.
20. Terzaghi K., Peck R., "Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica", Barcelona, El Ateneo 2da. Edición 1980.
21. Ghavami K., Fang H.Y., (Editors), "Low Cost and Energy Saving Construction Materials", Envo Publishing Company Inc., Rio de Janeiro, Brazil, July 1984.
22. Agarwal A., "Mud, Mud, The Potential of Earth-based Materials for Third World Housing", International Institute for Environment and Development Earthen Publication, London, 1981.
23. McCarthy D., "Essentials of Soil Mechanics and Foundations", Prentice-Hall, 1ra. Ed. 1977.
24. "New Chevron of Soil Stabilizers and Reinforcing Agents", Chevron Chemical Company, Sulfur Products Division, San Francisco.
25. Kimmons G., Ferm R., Matteson R., "Asphalt-Stabilized Building Blocks", Reprinted from I and EC Product Research and Development, American Chemical Society, September 1969.
26. Whittemore H., Stang A., Hubbel E., Dill R., "Building Materials and Structures", National Bureau of Standards, Report BMS 78, US Department of Commerce, October 1941.
27. Razani R., Behpour L., "Some Studies on Improving the Properties of Earth Materials used for Construction of Rural Earth Houses in Seismic Regions of

- Iran”, Department of Civil Engineering, School of Engineering, Pahlavi University, Shiraz, Iran.
28. Sharma J., Bedi S., Jindal B., Sofat G., “Precast Stone Masonry Block Walling Scheme”, Building Research Note, Central Building Research Institute, Roorkee, India, November 1983.
 29. “Bitudobe Brick”, Research Department, Pacific Coast Building. Officials Conference, 1939.
 30. Chiari G., “Treatment of Adobe Friezes in Peru”, 3rd. International Symposium on Mud Brick (Adobe) Preservation, 30 Set. 4 Oct., 1950, Ankara.
 31. INTERTECT, “How to Make a Non-Erodable Mud Plaster” Manual Prepared by J. Marek, University of New Mexico, AID.
 32. Chiari G., “Characterization of Adobe as Building Material-Preservation Techniques”, Simposio Internacional y Curso Taller sobre Conservación del Adobe, Lima, Cuzco, Trujillo, 10-24 Set., 1983.
 33. Alva A., “Notas sobre la Manufactura del Bloque de Adobe para la Restauración de la Arquitectura de Tierra”, Simposio Internacional y Curso Taller sobre Conservación del Adobe. Lima, Cuzco, Trujillo, 10-24 Set., 1983.
 34. Morales R., “La Conservación de Estructuras y Decoraciones de Adobe en Chan Chan”, Simposio Internacional y Curso Taller sobre Conservación del Adobe. Lima, Cuzco, Trujillo, 10-24 Set., 1983.
 35. Torres R., Alva J., “Propiedades Físico-Mecánicas del Adobe no Estabilizado Utilizado en el Perú”, Seminario Latinoamericano de Construcciones de Tierra en Areas Sísmicas, 23-28 Mayo 1983, Lima.
 36. Menéndez J., Esquivel W., “Estabilización del Adobe Tradicional por Granulometría”, Seminario Latinoamericano de Construcciones de Tierra en Areas Sísmicas, 23-28 Mayo 1983, Lima.
 37. Uzomaka O.J., “Performance Characteristics of Plain and Reinforced Soil Blocks”, International Conference on Materials of Construction for Developing Countries, Bangkok, Thailand, 22-24 August 1978.
 38. Samanez R., “La Tierra a través de la Historia”, Simposio Internacional y Curso Taller sobre Conservación del Adobe, Lima, Cuzco, Trujillo, 10-24 Set., 1983.
 39. “Chan Chan y Trujillo en Emergencia”, Simposio Internacional y Curso Taller sobre Conservación del Adobe, Lima, Cuzco, Trujillo, 10-24 Set., 1983.

EDITORIAL ALFA S.A.
Psc. Peñaloza 166
Telf. 234160
Lima - Perú