UNIVERSIDAD DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL PIRHUA

ADOBE ESTABILIZADO CON EXTRACTO DE CABUYA (FURCRAEA ANDINA)

Verónica Benites-Zapata

Piura, junio de 2017

FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento de Ingeniería Civil

Benites, V. (2017). *Adobe estabilizado con extracto de cabuya (Furcraea andina)* (Tesis de licenciatura en Ingeniería Civil). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú.

Esta obra está bajo una licencia
Creative Commons Atribución-
NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú

Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura

U N I V E R S I D A D D E P I U R A

FACULTAD DE INGENIERÍA

“Adobe estabilizado con extracto de cabuya (*Furcraea andina*)”

Tesis para optar el Título de
Ingeniera Civil

Verónica Beatriz Benites Zapata

Asesora: Mgtr. Gaby Ruíz Petrozzi

Piura, Junio 2017

Prólogo

El principal motivo que me llevó a realizar esta investigación es el conjunto de ventajas del adobe como material de construcción: es un material de bajo costo, biodegradable, aislante térmico y de bajo uso de energía de fabricación. Por ello se emplea con mayor frecuencia en zonas rurales en donde la mayor parte de personas poseen escasos recursos y viven en viviendas con características físicas inadecuadas, poniendo en peligro sus vidas.

El adobe al entrar en contacto con agentes externos como la lluvia, el viento o movimientos sísmicos, presenta una durabilidad limitada. Las lluvias intensas que se dan de manera periódica en el Perú, generan inundaciones por el desborde de ríos, provocando que las estructuras de adobe se vean seriamente comprometidas ya que debido a su afinidad con el agua su resistencia mecánica disminuye y culmina en su desintegración.

Es posible añadir materiales naturales e industriales para incrementar su resistencia mecánica y permeabilidad, en lo que se conoce como adobe estabilizado. En la presente investigación se decidió emplear un estabilizante natural propio de la zona, ya que lo que se busca es incrementar la resistencia al agua a través de un polímero natural que pueda ser producido localmente, sea económico y no resulte dañino al medio ambiente.

El uso de la Cabuya (*Furcraea andina*), especie muy común en Sapillica, como polímero estabilizador de adobe pretende mejorar la resistencia mecánica y al agua, dando la posibilidad de generar viviendas resistentes ante agentes externos como las lluvias o inundaciones. Un adobe estabilizado con un polímero natural de carácter local reduce los gastos de procesamiento y de transporte ocasionado por el envío de materias primas, además es un material templado, fácil de elaborar, manejable y puede volver a utilizarse.

Este material permite hacer ingeniería sustentable, y no requiere de conocimientos sofisticados para su elaboración por lo que facilita la autoconstrucción de viviendas, representando un ahorro económico con relación al ladrillo de barro cocido, el cual requiere de combustible para su proceso de cocción. Esto resultaría beneficioso para aquellas personas que viven en condiciones precarias y presentan escasos recursos para vivir en una vivienda en buenas condiciones.

Resumen

La presente investigación aborda la estabilización del adobe para mejorar su desempeño como material de construcción. El objetivo es evaluar la factibilidad de un polímero natural local (Cabuya o *Furcraea andina*) como estabilizador del adobe tradicional y las condiciones necesarias para garantizar su acción estabilizante. Se evaluó la preparación del polímero estabilizante antes de su incorporación al adobe con un proceso de maceración que se prolonga entre 5 y 20 días, fijándose tres tiempos de maceración distintos y evaluándose para cada uno de ellos el desempeño del adobe estabilizado en dos aspectos: la resistencia mecánica a través de resistencia a la compresión y a la flexión; y la resistencia al agua mediante la prueba del chorro de agua y el ensayo de inmersión. Los resultados demuestran que el extracto de Cabuya necesita un tiempo mínimo de maceración de 5 días y un óptimo de 10 para activar sus propiedades estabilizantes y lograr mejorar significativamente la resistencia al agua del adobe. La resistencia a la compresión y a la flexión mejoran en un 9.6% y 133.7% respectivamente, mientras que la resistencia a la acción del agua mejora notablemente, haciéndolo competitivo con otros materiales estabilizantes como la cal o el cemento.

Índice

Prólogo…….....III
Resumen……...VI
Índice general……..VII
Introducción……...1
Capítulo 1. Marco teórico y conceptual……5
1.1. Definición de adobe…….5
1.1.1. Composición y dimensiones del adobe según otros autores…….6
1.2. Componentes del adobe……7
1.2.1. Suelo…….7
1.3. Adobe estabilizado……..13
1.3.1. Tipos de estabilización……15
1.3.2. Estabilización del adobe con polímeros……..16
1.3.3. Consideraciones finales……...19
Capítulo 2. Elaboración del adobe en campo: Experiencia en la zona de Sapillica……21
2.1. Elección del suelo……...21
2.2. Construcción del tendal……..22
2.3. Fabricación de moldes……....23
2.4. Preparación del barro para adobe……23
2.5. Moldeo de adobes……...26
2.6. Secado y apilado de adobes……27
2.7. Consideraciones finales……..28
Capítulo 3. Materiales y métodos……... 31
3.1.Suelo……...31
3.1.1. Granulometría…….31
3.1.2. Límites de Atterberg……...32
3.2. Cáscara de arroz……..32
3.3. Cabuya (*Furcraea andina*)…….33

3.4. Preparación de especímenes……...35
3.5. Ensayos……...40
3.5.1. Resistencia a la compresión……40
3.5.2. Resistencia a la flexión……...41
3.5.3. Prueba de chorro de agua……41
3.5.4. Ensayo de inmersión……...43
Capítulo 4. Análisis y discusión de resultados……45
4.1. Propiedades mecánicas……...45
4.1.1. Resistencia a la compresión……45
4.1.2. Resistencia a la flexión……...48
4.2. Resistencia al agua……..51
4.2.1. Prueba de chorro de agua……51
4.2.2. Ensayo de inmersión……...53
Conclusiones y recomendaciones……57
Bibliografía……...59
Anexos……..65
Anexo A: Resultados de los ensayos de laboratorio……65
Anexo B: Registro fotográfico……71

Introducción

La construcción con adobes ha sido utilizada por siglos en Latinoamérica y en gran parte del mundo, debido a su producción de bajo costo, bajo uso de energía para su fabricación, su aporte en la reducción de la contaminación por las pequeñas emisiones de CO_2 que produce, su buen desempeño como aislamiento acústico; como material inerte y degradable bajo estabilización natural, no requiere de mucha tecnología para su producción y reúne buenas características como aislante térmico (Algara et al., 2012).

Sin embargo, debido a la intervención de agentes externos como la lluvia, viento y sismos, además de la naturaleza propia de los suelos con los que se elaboran, tienen una durabilidad muy limitada; su interacción con el agua reduce la resistencia mecánica y culmina en su desintegración. Así, la durabilidad de las estructuras construidas con adobe se ve seriamente comprometida. En el Perú debido a su diversidad climática, se ve afectado de manera periódica por lluvias intensas que generan inundaciones por el desborde de los ríos, por lo que el uso y aplicación del adobe tradicional tiene serias limitaciones de aplicación.

Estas limitaciones y el desarrollo del concreto han relegado las técnicas constructivas con el material de tierra ocasionando que esta técnica se vaya perdiendo. No obstante merece la pena recuperarla porque la construcción con tierra sigue siendo una técnica ampliamente usada y ambientalmente sustentable.

Se estima que alrededor del 50 % de la población en los países en desarrollo vive en casas de tierra. Este tipo de estructura es común en los países en desarrollo como Afganistán, Bangladesh, Guatemala, India, Irán, Pakistán, Perú y Turquía. Bajo condiciones climáticas favorables (en climas de extrema sequedad), estas estructuras de tierra pueden ser extremadamente durables (Islam y Iwashita, 2006).

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2007) se sabe que el 32.5% de vivienda en la región de Piura están hechas de adobe o tapial. Es común que la mayor parte de estas viviendas se encuentran ubicadas en zonas rurales en donde habita el 25.8% de la población piurana. Por otra parte, el censo muestra una incidencia de pobreza total de 45% en el departamento de Piura, siendo el 13.3% de pobreza extrema. Además el 21.8% de la población piurana vive en viviendas con características físicas inadecuadas, las cuales ponen en riesgo sus vidas, mientras que el 3.5% de la población total en Piura no cuenta con una vivienda.

De esta forma y respaldado por estas cifras, se resalta la importancia e impacto de la presente investigación, debido a que su alcance abarcaría a gran parte de la población rural

de escasos recursos que posee viviendas hechas de adobes y que por su ubicación geográfica están principalmente afectadas por inundaciones del tipo fluvial.

El adobe es un material ideal para construir, es templado, manejable y se puede cambiar y volver a utilizar; es un material duro y áspero que resiste casi cualquier tipo de mal uso. La principal ventaja es que es fácil de elaborar casi en cualquier lugar del mundo donde se pueda construir, los materiales básicos para el adobe se pueden encontrar en cualquier lugar donde haya tierra.

La producción de este material es hecha a mano, casi exclusivamente de recursos locales en cuanto a mano de obra o materia prima. Las técnicas elementales de producción requieren de tan solo una inversión sumamente reducida en equipo industrial si es que se requiere.

Una de las ventajas del adobe es que no requiere del uso del combustible, por lo que representa un ahorro económico con relación al ladrillo de barro cocido, puesto que este material no requiere de un proceso de cocción a diferencia del ladrillo (Ríos, 2010). Además presenta gran inercia térmica, aportando una baja conductividad y una alta capacidad térmica de almacenamiento; es una importante fuente de regulación del frío y calor gracias a la alta absorción de humedad (evita fenómenos de condensación y moho); presenta aislamiento acústico ya que transmite mal las vibraciones sonoras y tiene una buena resistencia al fuego y a los ataques de insectos y parásitos (Amorós, 2011).

Además las técnicas que emplean este tipo de materiales son sencillas y no requieren conocimientos sofisticados, por lo que la gente nativa puede emplearlos, facilitando así la autoconstrucción de sus propias viviendas. Asimismo es un material muy respetuoso del medio ambiente y no produce CO_2 durante su producción y aplicación. Con estas propiedades, hoy en día, el adobe está ganando importancia nuevamente en los países desarrollados.

Sin embargo el adobe tradicional, además de sus prestaciones mecánicas limitadas, requiere un gran número de obreros para la elaboración del mismo, también requiere de áreas de secado muy extensa, así como de tiempos de secado variables en relación al clima.

El comportamiento del adobe está ligado a las condiciones y constitución del suelo con que éste se elabora. Un suelo excesivamente arcilloso exigirá la incorporación de una mayor proporción de otros componentes para balancear su capacidad de contracción-expansión que puede conducir a fisuras y deformaciones (Ríos, 2010).

La alternativa de utilizar materiales propios de la zona, como lo es el adobe estabilizado con un aglomerante natural para muros de carga en viviendas, presenta la posibilidad de reducir el costo de la edificación, ya que el material con el que se fabrica se encuentra en abundancia, lo que evitaría el pago de transporte. A ello hay que añadir que los residuos producidos por estos materiales no son contaminantes ya que por medio de un proceso natural de degradación se van reincorporando al medio ambiente sin ninguna agresión para éste.

Para una obra de construcción de cierta importancia, el adobe estabilizado puede ser producido localmente, lo que permite eliminar gastos de transporte ocasionados por el envío de las materias primas.

El hecho de que una vivienda sea de adobe y éste sea un material muy sencillo o con poco costo no tiene que limitar la posibilidad de que la vivienda sea digna y segura. Se puede

tener una vivienda de adobe que sea segura frente a los sismos (la norma E080 así lo garantiza) pero la durabilidad sí requiere aún más investigación.

Tanto en el Perú, y en varios otros países, se ha desarrollado mucha investigación orientada a plantear sistemas constructivos que aseguren la durabilidad de estas construcciones y su resistencia a las acciones a las que están expuestas. En otros países muchos investigadores han evaluado la durabilidad de adobes estabilizados con diversos aglomerantes inorgánicos como cemento, cal, yeso, asfalto; mostrando excelentes resultados para la construcción en áreas propensas a inundaciones y mejores propiedades resistentes frente a la humedad (Alam et al., 2014; Ying Yu Chen, 2009; Rodríguez y Saroza, 2005). Adicionalmente existen numerosas investigaciones que exploran la mejora de la durabilidad en el adobe con polímeros naturales.

Vargas et al. (1986) evaluaron el desempeño de la tierra estabilizada para enlucidos frente a la acción erosiva de una lluvia simulada, utilizando hojas de tuna, hojas y tallos del plátano y vainas del fruto del algarrobo como material estabilizante, encontrando que la tuna tiene mejor comportamiento de protección del enlucido frente al agua y que el tiempo de remojo es el factor crítico para lograr un buen desempeño.

Asimismo Sanchez (2010), realizó estudios sobre la incorporación de microfibras de papel, goma de tuna, clara de huevo y vaselina en grouts de barro, comprobando que las microfibras logran disminuir significativamente la fisuración, mejorando la adherencia o resistencia del grout; la goma de tuna mejora la adherencia y la clara de huevo aumenta la resistencia. Finalmente la vaselina no fue útil debido a que su adición en el grout incrementa la fisuración y deja manchas en el barro seco.

También se ha probado la estabilización de adobe con un polímero natural llamado alginato, obteniendo una mayor resistencia a la compresión (Galán et al., 2010). En general, se puede confirmar que la incorporación de fibras naturales y artificiales no tiene efecto en el incremento de resistencia a la compresión o tracción, sino en las tasas de contracción que disminuyen significativamente (Galán et al., 2010, Alam et al., 2014, Niño et al., 2012; Yetgin et al., 2006) y que ciertos polímeros naturales sí contribuyen a aumentar la resistencia a la compresión y la resistencia a la erosión.

Además, el hecho de usar un polímero natural y de carácter local permite reducir gastos de procesamiento y de transporte ocasionado por el envío de materias primas.

Esta investigación tiene como objetivo evaluar el uso del extracto de Cabuya (*Furcraea andina*), especie muy común en Sapillica, como polímero natural estabilizador de adobe compactado y su impacto en su resistencia mecánica y al agua, así como encontrar el tiempo mínimo en el cual estas propiedades se verán mejoradas por la acción del polímero. El extracto de Cabuya se considera un polímero ya que al igual que el caucho natural o la celulosa es un compuesto natural de origen vegetal o sustancia química que resulta de un proceso de polimerización y consiste en un aguamiel extraída a través de la perforación de un orifico en el tronco de la planta.

Capítulo 1
Marco teórico y conceptual

1.1. Definición de adobe

El adobe es una palabra con varios significados, el primero y más común es "ladrillo de lodo secado al sol", el segundo, "formación de lodo", y el tercero es simplemente "ladrillos de lodo". El término *adobe* viene del egipcio "thobe" (ladrillo) traducido en árabe "ottob", convertida en "adobe" en español y algunas veces llamado "toub" en francés. Los ladrillos de adobe, quizá son el material manufacturado más antiguo en el área de la construcción, la palabra por sí misma es española, pero proviene de varias palabras del árabe que significan: mezclar o liso sin asperezas (De la Peña, 1997).

La primera evidencia escrita sobre el adobe la proporciona Vitruvio en su tratado los diez libros de la arquitectura (Ramírez, 2011). Según Doat et al. (1991), Vitruvio clasifica a los ladrillos como “de lidia” con un tamaño de un pie y medio de largo por un pie de ancho, y recomendaba que no se usaran hasta después de dos años de secado.

Esta técnica usada desde tiempos remotos pervive y consiste en la fabricación a partir de un molde, de bloques de tierra arenoso-arcillosa, con dimensiones que varían según el lugar, pero su acomodo permite construir diferentes tipos de muros.

Según la norma E.080 (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2000) el adobe se define como un bloque macizo de tierra sin cocer, el cual puede contener paja u otro material que mejore su estabilidad frente a agentes externos. Se indica un adobe macizo y solo se permite que tengan perforaciones perpendiculares a su cara de asiento (cara mayor) que no representen más del 12% del área bruta. Además, se indica que deberá estar libre de materias extrañas, grietas, rajaduras u otros defectos que puedan degradar su resistencia o durabilidad. Se recomiendan adobes de planta cuadrada o rectangular y en el caso de encuentros con ángulos diferentes de 90°, de formas especiales.

Vélez (2010) por su parte define al adobe como un ladrillo hecho con barro, con un peso promedio de unos 14 kilos.

Gendrop (2001) por el contrario, ha “definido” al adobe de varias maneras, entre las más comunes: (1) “tierra a la que se desposee minuciosamente de todo tipo de impurezas”; (2) “masa de barro moldeada en forma de ladrillo y secada al sol”; (3)

"ladrillo formado por una masa de tierra arcillosa, agua y algún aditivo, secada al sol y al aire".

Para Gendrop (2001), los términos *tierra, masa de barro y tierra arcillosa* resultan ambiguos e imprecisos para la ciencia del suelo. Así, en el mejor de los casos el concepto *tierra* puede interpretarse como la fracción inorgánica desmenuzable presente en un suelo. Sin embargo, en el caso de los *conceptos masa de barro* y principalmente *masa de tierra arcillosa*, su significado es más compleja e incierta, generando confusiones significativas. En general, cualquier edificio que emplea el suelo o el barro como material primario puede ser considerado adobe (Gendrop, 2001).

Saroza et al. (2008) llama adobe a aquel material de construcción fabricado en forma de ladrillo y elaborado en base al suelo, constituido éste por unas adecuadas proporciones de arena, limo, arcilla, fibra orgánica y agua. Smith y Austin (1989), exponen que el adobe se utiliza generalmente para describir diversos materiales y técnicas de construcción con tierra y estructuras construidas a partir de ellos. Muy a menudo el término ha llegado a referirse al adobe como secado al sol, el material de la tierra, pero el adobe también se puede aplicar a las estructuras de troncos o ramas pegadas con adobe, e incluso a construcciones de tierra apisonada.

De acuerdo con Ericksen y Ardón (2003), esta ausencia de unificación de criterios en cuanto a la terminología ha propiciado un limitado conocimiento acerca de varias características específicas del adobe, como son: (i) composición cuantitativa de la pasta; (ii) tipo de materia orgánica adicionada; (iii) tipos de suelos o sedimentos utilizados para su elaboración; (iv) técnica constructiva; y (v) tecnología específica de elaboración en la época prehispánica.

Para efectos de la presente investigación, se usará la definición de la norma E-080 ya que ésta es la más detallada.

1.1.1. Gradación y dimensiones del adobe según diferentes autores

Dada que la diversidad de definiciones, el tipo de suelo, su composición y dimensiones de las unidades de adobe son también variables. Para su fabricación se utilizan moldes de distintas formas, tamaños, y materiales; el molde no necesariamente tiene que ser rectangular, pues existen formas variadas dependiendo del lugar de fabricación: los hay cónicos, cilíndricos, trapezoidales, etc. (Ramírez, 2011), tal como se ve en la Figura 1. Cada una de estas formas se empleó en civilizaciones antiguas como Babilonia, Grecia, Egipto, etc., en donde cada uno de ellas fue evolucionando a través de pruebas durante siglos (Doat et al., 1991).

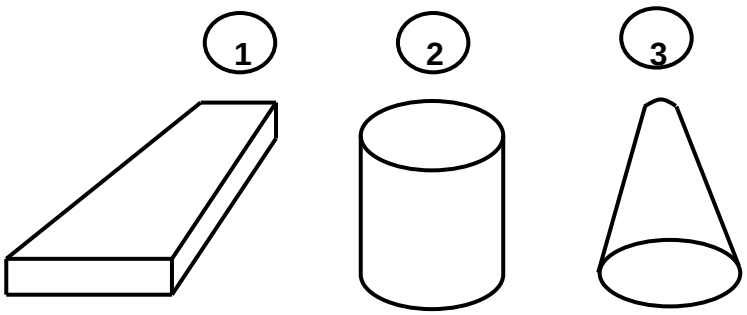


Figura 1. Otras formas existentes para el adobe: 1) Trapezoidales. 2) Cilíndricos. 3) Cónicos (Fuente: Elaboración propia).

Por facilidades constructivas y de comportamiento mecánico se recomienda la forma cuadrada o rectangular del adobe y una relación longitud / altura tal, que garantice su traslape tanto en la dirección vertical como horizontal. Bajo estas consideraciones, las dimensiones para esta forma prismática tendrán en cuenta que el largo no debe ser mayor que el doble de su ancho y la relación entre el largo y la altura sea de 4 a 1, tal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Dimensiones del adobe según diferentes fuentes de información.

Autor	Dimensiones del adobe
Norma E. 080	Adobes rectangulares. El largo aproximadamente el doble del ancho. La relación entre el largo y la altura debe ser del orden de 4 a 1 (en lo posible la altura debe ser mayor a 8 cm).
Vélez (2010)	Rectangulares, 25 x 35 x 10 cm
Morales et al. (1993)	La longitud no debe ser mayor que el doble de su ancho más el espesor de una junta de pega; sugiere que tanto la longitud como el ancho tengan una dimensión máxima de 40 cm, una altura máxima de 10cm en lo posible y que la relación entre la longitud y la altura sea aproximadamente de 4 a 1 para permitir un traslape horizontal en proporción 2 a 1, lo cual brinda seguridad ante el efecto de corte producido por los sismos. Por facilidades constructivas y de comportamiento mecánico se recomienda la forma cuadrada del adobe y las dimensiones más adecuadas para su fabricación son 38 x 38 x 8 cm.

Fuente: Elaboración propia.

Se puede concluir entonces que los adobes serán rectangulares, cuya longitud no sobrepase el doble del ancho, con una altura mayor a 8 cm y con anchos y largos mínimos de 15 y 30 cm respectivamente.

1.2. Componentes del adobe

1.2.1. Suelo

El suelo es la materia prima para la elaboración del bloque de adobe y mortero de barro, está compuesto por tres fases: mineral, gaseosa y líquida. La fase mineral la conforman partículas de diferentes tamaños como grava, arena, limo y arcilla. Las fases restantes, conformadas por gases y líquidos, ocupan los espacios vacíos entre las partículas sólidas (Sánchez, 2010).

Es de suma importancia el conocer la tierra que ha de ocuparse para elaborar los bloques de adobe. Como se mencionó anteriormente hay una diversidad de definiciones para el adobe y por tanto, de su composición. Para el caso de la tierra o suelo debe de ser limpia o libre de impurezas, y estar compuesta por una adecuada cantidad de arcilla y arena, la cual puede variar según la región en donde se elabore el adobe. La primera actúa como el material activo, al mojarse se inserta entre la arena y la grava y su función es aglutinar la mezcla, análogamente a lo que hace el cemento en

el concreto. El segundo es un material inerte que no se modifica al mojarse y su función es darle estructura y resistencia a la mezcla. La adición de arena debe ser cuidadosa, pues aumenta la porosidad, disminuye la cohesión y se pierden propiedades mecánicas de la mezcla.

Al fabricar los bloques se debe tener cuidado en la dosificación de estos materiales. Generalmente, los adobes rajados son causados por la presencia de mucha arcilla o debido a que no están protegidos contra el sol o el viento. Por ello se suele adicionar arena gruesa a la mezcla para balancear su mayor capacidad de contracción-expansión que puede conducir a fisuras y deformaciones (Ríos, 2010).

Existe una gran discrepancia de criterios a la hora de proponer una composición adecuada del adobe en cuanto a los porcentajes de arena y arcilla. Así por ejemplo, en Perú, es frecuente utilizar suelos que contengan entre un 55 y un 75% de arena, y entre un 25 y un 45% de arcilla (Saroza et al., 2008). En México se aconseja que el suelo presente entre 45 y 70% de arena, y entre 20 y 40% de arcilla (Saroza et al., 2008). Del mismo modo, en Chile, sugieren emplear suelos con un contenido de finos entre 35 y 45%, y un contenido de arena entre el 55 y el 65% (Barrios et al., 1986). Finalmente Ducman et al. (2004), han sugerido un contenido de arcilla del 30%, sin decir nada respecto al contenido de arena.

En la Tabla 2 se observa que a través del tiempo se ha presentado un aumento del contenido de arena en el adobe, esto debido a su capacidad de balancear la contracción-expansión del suelo. Asimismo el contenido de arcilla varía de acuerdo a la región geográfica, es así que el contenido de arcilla en América del sur se encuentra entre el 10y 45%, en Centro América mayor a 15%, en América del norte entre el 15 y 30% y en Europa entre el 10 y 45%. Esto podría deberse a los diferentes climas que existen en estas partes del mundo y el tipo de suelo disponible.

Se puede observar que para obtener una composición adecuada del adobe, los contenidos de arcilla y arena varían en combinaciones muy amplias (el contenido de arcilla y limo debe estar comprendido entre 10 y 45% mientras que el contenido de arena de estar entre 55 y 80%), pero siempre predomina el contenido de arena respecto a los limos y arcillas. En el caso del material orgánico, este debe evitarse lo más posible, siendo recomendable un máximo del 3%, debido a su baja resistencia y poca duración ante la humedad.

Tabla 2. Composición de adobe según diferentes fuentes de información.

Autor/Fuente	Arcilla	Limo	Arena	M.O
Bush (1984, USA)	20%	15%	65%	--
Bengtsson y Whitaker (1986, Roma)	10 – 30%	10 – 40 %	40 – 80%	0 – 0.3%
Barrios et al. (1986, España)	35 – 45%		55 – 65%	--
Smith et al. (1989, USA)	15 – 45%		55 – 85%	--
Doat et al. (1991, Francia)	15 – 18%	10 – 28%	55 – 75%	< 3%
Morales et al. (1993, Perú)	25 – 45%		55 - 75%	--
Norma E. 080 (2000, Perú))	10 – 20%	15 – 25%	55 – 70%	0%
Ducman et al. (2004, USA)	30%	--	--	--
Aguilar (2008, México)	20 – 30%	--	60%	--
Saroza et al. (2008, Cuba)	> 15%	--	--	--
Vélez (2010, Venezuela)	20%	--	80%	--

Fuente: Elaboración propia.

Los suelos con sales solubles atraen la humedad, estas además presentan la propiedad de “migrar” en el interior de los materiales al entrar en contacto con el agua y provocar la aparición de eflorescencias en las superficies así como el debilitamiento de las estructuras, por lo que deben ser evitadas.

No todas las tierras o suelos son apropiados para la elaboración de adobe. En la naturaleza por lo general los diferentes suelos se encuentran mezclados en diferentes proporciones, es por ello que es necesario realizar pruebas preliminares a la materia prima antes de iniciar la fabricación de adobe.

Los suelos inapropiados por exceso o defecto de uno de los suelos pueden mejorarse mezclándolos con otros hasta obtener el porcentaje apropiado. Esta mezcla debe hacerse cuidadosamente con la tierra completamente seca a fin de obtener una masa homogénea.

1.2.1.1. La arcilla

La arcilla es el resultado del paso del tiempo sobre los minerales que se formaron hace millones de años y que le confirieron la composición química que posee actualmente. Las arcillas son constituyentes esenciales de gran parte de los suelos y sedimentos debido a que son en su mayor parte productos finales de la meteorización de los silicatos que, formados a mayores presiones y temperaturas en el medio exógeno se hidrolizan (Ríos, 2010).

Son partículas angulosas muy finas (< 0,002 mm) compuestas por agregados moleculares relativamente estables, producto final de la descomposición y con propiedades físicas y composición química diferentes a las gravas, arenas y limos. Sin embargo, existen partículas dentro de ese rango de tamaño que no son minerales arcillosos. Por tanto, las partículas inferiores a los 2 µm deben ser denominadas "fracción arcillosa" y no solo arcillas (Lambe y Whitman 1995).

Químicamente, las arcillas se pueden describir principalmente como filosilicatos alumínicos hidratados y con forma laminar, con una superficie específica muy superior al resto de partículas redondeadas o angulares. La arcilla actúa como un aglomerante en el suelo mientras que el resto de partículas actúa como relleno.

La arcilla está constituida por cristales (micelas) que debido a su forma plana y lisa, presentan la cualidad de desplazarse fácilmente entre el resto de las partículas y establecer relaciones electrostáticas que las ligan en conjunto (Warren, 1999). Este desplazamiento depende de su contacto con el agua y a nivel macroscópico se evidencia en la transformación del suelo en un material plástico, coloidal o hasta líquido, que recupera su estado sólido original al secar (Warren, 1999).

Las distintas aplicaciones de las arcillas radican principalmente en sus propiedades físico-químicas que se derivan principalmente de su pequeño tamaño de partícula (inferior a 2 µm), su morfología laminar (filosilicatos) y las sustituciones isomórficas que dan lugar a la aparición de carga eléctrica en las láminas y a la presencia de cationes débilmente ligados en el espacio interlaminar (Ríos, 2010).

Como consecuencia, las arcillas presentan un valor elevado de área superficial y una gran cantidad de superficie activa con enlaces no saturados. Es así que puede interactuar con diversas sustancias, en especial con compuestos polares, por lo que tienen un comportamiento plástico en mezclas arcilla-agua con elevada proporción sólido/líquido (Ríos, 2010).

Por otra parte, la existencia de carga eléctrica en las láminas se compensa con la entrada en el espacio interlaminar de cationes débilmente ligados y con estado variable de hidratación, que pueden ser intercambiados fácilmente mediante la puesta en contacto de la arcilla con una solución saturada en otros cationes. A esta propiedad se le conoce como capacidad de intercambio catiónico.

Sin embargo no todas las arcillas presentan un comportamiento similar pues, de acuerdo a la dimensión de la separación de sus micelas y de la serie de elementos químicos que las conforman, cambia su grado de actividad. Haciendo posible clasificar los tipos de arcillas a partir de rangos que van desde las que tienen un comportamiento muy inestable, en donde su adherencia e inestabilidad de volumen al hidratarse puede ser muy fuerte, hasta el límite opuesto, formado por aquellas que resultan casi inertes y, por lo tanto, mucho más estables en contacto con el agua (Guerrero, 2001).

Dentro del primer grupo se encuentran las arcillas conocidas como expansivas que en general pertenecen al grupo de las esmectitas, tales como las montmorillonitas, nontronitas y saponitas, así como sus lodos derivados conocidos como bentonitas y que tienen la particularidad de permitir la entrada de mucha agua entre las láminas de su estructura, mostrando potentes procesos de hinchamiento que suelen tener efectos muy nocivos en la construcción (Guerrero, 2001). Por otra parte las caolinitas son relativamente estables en presencia del agua, ya que no permite la penetración de

moléculas de agua entre las láminas de su estructura, a esto se le conoce como la propiedad de adsorción. Finalmente las ilitas presentan una constitución interna con tendencia a formar grumos de materia, que reducen el área expuesta al agua por unidad de volumen, por ello su expansividad es menor que la de las montmorillonitas (Juárez y Rico, 2005).

Las propiedades de los suelos estarán en función de la presencia de tales tipos de arcillas pero, sobre todo, de las proporciones relativas de sus componentes, lo cual producirá una variedad de comportamientos en el suelo. Para el caso del adobe no es recomendable emplear un suelo que contenga demasiada arcilla debido a que para su elaboración se emplea una cantidad considerable de agua, lo cual produciría fisuras a causa de la retracción que se da durante el secado (Guerrero, 2001).

1.2.1.2. El efecto del agua sobre la arcilla

Se sabe que las arcillas presentan en su mayoría una gran afinidad por el agua dando como resultado el proceso de tixotropía. Al añadir una pequeña proporción de arcilla al agua, ésta permanece flotando sobre el líquido indefinidamente, alcanzando el estado coloidal. Sin embargo, si se añade aún más, el líquido se torna viscoso y se resiste a fluir; en cambio, si se agita vigorosamente la suspensión, el líquido recupera su fluidez, perdiéndola nuevamente al cesar la agitación. A esta propiedad se le llama tixotropía, y es típica de muchas de las arcillas comunes (Domínguez y Shifter, 1995).

El agua puede representar una de las causas que provoque mayor daño a las estructuras de adobe, especialmente cuando es abundante. Esto se debe a que las partículas de arcilla al entrar en contacto con una cantidad creciente de agua, incrementan primero su volumen; luego se vuelven más sueltas (mayor plasticidad) y eventualmente se dispersan en una suspensión de agua. Al ser la arcilla el agente adhesivo del adobe, este efecto es obviamente perjudicial debido a que produce su desintegración o pérdida de material. Al mismo tiempo la arcilla al secarse se contrae y pueden originarse fisuras en la estructura (De la Peña, 1997).

Según Domínguez y Schifter (1995), el agua, al interactuar con la arcilla, presenta una forma secuencial que cuenta con las siguientes etapas:

- Etapa 1: en el principio la arcilla se encuentra en un estado deshidratado, son algunos iones de sodio (Na+), potasio (K+) o tal vez calcio (Ca^2+) adsorbidos en el espacio interlaminar.

- Etapa 2: desde el punto de vista electrostático, las cargas negativas en la arcilla se acumulan en las superficies planas de las laminillas, mientras que los bordes acumulan cargas positivas. Luego los iones de sodio tienden a concentrarse sobre las caras planas.

- Etapa 3: al ponerse en contacto con la arcilla, las moléculas de agua son atraídas fuertemente hacia las superficies planas debido a la presencia de los iones sodio cargados positivamente. Hay que recordar que, a escala molecular, las fuerzas electrostáticas son las más importantes.

- Etapa 4: en este estado, las moléculas de agua se hacen más dipolares, atrayendo a otras de su especie.

- Etapa 5: la carga negativa en la superficie de las laminillas se incrementa conforme las moléculas de agua se enlazan unas con otras al aumentar su polarización. Llega un momento en que la carga superficial es tal, que las láminas se repelen entre sí separándose unas de otras por lo que el espacio interlaminar se expande, originando el hinchamiento característico de las arcillas.

- Etapa 6: las moléculas de agua continúan llenando el espacio interlaminar, neutralizando parcialmente las superficies expuestas y manteniendo las láminas apartadas unas de otras, hasta que el agua es eliminada mediante algún procedimiento de secado, lo cual origina una contracción del volumen de la hojuela.

- Etapa 7: el equilibrio de la hidratación es alcanzado cuando termina la mezcla de la arcilla con el agua, dando como resultado una estructura interna hidratada que hace coincidir los bordes cargados positivamente con las caras planas cargadas negativamente, de modo que se forma una estructura de castillo de naipes, por lo que las moléculas de agua entran y salen libremente. Este castillo puede derrumbarse mediante una agitación vigorosa de la suspensión, pero tiende a formarse de nuevo si la agitación termina, esto es, si el medio queda libre de esfuerzos mecánicos. Este último efecto se debe a que las hojas mantienen la fuerte carga electrostática que las atrae.

Las propiedades que diferencian y definen a la arcilla son la plasticidad, que se desarrolla al mezclarse con cierta cantidad de agua, y la cohesión o resistencia cohesiva.

La plasticidad es la capacidad que tiene el suelo de ser moldeado sin romperse en estado húmedo. Esta propiedad está controlada por la cantidad y calidad de arcilla presente en el suelo y se da dentro de una extensa gama de humedades (Sánchez, 2010).

Las arcillas son particularmente plásticas, esto se debe a que el agua forma una película de recubrimiento sobre las partículas laminares produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de las partículas sobre otras cuando ejerce un esfuerzo sobre ellas.

La elevada plasticidad de las arcillas se debe a su morfología laminar, tamaño de partícula extremadamente pequeña (elevada área superficial) y alta capacidad de hinchamiento. Dicha plasticidad puede ser cuantificada mediante la determinación de los índices de Atterberg. La relación entre el límite líquido y el índice de plasticidad ofrece una gran información sobre la composición granulométrica, comportamiento, naturaleza y calidad de la arcilla. En general, cuanto más pequeñas son las partículas y más imperfecta es su estructura, más plástico es el material.

Por otro lado, la cohesión es la máxima resistencia del suelo a la tensión y es producida por las fuerzas de atracción que existe entre los granos en contacto. La cohesión depende del tipo de mineral arcilloso, condiciones atmosféricas, contenido de agua, tensión superficial y la carga eléctrica superficial de la arcilla. La cohesión aumenta a medida que el suelo pierde humedad y se seca.

El comportamiento mecánico de las arcillas se ve afectado directamente por su composición mineralógica y su estructura, por lo que si se desea un comportamiento diferente es posible generarlo a partir de la adición de diversos materiales que reaccionen con las mismas.

El afecto del agua sobre las arcillas puede ser favorable como perjudicial, esto dependerá de la cantidad de agua que se adicione y del tipo de arcilla que se emplee. Al emplear una adecuada cantidad de agua, las arcillas entrarán en un estado plástico, permitiendo ser moldeadas con facilidad y al perder humedad no se producirán fisuras en la estructura.

1.3. Adobe estabilizado

A lo largo de la historia diversas personas e instituciones han intentado mejorar las características de trabajo de los bloques de adobe, adicionando a la mezcla de arcilla-arena-agua materiales naturales e industrializados con la finalidad de dotar a los bloques de resistencia estructural y convertirlos en elementos impermeables (Ríos, 1994).

El hombre prehispánico adicionaba una serie de compuestos de origen litológico e incluso orgánico, denominados antiplásticos o desgrasantes (Gama et al., 2012). Con estos productos modificaba, controlaba y estabilizaba diferentes propiedades inherentes al material. Un ejemplo de esta transformación es la incorporación de materiales orgánicos como pasto, algas marina, grasas animales, etc., en la pasta de suelo, lo que permitía una adecuada aglutinación, alta resistencia a la intemperie y, además, evitaba que los bloques una vez solidificados, tendieran a agrietarse.

La estabilización de suelos se define como el mejoramiento de la matriz del material al incrementar su resistencia y capacidad de carga, y al disminuir su sensibilidad al agua y cambios volumétricos durante el ciclo de humedecimiento y secado (Ugaz et al., 2001). Este mejoramiento es posible con la adición de diversos materiales que actúan en el aspecto físico-químico sobre el sistema aire-agua del suelo, para promover tales incrementos en las propiedades que se desean mejorar, según una aplicación particular (Ngowi, 1997).

La estabilización debe aplicarse a los adobes y no sólo a los recubrimientos. Cuando se agregan estabilizantes sólo a los revoques y no a los adobes, el muro no resiste a la intemperie. La norma E.080 (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2000) define al adobe estabilizado como *"un adobe en el que se ha incorporado otros materiales (asfalto, cemento, cal, etc.) con el fin de mejorar sus condiciones de resistencia a la compresión y estabilidad ante la presencia de humedad".* La misma norma específica que, para el caso de la fabricación de adobes estabilizados, la gradación del suelo puede variar en relación a la especificada para la fabricación de adobes comunes.

En la actualidad se puede utilizar un gran número de estabilizantes, tanto naturales como artificiales, no existiendo un único estabilizante natural que pueda ser utilizado en todos los casos. La elección del estabilizante más adecuado depende del constructor, de la existencia del mismo en la zona, así como de la aplicación y de las propiedades que se quieran potenciar con la estabilización.

Para darle una cualidad impermeable al adobe se ha experimentado con la adición de materiales tales como la savia o mucilagos de algunos vegetales, como el nopal, el cactus (Galán et al., 2010, Alam et al., 2014, Niño et al., 2012; Yetgin et al., 2006; Vargas et al. 1986; Sanchez, 2010); en el orden de materiales industrializados se le ha incorporado emulsión de asfalto que aporta impermeabilidad al adobe (Ramírez, 2011) y el uso de cemento y cal para darle resistencia estructural, no más del 5% de su peso (Guerrero, 2001).

Según Ríos (2010), en el caso del adobe estabilizado, el material estabilizador disminuye el problema técnico fundamental que presenta el adobe simple, esto es su baja resistencia a la humedad. Por lo tanto, un buen estabilizante debe aumentar la resistencia a compresión del adobe al aglomerar sus partículas, reducir o eliminar completamente la absorción de agua (causante de dilataciones, contracciones y erosiones internas) sellando los huecos y cubriendo las partículas de arcilla con una película impermeable; también debería reducir el agrietamiento del adobe.

En la estabilización intervienen numerosos parámetros, por lo que es necesario tener un conocimiento de factores tales como las propiedades del suelo que se quiere estabilizar, las propiedades finales que se quieren obtener, la economía del proyecto, las técnicas para utilizar el suelo seleccionado así como el sistema constructivo y el costo de conservación.

Según Sherwood (1992), las propiedades más importantes que se deben mejorar con la estabilización son:

- Resistencia: el incremento de resistencia aumenta la estabilidad y la capacidad de carga.
- Estabilidad del volumen: proporciona el control de los procesos de hinchamiento-colapso causados por los cambios de humedad.
- Durabilidad: una mayor durabilidad aumenta la resistencia a la erosión, responde de manera más eficaz a los cambios climáticos.
- Permeabilidad: la reducción de la permeabilidad y por lo tanto de circulación de agua mejora la estabilidad.

El adobe no tiene una resistencia mecánica tan alta como el hormigón o el ladrillo cocido. Sin embargo, Isik et al (1999), observó que el adobe es lo suficientemente fuerte, dúctil y resistente a los terremotos. Esto se ha confirmado con otros trabajos más recientes (Carbajal et al. 2014).

Carbajal et al. (2014), pone en evidencia esta capacidad resistente. Al evaluar la evolución histórica de iglesias de la costa norte del Perú, concluye que ni los sismos ni las lluvias son las causantes directas de daños a los edificios de adobe y quincha, sino las inundaciones, al saturar el material desde los cimientos. Al parecer los materiales tradicionales como el adobe y la quincha tienen cierta capacidad para controlar los efectos de las lluvias y terremotos cuando se usa suficiente protección de las cubiertas. Por lo tanto, el adobe estabilizado debe ser capaz de mejorar la resistencia a la humedad y propiedades mecánicas del material.

1.3.1. Tipos de estabilización

Existen diversas formas de estabilización de suelos, desde la mecánica en la que se logra mejorar el suelo considerablemente a través de la compactación, la estabilización física en la que se utiliza la combinación de diferentes materiales, hasta las químicas que utilizan diversos aditivos de naturaleza cementante.

a) Física: el estabilizante mejora las propiedades físicas de la tierra, como la estabilización con fibras o la estabilización granulométrica.

   Las fibras naturales y artificiales, crean un armazón interno que mejora el reparto de las tensiones de la matriz terrosa, incrementando la resistencia a flexión y a cortante, mejorando la resistencia a la compresión y reduciendo la fisuración por contracción de secado causados por cambios de humedad y temperatura mediante el trazado de un sistema de microfisuras. La cantidad de paja debe ser la máxima posible siempre que permita un mezclado apropiado de mortero (Amorós, 2011; Vargas et al., 1986; Yetgin et al., 2006 y Guerrero, 2007).

   Las fibras conforman una especie de red a la que se adhieren las partículas del suelo y que controla su desplazamiento, dilatación y retracción durante el fraguado. Se puede hacer uso de materiales fibrosos de origen vegetal como la paja de diferentes gramíneas, virutas de madera, acículas de pináceas, cáscaras de coco, tallos del maíz y fibras de pita o sisal. También se pueden emplear materiales de origen animal provenientes de la lana de ovejas o cabras, crines de caballo, pelo de llama o hasta cabello humano.

   Las fibras empleadas para estabilizar la tierra, además de evitar la aparición de fisuras, siguen trabajando en los edificios con el paso del tiempo, al funcionar como “articulaciones” que flexibilizan las estructuras ante posibles fallas derivadas de sobrecargas o movimientos sísmicos. Asimismo, las fibras modifican la textura de los componentes constructivos haciéndolos más ásperos, con lo que se incrementa notablemente la adherencia entre ellos y con el resto de los componentes estructurales y los revestimientos.

   Pruebas realizadas por diferentes autores muestran que la adición de fibras disminuye la contracción de adobes, mejora la resistencia al corte debido a que aumenta la cohesión entre las partículas del suelo, incrementa la resistencia a la compresión y fuerzas de cizallamiento, hace más dúctil la falla, y se obtiene una mejor resistencia a la flexión, ya que la interacción de las fibras entre sí y la flexibilidad de las fibras hace que se comporten como una malla estructural que mantiene al suelo unido (Bouhicha et al., 2005, Galán et al., 2010 y Babu y Vasudevan, 2008).

   Por otro lado la estabilización granulométrica se puede dar cuando se tiene una tierra con falta de cohesión, debido a que las arcillas que contiene son muy inactivas o resultan proporcionalmente escasas en comparación con la cantidad de limo y arena del conjunto. Para lograr un equilibrio, se puede estabilizar el suelo agregando una mayor cantidad de arcilla hasta lograr su acondicionamiento óptimo. Por el contrario si se trata de suelo excesivamente inestable, con exceso de arcilla o arcilla activa, pudiendo observarse fisuramiento durante el secado como consecuencia del hinchamiento y la retracción volumétrica. En este caso lo

que puede hacerse es estabilizarla agregando limos o arenas para obtener una reacción estable del conjunto.

b) Química: el producto que se añade modifica la estructura granular, proporcionando cohesión y disminuyendo la excesiva plasticidad, como por ejemplo los aceites naturales, cal viva o apagada, productos puzolánicos, cementos, yesos, resinas, polímeros, etc.

   Para reducir el contenido de agua de manera efectiva se puede hacer uso de los plastificantes utilizados en la industria del hormigón, como ligninas o sulfonatos de naftaleno. Las grasas de origen animal y vegetal conforman una especie de capa protectora entorno a las partículas de arcilla, regulando su contacto con el agua y por lo tanto sus cambios dimensionales.

   Las sustancias de origen orgánico como los polímeros extraídos de vegetales y las proteínas animales provenientes de la leche, la sangre o el huevo, cumplen también funciones aglutinantes.

   Otras sustancias químicas comunes son el cemento y la cal, donde el cemento aumenta la resistencia y la cal disminuye la plasticidad de los suelos arcillosos.

c) Mecánica: aumenta la compacidad del material, puede ser estática, dinámica o mixta, y normalmente se consigue por compactación de suelos. La compactación aumenta la densidad del adobe, incrementando su resistencia mecánica, debido a que se disminuye la porosidad total y la macroporosidad (porosidad de aireación) del suelo (Riego, 2001), haciéndolo más denso en relación del adobe tradicional.

   Para mejorar la durabilidad de los adobes se debe aumentar su fuerza y reducir su absorción de agua. El método más eficaz para modificar el adobe es la compactación de la tierra y la estabilización de ellos con aditivos.

1.3.2. Estabilización del adobe con polímeros

Un polímero es un compuesto orgánico, natural o sintético, de elevado peso molecular constituido por unidades estructurales repetitivas que se componen básicamente de C, H, O, N. Es una macromolécula formada por la unión de moléculas de menor tamaño que se conocen como monómeros, unidas entre sí por enlaces covalentes y que se formó por reacciones de polimerización.

Los polímeros se pueden clasificar según diversos criterios, según su origen, su composición, su estructura o su comportamiento frente al calor, como se puede apreciar en la Tabla 3:

Tabla 3. Clasificación de polímeros.

Criterio	Tipos de polímeros	Definición
Según su origen	Naturales	Provienen directamente del reino vegetal o animal, como por ejemplo el caucho natural, la celulosa, las proteínas, grasas de origen animal o vegetal, etc.
	Artificiales o sintéticos	Se obtienen por procesos de polimerización controlados por el hombre a partir de materias primas de bajo peso molecular. Como por ejemplo los plásticos, el caucho sintético, las gomas, derivados del petróleo, etc.
Según su composición	Homopolímeros	Un solo monómero
	Heteropolímeros	Varios monómeros
Según su estructura	Lineales	Los monómeros se unen por dos sitios (cabeza y cola)
	Ramificados	Si algún monómero se puede unir por tres o más sitios.
Según su comportamiento ante el calor	Termoplásticos	Se reblandecen al calentar y recuperan sus propiedades al enfriar.
	Termoestables	Se reblandecen en caliente, pero quedan rígidos al ser enfriados por formar nuevos enlaces y no pueden volver a reblandecerse.

Fuente: Guarda et al., 2009

Los polímeros impermeabilizan e hidrofugan el adobe. Esto consiste en recubrir los granos de tierra con una película impermeable y eliminar al máximo la absorción y la adsorción del agua, estabilizando la mezcla ante la acción del agua e incrementando incluso la resistencia (Vilela, 2010). El incremento de la resistencia se debe a que los polímeros tienen la propiedad de dispersar sus partículas entre otras más pequeñas, llenando poros vacíos en la estructura original del material (Stancato et al., 2005). Los contenidos de resinas y polímeros como estabilizantes en el suelo fluctúan entre 1 y 2% (Ríos, 2010).

Todas estas modificaciones tendientes a estabilizar y dar cohesión y capacidad mecánica al suelo natural deben procurar que la operación sea económica y de fácil ejecución.

Los polímeros reducen la porosidad, por lo que la distribución de poros es modificada cuando los poros son llenados total o parcialmente, lo que disminuye el tamaño de los mismos y provoca una mayor densificación en el material haciéndolo más resistente mecánicamente. Las proteínas de los polímeros son absorbidas por la arcilla, teniendo efectos plásticos que mejoran la resistencia mecánica y reduce la penetración de agua (Achenza y Fenu, 2005).

Según Rico (2005), los polímeros pueden ser catiónicos, aniónicos y no iónicos. Los catiónicos poseen cargas positivas que crean nexos eléctricos muy fuertes con las

negativas de las partículas de arcilla o de arenas silíceas muy finas; por este mecanismo pueden aumentar la resistencia del suelo.

Los polímeros aniónicos tienen la misma carga eléctrica que los minerales de arcilla, por lo que su incorporación más bien tiende a disminuir la resistencia de los suelos tratados; correspondientemente favorecen la compactación. La efectividad de estos productos es variable, según el tipo de suelo.

Los polímeros no iónicos generan puentes de hidrogeno importantes entre las partículas de arcilla, asociando los grupos OH con el oxígeno de dichos polímeros (Rico, 2005).

Existe un sinnúmero de substancias de origen orgánico que también pueden cumplir funciones aglutinantes. Este es el caso de los polímeros extraídos de vegetales como las cactáceas o las suculentas, así como las proteínas animales provenientes de la leche, la sangre o el huevo.

En el caso de México y Perú todavía pervive la costumbre de usar la pulpa del cactus de tuna (baba de nopal) que desde la época prehispánica formaba parte de los adhesivos tanto para el manejo de la tierra utilizada como material constructivo como para el caso de los revoques y pinturas (Guerrero, 2007).

La goma de tuna se emplea específicamente para aumentar la impermeabilidad de los morteros elaborados con mezclas de suelo y fibras vegetales, que se utilizan como revoques para proteger los muros y cubiertas de suelo contra la acción de la humedad y de la lluvia. Vargas et al. (1986), concluyeron que el uso de la tuna como estabilizante puede obtener un nivel de estabilización comparable al del asfalto.

Las grasas tanto de origen animal como vegetal o fósil, también funcionan como estabilizantes impermeabilizantes, ya que conforman una especie de capa protectora en torno a las partículas de arcilla que regula su contacto con el agua. Entre ellas podemos encontrar el sebo de res, la leche, los aceites de girasol, linaza y oliva. Al igual que sucede con el resto de los estabilizantes, la cantidad que se utilice debe ser muy moderada para que no se interfiera con el comportamiento normal de las arcillas.

El caucho natural es otro polímero elástico y semisólido impermeable al agua, que surge como una emulsión lechosa (conocida como látex) en la savia de varias plantas tropicales, aunque también puede ser producido sintéticamente. Este polímero también es usado como estabilizador de adobe gracias a su capacidad de aumentar la resistencia al agua.

El asfalto es otro polímero usado para estabilizar suelos. Encapsula el material granular y las partículas se unen impidiendo la filtración y absorción de humedad, gracias a su capacidad aglomerante. Mejora en menor grado la capacidad de carga y la resistencia al desgaste y a la rotura; no actúa sobre la retracción y es más efectivo en los suelos arenosos que en los arcillosos. Se recomienda emplearlo preferentemente en forma de emulsiones, para facilitar la mezcla con el suelo. Se emplea en proporciones del 2 al 6 % (Vilela, 2010). Por ejemplo, Pineda y Vega (2007) reportaron que adobes elaborados con mezclas de una amina catiónica y emulsión asfáltica aumentaron la resistencia a la compresión y redujeron la absorción de agua.

En el Perú, el adobe estabilizado con asfalto presenta un porcentaje de asfalto que puede variar de 0.5 a 4% en peso de suelo seco, según el tipo de suelo, pero

habitualmente varía entre 1.5 a 2%. El asfalto, tiene como efecto impedir la disolución del adobe en presencia de agua, lo que le otorga grandes ventajas en zonas de gran precipitación pluvial o cuando no es posible evitar riesgos de inundaciones (Lopez y Bernilla, 2012).

1.3.3. Consideraciones finales

Se ha mostrado como los polímeros pueden mejorar las propiedades de los suelos inestables. Ya sea por el efecto de llenado de poros vacíos, por el aumento de la densificación del material, por el incremento de la resistencia o la reducción de la penetración de agua (Stancato et al., 2005; Achenza y Fenu, 2005; Rico 2005; Vilela, 2010; Reyes, 2001).

Ya que los adobes tienen una baja resistencia a la humedad, la presencia de polímeros mejorará su impermeabilización e hidrofugado, recubriendo los granos de tierra con una película impermeable y eliminando la absorción y la adsorción del agua.

Los polímeros naturales usados como estabilizantes pueden obtener un nivel de estabilización comparable al de un polímero artificial como el asfalto, además debido a su naturaleza resultan mucho más económicos que un polímero artificial, siendo biodegradables y de fácil manejo.

Es recomendable emplear un polímero catiónico ya que tiende a mejorar la resistencia del suelo. Además hay que tener en cuenta que la cantidad que se emplee como estabilizante debe ser muy moderada para que no se interfiera con el comportamiento normal de las arcillas, para ello es necesario realizar una serie de estudios con la finalidad de encontrar la cantidad óptima que se empleará para la elaboración de adobes.

Para la presente investigación se hará uso del extracto de Cabuya (*Furcraea andina*), un polímero natural de origen vegetal oriundo de la sierra, como estabilizador del adobe. El extracto de Cabuya es el aguamiel extraído de la planta mediante la realización de un orificio en el tronco de la misma. Para la elaboración de los adobes estabilizados el polímero presentará un tiempo de reposo o tiempo de macerado, que se define como el periodo durante el cual el polímero sufre un proceso de descomposición, activando sus propiedades estabilizantes y generando un mejor comportamiento mecánico y una mayor resistencia al agua.

Capítulo 2
Elaboración de adobe en campo: Experiencia en la zona de Sapillica

2.1. Elección del suelo

El distrito de Sapillica es uno de los diez distritos que forman parte de la provincia de Ayabaca, como se puede ver en la Figura 2.

Figura 2. Localización Sapillica-Piura (Fuente: http://www.perutoptours.com.)

Las personas que elaboran adobe en esta zona consideran que todo el suelo que los rodea es adecuado para la fabricación de adobe, excepto cuando se trata de arena.

Sin embargo como ya se explicó en el ítem 1.2.1., un suelo adecuado para elaborar adobe debe tener una adecuada cantidad de arcilla y arena para que los adobes sean resistentes y no se desmenuce o se rajen al secarse. Para ello se debe realizar las siguientes pruebas para comprobar si la tierra es buena:

- Prueba del rollo o Prueba de plasticidad: consiste en tomar un poco de tierra húmeda y con las palmas de las manos formar un rollo de 2 cm de diámetro. Si el rollo mide entre 5cm y 15 cm de largo la tierra tendrá la cantidad adecuada de arcilla y arena para elaborar adobes, si el rollo se rompe antes de que mida 5cm de largo se tendrá que agregar un poco de arcilla a la tierra debido a que presenta mucha arena, finalmente si el rollo mide más de 15cm de largo significará que la tierra contiene mucha arcilla por lo que se tendrá que agregar un poco de arena gruesa y volver hacer la prueba. Este proceso se puede apreciar en la Figura 3.

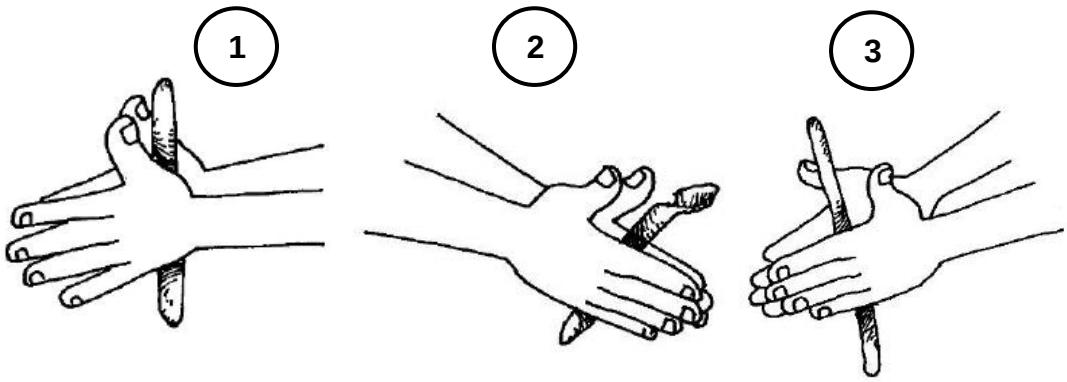


Figura 3. Resultados de la prueba del rollo: 1) Tierra con adecuada cantidad de arcilla y arena. 2) Tierra con excesiva cantidad de arena. 3) Tierra con excesiva cantidad de arcilla (Fuente: Blondet et al., 2010).

- Prueba de bola: Como se puede observar en la Figura 4, se toma un poco de tierra húmeda y con las palmas de las manos se forman cinco bolitas de 2 cm de diámetro, luego se dejan secar bajo sombra por dos días. Cuando las bolitas estén secas, se trata de romperlas presionándolas con el dedo pulgar o índice. Si la bolita no se rompe la tierra sí sirve ya que tiene suficiente arcilla y los adobes serán resistentes, sin embargo si la bolita se rompe la tierra no servirá ya que no tiene suficiente arcilla y los adobes no serán resistentes.

Figura 4. Resultados de la prueba de bola: 1) Tierra con adecuada cantidad de arcilla. 2) Tierra con baja cantidad de arcilla (Fuente: Blondet et al., 2010).

2.2. Construcción del tendal

El tendal es un lugar plano y limpio donde se hacen los adobes, en la Figura 5 se observa cómo se realiza la nivelación del terreno, con la pala se va cortando cualquier planta que haya en el terreno o cualquier montículo de tierra, una vez hecho esto se limpia el terreno y se echa agua para compactarlo, como se aprecia en la Figura 6.

Figura 5. Nivelación del terreno para el tendal (Foto: Verónica Benites).

Figura 6. Limpieza del terreno del tendal (Foto: Verónica Benites).

2.3. Fabricación de moldes

Los moldes o gaveras son hechos de madera, en la Figura 7 se aprecia moldes de madera con una dimensión de 40x25x8 cm.

Figura 7. Molde para elaboración de adobes (Foto: Verónica Benites).

2.4. Preparación del barro para adobe

Para la preparación del adobe los materiales son mezclados de forma manual cerca del tendal, la tierra debe ser limpia, por lo que se le quita las piedras, restos de plantas o basura. La tierra se acomoda en rumas y se echa agua hasta que se forme el barro, como se observa en la Figura 8 y 9. A continuación se deja reposar el barro por 24

horas como mínimo. Una vez hecho esto se mezcla el barro con el agua y la paja, y se bate muy bien el barro con los pies y la pala, tal como se ve en la Figura 11.

En Sapillica la paja utilizada para la elaboración de adobe se denomina tambo, el cual son las hojas o tallos secos de la planta llamada nudillo, también se puede hacer uso de la cascara de arroz (para esta investigación se hará uso de adobes con cascara de arroz). En la Figura 10 se observa como la paja es cortada, la cual tiene una longitud entre 6 y 8 cm, para un bloque de adobe se usa aproximadamente 1Kg de paja o cascara de arroz. Para el caso de grandes cantidades de adobe se usan bestias de carga para batir el barro más rápido, como se precia en la Figura 12.

Figura 8. Acomodo de la tierra y adición de agua (Foto: Verónica Benites).

Figura 9. Mezcla del barro con el agua (Foto: Verónica Benites).

Figura 10. Corte de la paja entre 6 y 8 cm (Foto: Verónica Benites).

Figura 11. Mezclado de barro y paja (Foto: Verónica Benites).

Figura 12. Uso de bestia para el batido del barro (Foto: Verónica Benites).

2.5. Moldeo de adobes

Los adobes son elaborados en el tendal, en la Figura 13 se aprecia como los moldes se humedecen para que el barro no se pegue a los costados. Se coloca la gavera en el piso del tendal y se lanzan bolas de barro con fuerza hasta llenar la gavera como se observa en la Figura 14, luego se compacta con las manos por el centro y las esquinas de la gavera y se empareja, tal como se ve en las Figuras 15 y16, finalmente se levanta con mucho cuidado para no deformar el adobe como en la Figura 17.

Figura 13. Humedecimiento del molde (Foto: Verónica Benites).

Figura 14. Llenado de moldes con barro (Foto: Verónica Benites).

Figura 15. Compactación del barro (Foto: Verónica Benites).

Figura 16. Emparejamiento del adobe (Foto: Verónica Benites).

Figura 17. Retirado del molde (Foto: Verónica Benites).

2.6. Secado y apilado de adobes

El tiempo de secado de los adobes depende del clima de la zona donde se realizan. Después de 8 o 10 días de fabricados se coloca los adobes de costado para que sequen mejor, como se ve en la Figura 18, una vez secos se apilan cerca del terreno donde se construirá la vivienda. Se recomienda dejar secar los adobes por 3 semanas como mínimo.

Figura 18. Colocación de adobes de costado (Foto: Verónica Benites).

Cuando los adobes están chuecos se debe a que el terreno del tendal no es completamente plano o la mezcla para hacer adobe contiene mucha agua, por lo que se tendrá que compactar el terreno del tendal hasta que sea plano o agregar menos agua a la mezcla correspondientemente.

2.7. Consideraciones finales

Como se mencionó el ítem 1.1., el adobe es un ladrillo macizo compuesto por una masa de tierra arcillosa o suelo, agua y algún tipo de aditivo; el cual es secado al sol y sirve como material de construcción. El adobe elaborado en la zona de Sapillica coincide con esta definición ya que se elabora a partir del suelo, el cual contiene arcilla ya que al entrar en contacto con el agua adquiere plasticidad. Además contiene paja, ésta sirve como una adición para mejorar su resistencia y finalmente es secado al sol, obteniendo como resultado un ladrillo macizo.

Para Vélez (2010) un adobe debe presentar un peso promedio de 14 kilos, en Sapillica los adobes tienen un peso promedio de 15 kilos, lo cual coincide mucho con esta definición. Con respecto a las dimensiones de los adobes (40x25x8 cm), el largo es aproximadamente el doble del ancho y la altura no menor a los 8 cm, por lo que cumple con las condiciones establecidas en la Norma E. 080.

Se puede apreciar que en Sapillica no se realiza ninguna prueba para verificar si el suelo empleado para la fabricación de adobes es adecuado, puesto que los pobladores consideran que todo el suelo que los rodea es adecuado. Esto no es conveniente ya que se corre el riesgo de emplear un suelo que no presente una cantidad adecuada de arcilla y arena para que los adobes sean resistentes y no se desmenucen o se fisuren al secarse.

La Norma E. 080 recomienda que el suelo usado para la elaboración de adobes debe estar libre de materias extrañas, esto se cumple durante el proceso de fabricación de adobes ya que se trata de eliminar piedras, restos de plantas o basura que se encuentre. Además el uso de paja seca o cascara de arroz mejora el comportamiento del adobe, incrementando su resistencia y disminuyendo las fisuras por contracción de secado. La cantidad de paja empleada comprende el 6.6% en peso con respecto al adobe.

La incorporación de un polímero como el agua miel extraída de la Cabuya (*Furcraea andina)* durante el proceso de fabricación de adobes en la zona de Sapillica, puede ser posible. Esto se debe a que al ser un polímero natural y propio de la zona, se puede adquirir con mayor facilidad. Asimismo resulta menos costoso, es biodegradable y no requiere de experiencia para ser usado.

Las sustancias de origen orgánico como los polímeros extraídos de vegetales cumplen funciones aglutinantes, por lo que al ser añadidos modifican la estructura granular, proporcionando cohesión y disminuyendo la excesiva plasticidad. Un ejemplo de esto son las cactáceas o las suculentas, como la tuna, en donde su goma es empleada para aumentar la impermeabilidad de los morteros elaborados con mezclas de suelo y fibras vegetales. Vargas et al. (1986), llegaron a la conclusión que la tuna como estabilizante puede obtener un nivel de estabilización semejante al del asfalto.

La Cabuya (*Furcraea andina)* al ser una suculenta tiene la posibilidad de impermeabilizar al adobe, recubriendo los granos de tierra con una película impermeable y estabilizando la mezcla ante la acción del agua, incrementando incluso la resistencia.

Al ser un polímero reducirá la porosidad, por lo que la distribución de poros será modificada cuando los poros sean llenados total o parcialmente, disminuyendo el tamaño de los mismos y provocando una mayor densificación en el material haciéndolo más resistente mecánicamente.

Para la presente investigación se medirán las propiedades mecánicas y la resistencia al agua de especímenes estabilizados con extracto de Cabuya (*Furcraea andina)*. Dicho extracto requiere dejarse macerar un tiempo mínimo para lograr la descomposición del polímero y la activación de los compuestos ligantes. A este tiempo de maceración se le denominará en adelante tiempo de reposo, que se ha variado de 5, 10 y 20 días, basados en los resultados de Vargas et al. (1986) para tuna. En todos los casos, el adobe se secará durante 3 semanas al aire libre.

Capítulo 3
Materiales y métodos

3.1. Suelo

La tierra no es un material de construcción estandarizado, sus propiedades varían dependiendo del lugar seleccionado, por lo que la composición del suelo natural puede estar constituida de porcentajes diferentes de arcilla, limo y arena. El suelo empleado para la elaboración de los adobes proviene del distrito de Sapillica, ubicado en la provincia de Ayabaca. Para conocer las propiedades físicas y composición del suelo, será necesario realizar las siguientes pruebas.

3.1.1. Granulometría

El ensayo de granulometría consiste en hacer pasar una muestra de suelo de masa conocida a través de una serie de tamices que van progresivamente de una abertura mayor a una menor, para determinar la distribución del tamaño de las partículas (NTP 339.128 1999).

Los certificados del ensayo se muestran en la Figura A1 del anexo A, en donde se puede ver que el suelo empleado para la elaboración de adobes presenta un 65 % de finos arcillosos y un 35% de arena fina a media. Aunque estos valores no cumplen con la composición establecida para los adobes en la Norma E. 080, pues contiene más arcilla y menos de arena, corresponden con los adobes que se producen en la zona en estudio. Mientras que en la Figura 19 se pueden observar solo la granulometría de la arena, siendo 66% arena fina y el 34% arena gruesa.

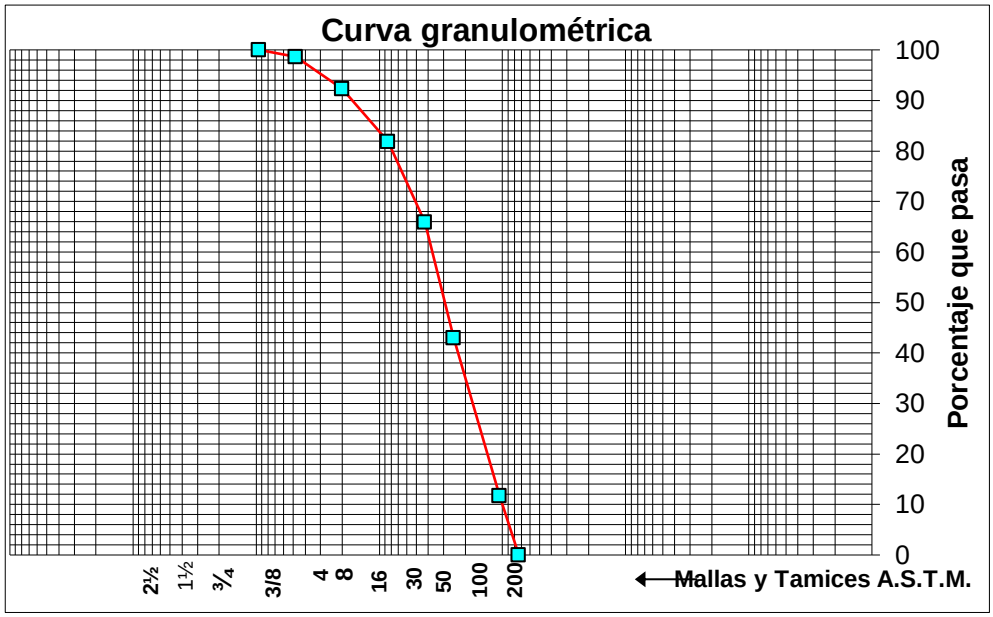


Figura 19. Granulometría de la arena usada para la fabricación de los adobes (Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de Construcción).

3.1.2. Límites de Atterberg

Para la caracterización del suelo también es necesario realizar los ensayos de límites de Atterberg (límite líquido, límite plástico e índice plástico), para la clasificación del material de acuerdo al Sistema unificado para clasificación de suelos (SUCS) según la norma 339.129 1999, cuyo detalle se aprecia en la Figura A2 del anexo A y procedimiento en la Figura B4 y B5 del anexo B.

A través de los ensayos realizados se ha podido constatar que el suelo estudiado es una arcilla de baja plasticidad arenosa (CL), con un límite líquido (LL) = 27%, un límite plástico (LP) = 15% y un índice plástico (IP) = 12%.

3.2. Cáscara de arroz

La cáscara de arroz es empleada como fibra para la elaboración de los adobes, esta presenta buenas propiedades que la hacen interesante para la bioconstrucción, es más resistente mecánicamente que la paja de trigo, es también más hidrófoba y se descompone difícilmente, por tanto puede ser una buena fibra en combinación con la tierra en formas tradicionales de construcción como el adobe (Valero, 2015).

Tiene forma de canoa, superficie rugosa y presenta un color amarillento, su longitud depende de su variedad y está entre 8 a 10 mm de largo por 1 a 2 mm de ancho. De acuerdo con su tamaño una cascarilla pesa entre 2.5 y 4.8 mg (Quiceno y Mosquera, 2010). Dichas características se aprecian en la Figura 20.

Figura 20. Cáscara de arroz (Foto: Verónica Benites).

La cáscara de arroz es un subproducto del arroz, que en la práctica puede considerarse como un material de desecho. Por sus características físicas y químicas la cáscara de arroz resulta poco biodegradable y se convierte en un desecho altamente contaminante en especial para las fuentes de agua. Es un tejido vegetal constituido por celulosa y sílice, y tiene un elevado contenido de materia volátil. Entre sus ventajas como material de construcción se pueden mencionar su disponibilidad a lo largo del año, su retención de humedad, es un material liviano y abrasivo (Chur, 2010).

3.3. Cabuya (*Furcraea andina*)

La Cabuya (*Furcraea andina*) es una planta endémica del Perú, típica de las yungas y vertientes occidentales andinas; en la sierra, crece desde los 1450 hasta los 3000 msnm. Esta planta se desarrolla en las regiones costa, yunga y quechua. Perteneciente a la familia de las agaváceas, está provista de espinas en sus bordes con hojas carnosas y muy fibrosas, posee flores amarillas y se reproduce por renuevos que brotan del contorno de sus raíces (Barrantes, 2013).

En nuestro país es comúnmente encontrada en forma silvestre en los valles serranos y cultivado con motivo ornamental en los jardines costeños. Se le adjudicaron diversos nombres, según las zonas en que crecieron. Los nombres más populares son: Agave, Maguey, Cabuya, Chuchau, Pacpa, Penca, Pinca, Cabuya americana, Century plant, Aloe americano, Ancashchampatra, Pita, Cocuisa, Cocui, Cabuyero, Penca azul, Méjico, Kellupancarita (Cervantes y Cuya, 2015).

Es una planta de 2 a 7 metros de tamaño, sin tallo o con un pequeño tronco corto. Las hojas verde-grises están dispuestas en una roseta densa, de 1 a 3 m de largo y de 15 a 20 cm de ancho, gruesas, carnosas, lanceoladas y sin pecíolo, ligeramente cóncavas hacia arriba y adentro. De bordes firmes que tienen de 20 a 30 espinas dirigidas hacia afuera o hacia arriba desde el eje radial y que termina en un gran aguijón. A las hojas se les conoce como pencas o alas. Las hojas pueden variar entre los colores verde grisáceo a azulado, tal como se aprecia en la Figura 21.

Crece rápidamente, alcanzando la madurez en pocos años. Generalmente la cosecha de aguamiel se realiza cuando la planta alcanza 3 metros de alto, más o menos a partir de los 5 años, según el medio geográfico. La extracción del jugo azucarado o aguamiel se efectúa antes de que la planta floree, ya que después de esto la Cabuya muere.

En la Figura 22 se observa que el lugar donde se realiza el orificio se ubica en el tronco, se corta las hojas exteriores para hacer el “camino” hacia el centro de la planta, luego se realizan los cortes de las hojas interiores para formar el área en el cual se realizará el hoyo, seguidamente se forma el hoyo. Finalmente, se raspa reiteradas veces el hoyo para generar la exudación de la savia. Realizado el orificio, se recolecta el jugo diariamente, durante 20 días aproximadamente, en la Figura 23 se aprecia el agua miel obtenido, mientras que en la Figura B2 del anexo B se observa la recolección del extracto. La recolección de aguamiel se realiza diariamente, luego se retira los residuos y se cubre el orificio con unas hojas o piedras para evitar el ingreso de cuerpos extraños. En promedio por planta se pueden sacar entre 4 y 10 litros diarios.

Figura 21. Cabuya (*Furcraea andina*) (Foto: Verónica Benites).

Figura 22. Recolección de aguamiel (Foto: Verónica Benites).

Figura 23. Extracto de Cabuya (*Furcraea andina*) (Foto: Verónica Benites).

Para la fabricación de los adobes, el extracto de cabuya se debe dejar reposar o macerar para activar las propiedades estabilizantes. De acuerdo a la bibliografía consultada (Vargas et al., 1986), los tiempos de reposo para el extracto de tuna pueden llegar a ser de 18 días. En el caso de la cabuya, se han fijado en 5, 10 y 20 días, para evaluar el tiempo óptimo que requiere para lograr un buen desempeño como estabilizador del adobe. Las condiciones de maceración fueron al aire libre, a temperaturas entre 22 y 28°C y con una humedad ambiental entre 64 y 70%.

3.4. Preparación de especímenes

Para la preparación de los especímenes primero fue necesaria la trituración del adobe traído de Sapillica, esto se hizo con la ayuda de una máquina trituradora como se observa en la Figura 24, sin embargo debido a que esta máquina no molía el adobe en partículas muy finas fue necesario el uso de martillo y pasarlo por el tamiz N°4, tal como se ve en las Figuras 25 y 26 respectivamente.

Figura 24. Máquina usada para triturar el adobe (Foto: Verónica Benites).

Figura 25. Uso de martillo para moler el adobe (Foto: Verónica Benites).

Figura 26. Uso de la malla N° 4 (Foto: Verónica Benites).

Una vez molido el adobe se tuvo que comprobar que el suelo era apropiado para la elaboración de adobes, para ello se realizó la prueba del rollo cuyo largo midió 9 cm, esto se puede apreciar en las Figuras 27 y 28, y la prueba de la bola donde las bolitas no se rompieron, tal como se ve en las Figuras 29 y 30. Por lo que se comprobó que el suelo es adecuado para la fabricación de adobes, aunque no cumpla con la composición establecida en la Norma E.080.

Figura 27. Prueba del rollo (Foto: Verónica Benites).

Figura 28. Suelo apto para el adobe (Foto: Verónica Benites).

Figura 29. Prueba de la bola (Foto: Verónica Benites).

Figura 30. Prueba de la bola realizada al suelo de los adobes (Foto: Verónica Benites).

Después de determinar la calidad del suelo fue necesario encontrar la cantidad adecuada de agua para la elaboración de los adobes. Según Saroza et al. (2008) la cantidad óptima de agua para confeccionar la mezcla, está determinada por el Índice de

Plasticidad (IP) del suelo, ya que cuanto más alto sea éste, mayor será la cantidad de agua contenida en la masa. Esto es de suma relevancia, ya que tanto la resistencia como la durabilidad de las piezas a fabricar se verán afectadas si el agua se incorpora en exceso.

Minke (2008), observa que el contenido de agua mínimo, es el que posibilite su trabajabilidad y cohesión. Es fundamental, que las unidades se elaboren con el menor porcentaje de agua posible compatible con la trabajabilidad necesaria, aunque su estética al final no sea perfecta. Cuestión muy difícil de controlar a niveles artesanales.

Barrios et al. (1986) plantea la existencia de un nivel óptimo de contenido de agua en función al LL y IP, que se corresponde con la siguiente expresión: "LL + 1/3 IP", en donde al remplazar esta expresión con los valores del suelo, se tienen como resultado una cantidad óptima de agua igual al 31% en peso respecto del peso de suelo. Esto coincide con lo que indica Oshiro (1990) que posible obtener buenos adobes agregando no más de un 30% de agua con respecto al peso del suelo seco. Como contenido mínimo de agua, Oshiro (1990) sugiere emplear aquella que posibilite el desmolde inmediato de la masa.

De acuerdo a lo antes mencionado, la cantidad de agua de 16% con respecto al peso del suelo seco, proporcionaba trabajabilidad al suelo, esto se determinó probando diferentes pesos con respecto al suelo hasta llegar a este porcentaje. Sin embargo al tratar de desmoldar la mezcla ésta no se podía o presentaba fisuras al secar como se puede observar en la Figura 31, por lo que se tuvo que aumentar la cantidad de agua, llegando a utilizar un 28% de agua con respecto al peso del suelo seco. Ya determinada la cantidad de agua, se procedió a elaborar los cubos y prismas de adobe.

Figura 31. Adobe con bajo contenido de humedad (Foto: Verónica Benites).

Se elaboraron cuatro muestras de adobes. La primera, sólo con agua, se considera como la muestra de control. Las siguientes corresponden con el adobe estabilizado con el extracto de cabuya. Para la estabilización se reemplazó el 50% de agua de mezcla en volumen por extracto de Cabuya preparado con distintos tiempos de reposo (5, 10 y 20 días) a 22 - 28°C y 64 - 70% de humedad. Como se mencionó anteriormente, el tiempo de reposo o de macerado es el periodo durante el cual el extracto de Cabuya (*Furcraea andina*) se descompone para adquirir las propiedades estabilizantes. El tiempo de secado para todas las muestras fue de 3 semanas.

En la Figura 32 se observa que para la elaboración de los cubos y prismas de adobe, lo primero que se hizo fue mezclar el suelo con el agua de mezcla (agua o agua con aguamiel) hasta obtener una masa uniforme.

Figura 32. Mezcla del suelo con el agua de mezcla (Foto: Verónica Benites).

Una vez hecho esto, los moldes se mojaron con agua, para luego vaciar la mezcla en estos. La mezcla se arrojó en forma de bola compactándose los bordes y el centro. Este proceso se puede apreciar en las Figuras 33 y 34 respectivamente.

Figura 33. Vaciado de mezcla en el molde (Foto: Verónica Benites).

Figura 34. Compactación de la mezcla (Foto: Verónica Benites).

Finalmente se emparejó la muestra y se sacó el molde, tal como se ve en la Figura 35, 36 y 37. A los 10 días, los adobes se colocaron de costado para que sequen mejor y a las 3 semanas las 4 muestras de adobe fueron ensayadas.

Figura 35. Emparejado de la mezcla (Foto: Verónica Benites).

Figura 36. Retirado del molde (Foto: Verónica Benites).

Figura 37. Prismas y cubos de adobe después de desmoldar (Foto: Verónica Benites).

3.5. Ensayos

3.5.1. Resistencia a la compresión

Esta prueba muestra la capacidad de los adobes cuando se somete a una carga axial. La ASTM C170-06 especifica analizar una muestra en forma de cubo que debe ser de al menos 5 cm de altura, con una relación de 1:1 de la altura a la dimensión lateral. En este caso se ensayaron tres especímenes tanto para la muestra de control como para los distintos tiempos de reposo (Alam et al., 2014). Para asegurar condiciones uniformes de carga, se colocó un una tabla de triplay de 6 x 6 cm en la parte superior y debajo de cada espécimen durante el ensayo, como se observa en la Figura 38 y 39, mientras que en la Tabla A1 del anexo A los datos del ensayo y en la Figura B6 del anexo B el procedimiento del mismo. El valor del esfuerzo resistente en compresión se obtuvo en base al área de la sección transversal.

Figura 38. Especímenes para ensayo de compresión (Foto: Verónica Benites).

Figura 39. Ensayo de resistencia a la compresión en adobes (Foto: Verónica Benites).

3.5.2. Resistencia a la flexión

El propósito de esta prueba es interpretar la capacidad de deformación del material y determinar su capacidad de resistencia a la tracción. Para el módulo de rotura se emplearon tres especímenes en forma de prisma de 30,50 cm x 15,25 cm x 7,62 cm tanto para la muestra de control como para cada tiempo de reposo, como se muestra en la Figura 40. El detalle del ensayo se ubica en la Tabla A2 del anexo A y su procedimiento en la Figura B7 del anexo B. El módulo de ruptura se calculó usando la NTP 399.613 2005 Ec. (1):

$$S = 3\,W\,(L/2 - x) / (Bd^2) \qquad \text{Ec. (1)}$$

Donde S es el módulo de ruptura (Kg/cm^2); W es la máxima carga aplicada con la máquina de prueba (Kg); L es la distancia entre los soportes (cm); B es el ancho de la muestra (cm); d es el espesor de la muestra (cm); x es la distancia promedio desde el centro del espécimen hacia el plano de la falla (cm).

Figura 40. Ensayo de módulo de ruptura en adobes (Foto: Verónica Benites).

3.5.3. Prueba de chorro de agua

La prueba de chorro de agua puede dar una idea de la durabilidad de los adobes cuando se someten a condiciones de lluvia intensa.

El ensayo consiste en aplicar un chorro de agua a una presión constante, sobre la superficie del elemento a evaluar a una determinada distancia y por un tiempo de

aplicación determinado. Luego se mide la profundidad de la marca dejada por el chorro sobre la superficie como porcentaje del espesor del material en esa dimensión. Las muestras sometidas al ensayo de chorro de agua se pueden observar en la Figura B8 del anexo B.

La presión del agua ejercida sobre los adobes se puede calcular utilizando la dinámica de fluidos y de este modo puede mantenerse constante, la representación gráfica se aprecia en la Figura 41. Para ello se utilizó el método propuesto por Fox, McDonald, y Pritchard (2011), según la ecuación 2:

$$0=\int(\rho V1\ dA1)+\int(\rho V2\ dA2) \qquad \text{Ec. (2)}$$

Figura 41. Representación gráfica de las velocidades y áreas usadas para el cálculo del ensayo del chorro de agua (Fuente: Chen, 2009).

Donde ρ es la densidad del agua (1 g / cm^3), V1 es el vector de velocidad del agua que entra en la boquilla, V2 es el vector de velocidad de agua que sale de la boquilla, A1 es el área de la sección transversal del vector de la manguera, A2 es el área de sección transversal de la boquilla de vector.

A continuación se utiliza la conservación del momento del agua para calcular la fuerza del agua que sale de una boquilla. La ecuación de conservación de la masa de agua es la siguiente:

$$F=\int(\rho V1)(V1dA1)+\int(\rho V2)(V2dA2) \qquad \text{Ec. (3)}$$

Esta ecuación se puede reducir a Ec. (4):

$$F=\rho(V2^2A2 - V1^2A1) \qquad \text{Ec. (4)}$$

Finalmente la presión del agua puede ser calculada utilizando la Ec. (5):

$$P=F/A2 \qquad \text{Ec. (5)}$$

Donde P es la presión, F es la fuerza ejercida por el agua y A2 es el área de la boquilla.

El propósito de esta ecuación es indicar qué presión se usará, qué diámetro de salida y por lo tanto, la fuerza aplicada.

En la literatura se ha verificado que no hay un procedimiento estándar para el ensayo. Pueden variar la presión del chorro de agua, el tiempo que permanece aplicado este chorro y la distancia de aplicación al adobe. Por ejemplo, la prueba de chorro de agua realizada por Ramírez (2011) para evaluar un adobe estabilizado con cal, empleó un golpe de agua de 1400 PSI con una duración de 5 minutos a una distancia de 60 cm. Chen (2009) y Alam et al. (2014) realizaron el ensayo con una duración de 30 y 60

segundos respectivamente, pero no precisan la presión aplicada. En esta investigación se usará un chorro de agua con una presión contante de 700 PSI a una distancia de 30 cm durante un tiempo de 60 segundos, considerando que estos adobes así como el efecto de la estabilización son relativamente débiles y por eso se usa poco tiempo y poca presión.

Antes de la prueba, se midió el espesor de cada muestra de ladrillo. Un chorro de agua a presión constante (700 PSI) se ejerció en el centro de cada una de ladrillo durante 60 s a una distancia de 30 cm, como se observa en la Figura 42, y luego se midió la profundidad de penetración empleando una varilla metálica y un vernier. Tres especímenes fueron ensayados tanto para la muestra de control como para los tiempos de reposo del extracto de cabuya. Por último, se registró el porcentaje promedio de penetración para cada conjunto.

A partir de los resultados obtenidos por otros autores y esta investigación, se puede concluir que el ensayo de chorro de agua es una prueba comparativa, cuyo resultado es un valor relativo de la medida de durabilidad por acción de la lluvia.

Figura 42. Ensayo de chorro de agua (Foto: Verónica Benites).

3.5.4. Ensayo de inmersión

El siguiente ensayo fue propuesto por Micek et al. (2006), el cual es un indicador de la durabilidad de los adobes cuando se exponen a condiciones de inundación. Las inundaciones podrían ocurrir después de fuertes lluvias sostenidas o como resultado del rápido derretimiento de la nieve. Este autor estableció unas calificaciones no estándares que se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Calificaciones de los resultados de la prueba de inmersión.

Clasificación	Símbolo	Descripción
Despreciable	N	La unidad no muestra ningún daño visible. No hay hendiduras producidas por la presión de la inserción con un dedo.
Ligero	L	La unidad no muestra ningún daño visible, pero podría ocurrir con una ligera presión.
Moderado	M	La unidad muestra daños estructurales visibles y hendiduras con una ligera presión. El agua que queda en el tanque es de color marrón debido a la descomposición de la unidad.
Severo	S	La unidad pierde la mayor parte de sus superficies o bordes. El agua que queda en el tanque es de color marrón y fangosa por la erosión, y la unidad no puede soportar ningún tipo de presión.

Fuente: Micek et al., 2006.

Para esta prueba se utilizaron las mismas unidades ensayadas en el ensayo de chorro de agua; se colocaron en las tinas y se sumergieron durante 24 h, al cabo de las cuales se evaluó el deterioro de las unidades, tal como se muestra en la Figura 43 y en la Figura B9 del anexo B. Como se trata de una prueba basada en la observación relativa, se requiere de la valoración individual de las unidades por parte de tres personas y una clasificación después de la observación general.

Figura 43. Adobes sumergidos en agua por 24 (Foto: Verónica Benites).

Capítulo 4
Análisis y discusión de resultados

4.1. Propiedades mecánicas

4.1.1. Resistencia a la compresión

Los resultados se muestran en la Figura 44, y el detalle de los datos en la Tabla A1 del anexo A. Se puede observar que los adobes estabilizados con extracto de Cabuya muestran en general, una ligera mejora de la resistencia a la compresión que las muestras de control. Esto implica que la estabilización no aporta significativamente a la resistencia a la compresión del adobe, como se había indicado en la literatura.

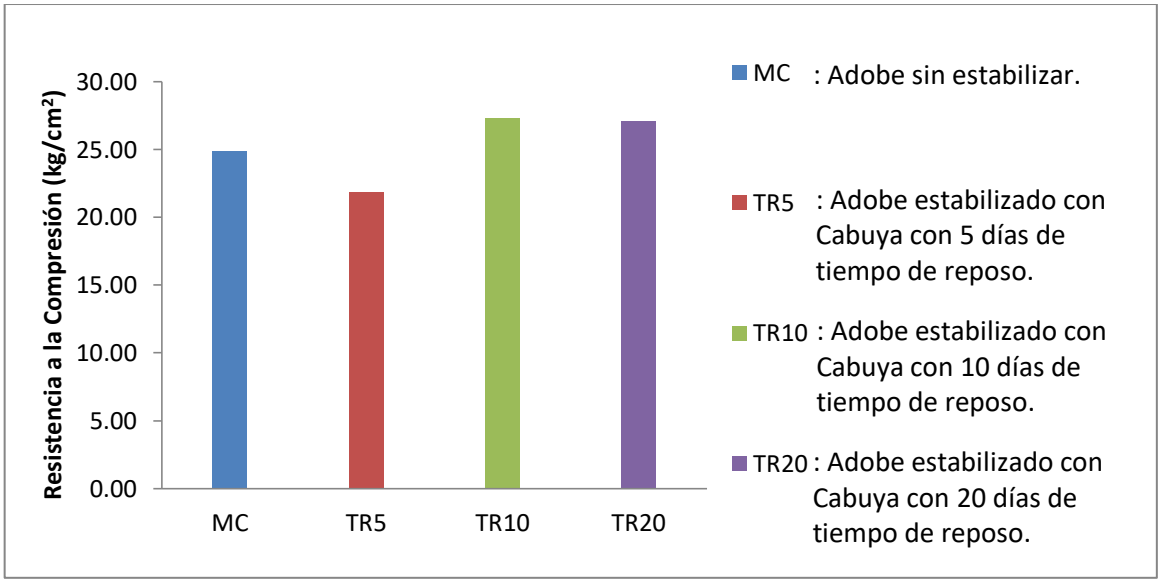


Figura 44. Comparación de la resistencia a la compresión entre el adobe sin estabilizar y el adobe estabilizado con Cabuya.

Al analizar el tiempo de reposo del extracto de cabuya, se puede observar que cuando el tiempo de reposo es de 10 y 20 días, las unidades muestran la mayor resistencia a la compresión en comparación un tiempo de reposo de 5 días. Como se puede ver entre 10 y 20 días de maceración, hay una mínima diferencia entre los resultados, teniendo como resultados 27.32 kg/cm^2 y 27.10 kg/cm^2 respectivamente, aunque es ligeramente mayor cuando se macera 10 días. Por otro lado, cuando se deja macerar el extracto por 5 días, se obtiene una resistencia de 21.82 kg/cm^2, menor al de las muestras de control con 24.92 kg/cm^2.

Esto podría explicarse porque a los 5 días el polímero aún no ha reaccionado con el agua lo suficiente para permitir mejorar las propiedades mecánicas del suelo. Probablemente la falta de maceración del extracto de cabuya deja, a esta edad, mucha agua libre que al evaporarse durante el secado posterior, sigue dejando aún vacíos en el adobe, reduciendo su resistencia. Sin embargo para un tiempo de reposo de 10 días ya se aprecia un incremento de la resistencia la compresión, aunque sigue siendo poco significativo respecto a las muestras de control. Con un tiempo de reposo de 20 días, vuelve a disminuir respecto al de 10 días, pero sigue siendo mayor que el del adobe sin estabilizar. Esto sugiere un tiempo mínimo para que el extracto de Cabuya (*Furcraea andina*) adquiera las propiedades suficientes para influir favorablemente en las propiedades mecánicas de un adobe muy cercano a los 10 días.

Se verifica que la estabilización de adobe con el extracto de Cabuya no logra mejorar la resistencia a la compresión, como ocurre con la mayoría de los polímeros naturales, ya que si bien aglomera las partículas del adobe, reduciendo la porosidad y provocando una mayor densificación en el material, esta densificación no es significativamente grande en relación al adobe sin estabilizar. Se puede decir entonces que su mayor aporte está en la reducción de la penetración del agua más que en la densificación del material, pues el efecto más notable radica en dispersar sus partículas entre otras más pequeñas, llenando los poros total o parcialmente, reduciendo así la penetración del agua.

Al comparar los resultados obtenidos con los encontrados en la literatura, usando distintos tipos de estabilizantes (Tabla 5) se puede observar que el adobe sin estabilizador muestra una resistencia a la compresión similar a los hallados por los autores, y que los adobes estabilizados con Cabuya (*Furcraea andina*) son muy bajas en relación con otros métodos de estabilización.

Tabla 5. Comparación con datos publicados en la literatura.

Autores	**Estabilizante**	**Resistencia a la compresión (kg/cm2)**	
		Suelos sin estabilizar	**Estabilizado**
Presente investigación	Extracto de Cabuya (*Furcraea andina*)	24.92	21.82-27.32
Kabiraj (2012)	Hasta 10% de cemento	-	11.7-30.5
	Fibras de yute y cemento		20.1-50.9
Galán et al. (2010)	Alginato y lana de oveja	22.3	37.7
Chen (2009)	Cemento y cal	-	1.5-33.6
Atzeni et al. (2008)	Cemento cal y polímeros	9	51
Bui et al. (2008)		16.5	-
Hossain et al. (2007)	Ceniza volcánica, cal y cemento	-	3.9-31
Morel et al. (2007)		15-30	-
Jiménez y Cañas (2006)		6-22.5	-
Bahar et al. (2004)	Hasta 20% de cemento	-	45-65

Fuente: Alam et al., 2014.

En un ensayo de compresión se pueden producir distintos tipos de rotura, la rotura frágil y la rotura dúctil. En la primera predominan las grietas paralelas a la dirección de la carga, la rotura ocurre de un modo brusco y bajo deformaciones muy pequeñas, presentándose después de ella un desmoronamiento del adobe. En la segunda la muestra se limita a deformarse, sin que aparezcan zonas de discontinuidad en ella. De forma intermedia, la rotura se produce a través de un plano inclinado, apareciendo un pico en la resistencia y un valor residual (Jiménez, 1975). En la Figura 45, 46, 47 y 48 se puede observar que todos los especímenes, sin estabilizar y estabilizados, sometidos al ensayo de compresión presentan una rotura frágil.

Figura 45. Especímenes sin estabilizar sometidos a ensayo de compresión **(**Foto: Verónica Benites).

Figura 46.Especímenes estabilizados con Cabuya con un tiempo de reposo de 5 días sometidos a ensayo de compresión (Foto: Verónica Benites).

Figura 47. Especímenes estabilizados con Cabuya con un tiempo de reposo de 10 días sometidos a ensayo de compresión (Foto: Verónica Benites).

Figura 48. Especímenes estabilizados con Cabuya con un tiempo de reposo de 20 días sometidos a ensayo de compresión (Foto: Verónica Benites).

4.1.2. Resistencia a la flexión

En el ensayo de resistencia a la flexión el parámetro que se evalúa es el módulo de rotura. Para el adobe sin estabilizar, diversas fuentes sugieren valores mínimos de este parámetro. Por ejemplo, donde según el Masonry Standards Joint Committee (MSJC) indica como valor mínimo de 2.06 kg/cm^2.

Figura 49. Especímenes sometidos a ensayo de flexión (Foto: Verónica Benites).

Este ensayo se midió tanto en las muestras de control como en los adobes estabilizados para cada tiempo de reposo del polímero como se observa en la Figura 49. Los resultados se muestran en la Figura 50, y los detalles del ensayo en la Tabla A2 del anexo A. Se puede observar que los adobes sin estabilizar presentan un módulo de rotura mayor al establecido por el MSJC, pero los adobes estabilizados con extracto de Cabuya (*Furcraea andina*) presentan una mejora significativa en su módulo de rotura respecto a las muestras de control sin estabilizar en todos los casos, independientemente del tiempo de maceración usado.

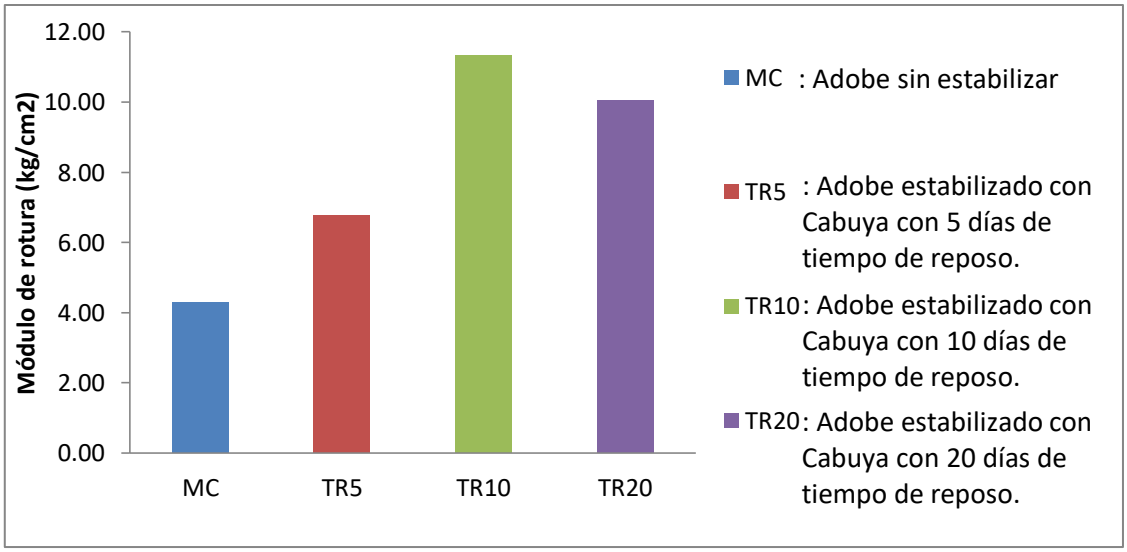


Figura 50. Comparación del módulo de rotura entre el adobe sin estabilizar y el adobe estabilizado con Cabuya.

Nuevamente, en la Figura 50 es posible notar un tiempo óptimo para el cual el efecto de la estabilización es mejor. Los adobes estabilizados con un tiempo de reposo de 10 días fueron las muestras con el mayor módulo de rotura de 11.34 kg/cm^2, seguidos por los adobes con un tiempo de reposo de 20 días con un valor de 10.05 kg/cm^2. Los adobes estabilizados con un tiempo de reposo de 5 días solo obtuvieron un módulo de rotura de 6.79kg/cm^2, mientras que los adobes sin estabilizar presentaron un módulo de rotura de 4.30 kg/cm^2. El aumento del módulo de rotura puede deberse a que las sustancias de origen orgánico como los polímeros extraídos de vegetales cumplen también funciones aglutinantes; el producto que se añade modifica la estructura granular, proporcionando cohesión y disminuyendo la excesiva plasticidad (Amorós,

2011). Al mejorar la cohesión se genera una mayor resistencia a la tensión, que es producida por las fuerzas de atracción que existe entre los granos en contacto (Sánchez, 2010). Es así que el extracto de Cabuya funciona como aglutinante entre las partículas del adobe, lo cual genera un aumento en el módulo de rotura.

Se puede decir que el tiempo necesario para la maceración del polímero es cercano a los 10 días pues con este tiempo de reposo se obtiene el mejor resultado respecto a las demás alternativas. Esto significa que con 10 días se obtiene una mejor activación de todos sus componentes para lograr aglutinar las partículas del suelo. Se observa también que un tiempo de reposo prolongado no garantiza buenos resultados, si no que existe un tiempo óptimo para el esfuerzo de flexión y en este caso es a los 10 días, aunque a los 5 días de tiempo de reposo también se obtiene un buen resultado.

Chen (2009) obtuvo un módulo de rotura entre 0.15 a 5.58 kg/cm^2 en su estudio sobre los estabilizadores como el cemento y cal. Los valores obtenidos de esta investigación superan este rango, siendo el adobe estabilizado con un tiempo de reposo de 10 días la opción más viable. Sin embargo hay que tener en cuenta que el suelo original empleado ya tiene un módulo de rotura adecuado.

Como se sabe existe una relación entre módulo de rotura (F) y la resistencia a la compresión (R) cuyo valor varía según el tipo de material, esta relación se puede representar a través de la siguiente expresión r=F/R. Mientras mayor sea el módulo de rotura en relación a la resistencia a la compresión, mayor será el valor de r, por lo que el material será más dúctil; sin embargo si el material presenta una mayor resistencia a la compresión en comparación del módulo de rotura, su r disminuirá y será más frágil.

A partir de los resultados obtenidos se puede obtener la relación entre la resistencia a la compresión (R) y el módulo de rotura (F) del adobe sin estabilizar y del adobe estabilizado con Cabuya con un tiempo de reposo de 5, 10 y 20 días. La Figura 51 muestra los resultados obtenidos, en donde se puede observar que los adobes sin estabilizar presentan un r menor al de los adobes estabilizados con extracto de Cabuya (*Furcraea andina*).

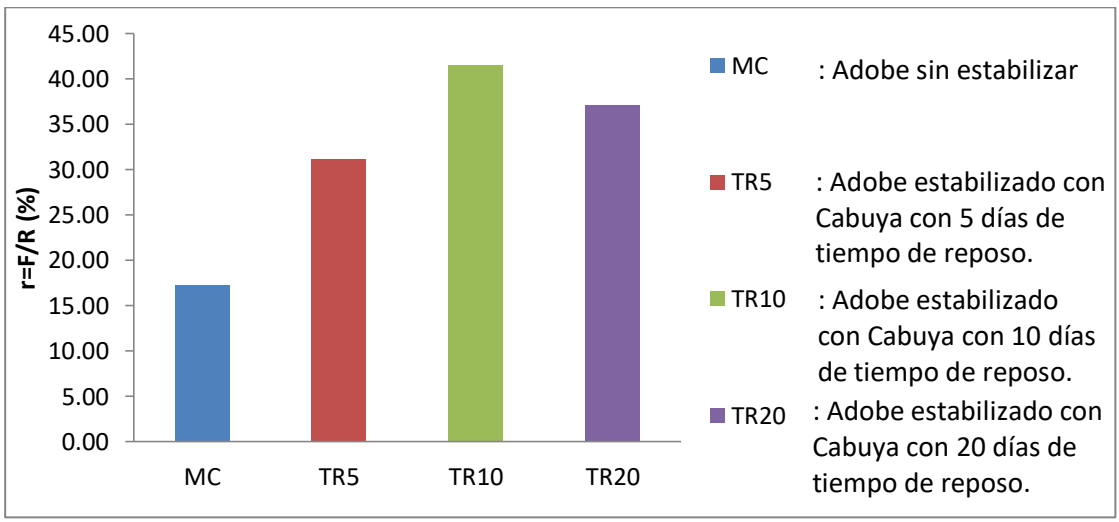


Figura 51. Comparación de relación r (r=F/R) entre el adobe sin estabilizar y el adobe estabilizado con Cabuya.

También es posible apreciar un tiempo óptimo en donde se alcanza el máximo r. Es así que los adobes estabilizados con un tiempo de reposo de 10 días fueron las muestras con el máximo r de 41%, seguidos por los adobes estabilizados con un tiempo de reposo de 20 días con un valor de 37%. Los adobes estabilizados con un tiempo de reposo de 5 días solo obtuvieron un r de 31%, mientras que los adobes sin estabilizar presentaron un r de 17%. A partir de estos resultados se puede afirmar que existe un tiempo de reposo óptimo en donde el adobe estabilizado con extracto de Cabuya se vuelve más dúctil.

Al comparar los resultados de la relación entre la resistencia a la compresión y módulo de rotura del adobe con la de otros materiales, se puede afirmar que el adobe sin estabilizar presentan un r muy parecido al del concreto, que varía entre 10-20%, mientras que los adobes estabilizados con Cabuya muestran un r mayor que el del concreto y más parecido al ladrillo de arcilla cocida.

4.2. Resistencia al agua

4.2.1. Prueba de chorro de agua

El ensayo de chorro de agua simula las precipitaciones pluviales que puede sufrir el adobe, los resultados numéricos se pueden observar en la Figura 52, mientras que en la Tabla A3 del anexo A se muestran los resultados expresados como un porcentaje respecto al espesor del adobe. Allí se puede notar claramente que el adobe estabilizado con cabuya (*Furcraea andina*) es muy resistente al chorro de agua con respecto al adobe original, las penetraciones han sido de 0.33, 0.17 y 0 mm que en porcentaje no exceden del 1%. También se verifica que un mayor tiempo de reposo garantiza un mejor comportamiento del adobe estabilizado, pero con 5 días ya se observa una mejora significativa del adobe estabilizado a la presión del agua.

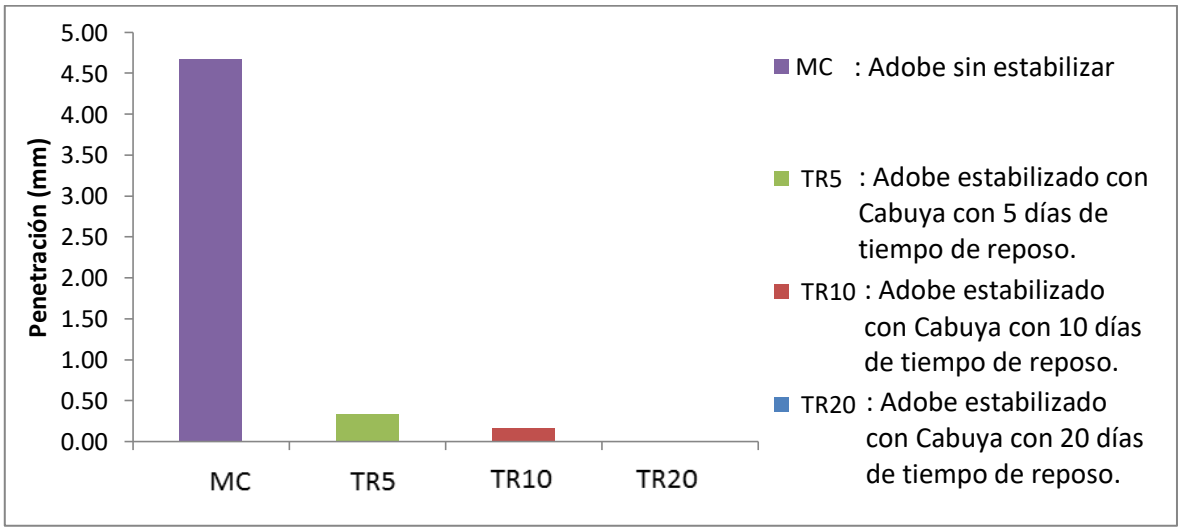


Figura 52. Comparación de la penetración por chorro de agua entre el adobe sin estabilizar y el adobe estabilizado con Cabuya.

Los adobes sin estabilizar indican una penetración de 6.74% como se observa en la Figura 53a, mientras las muestras con 5 y 10 días de tiempo de reposo presentan una penetración de 0.44% y 0.25%, con una superficie irregular alrededor del lugar donde fue aplicado el chorro de agua, como se puede ver en la Figura 53b y 53c, finalmente los adobes estabilizados con 20 días de tiempo de reposo muestran una penetración de 0% como se aprecia en la Figura 53d. La aplicación del chorro sobre estas últimas no ha producido daño en el adobe pero sí la salpicadura, dejando un marca alrededor. Esto da entender que sí hay un efecto, pero es muy pequeño y que este adobe estabilizado ofrece una superficie resistente al golpe de agua.

Estos resultados obtenidos se deben a que la Cabuya (*Furcraea andina*) como polímero tiene la capacidad de dispersar sus partículas entre otras más pequeñas, llenando los poros vacíos en el adobe, reduciendo la porosidad, generando una mayor densidad en el material y disminuyendo la penetración de agua.

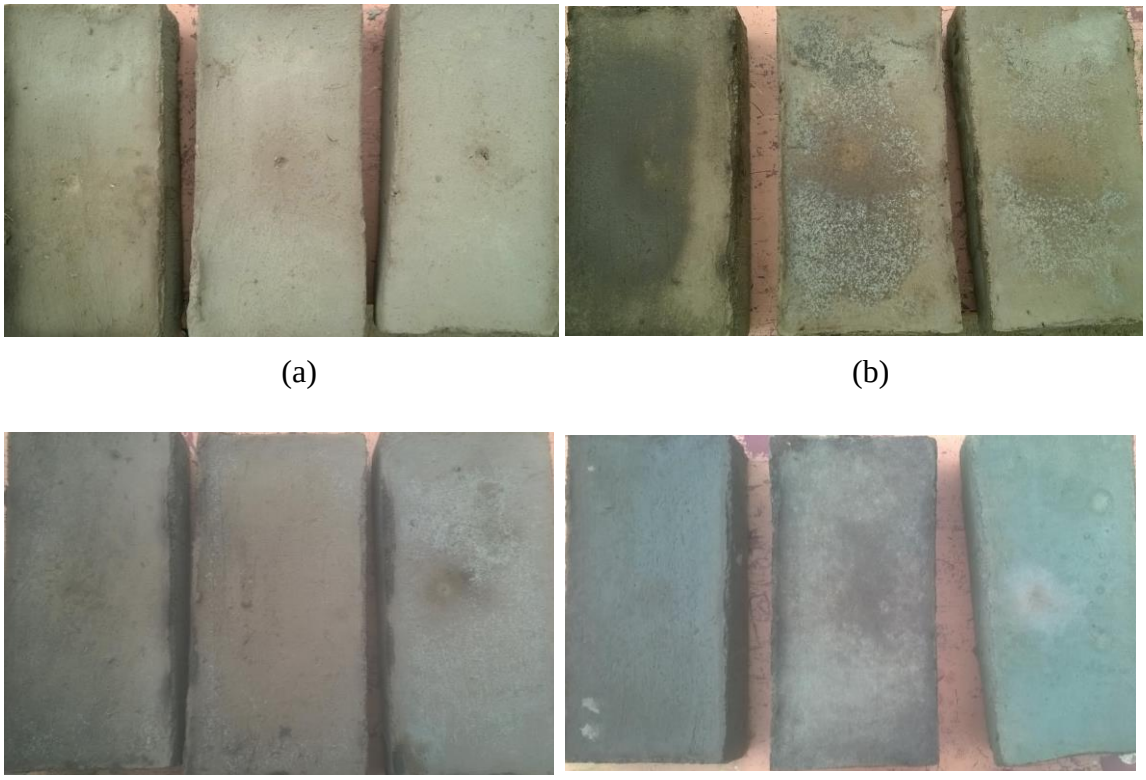


Figura 53. Adobes sometidos al ensayo de chorro de agua (a) Sin estabilizar. (b) Cabuya con 5 días de maceración. (c) Cabuya con 10 días de maceración. (d) Cabuya con 20 días de maceración (Foto: Verónica Benites).

En la Figura 54 se muestra los resultados del ensayo de chorro de agua en los adobes estabilizados, midiendo la profundidad de la penetración con un vernier y una varilla metálica. Es evidente la mejora en el desempeño del adobe, dado que los niveles de penetración obtenidos en ningún caso exceden 1.00 mm. Además se verifica que mientras mayor sea el tiempo de reposo mayor será la resistencia al agua de los adobes estabilizados. Sin embargo aunque con 20 días la resistencia a la acción del chorro de agua del adobe es muy alta (sin penetración), parece suficiente utilizar un tiempo de reposo de 5 días. .

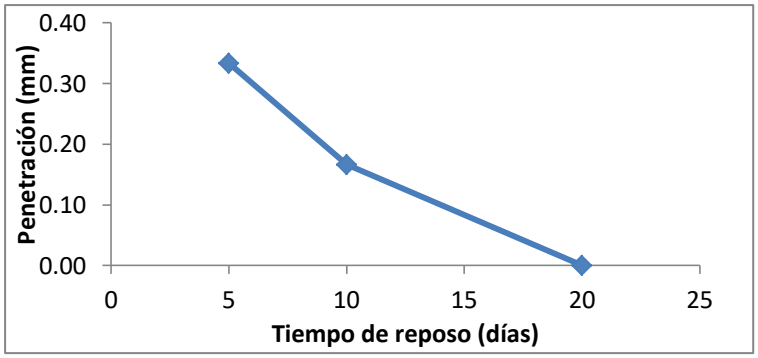


Figura 54. Variación de la penetración por chorro de agua en mm en los adobes estabilizados con el tiempo de reposo del extracto de Cabuya (Fuente: Elaboración propia).

4.2.2. Ensayo de inmersión

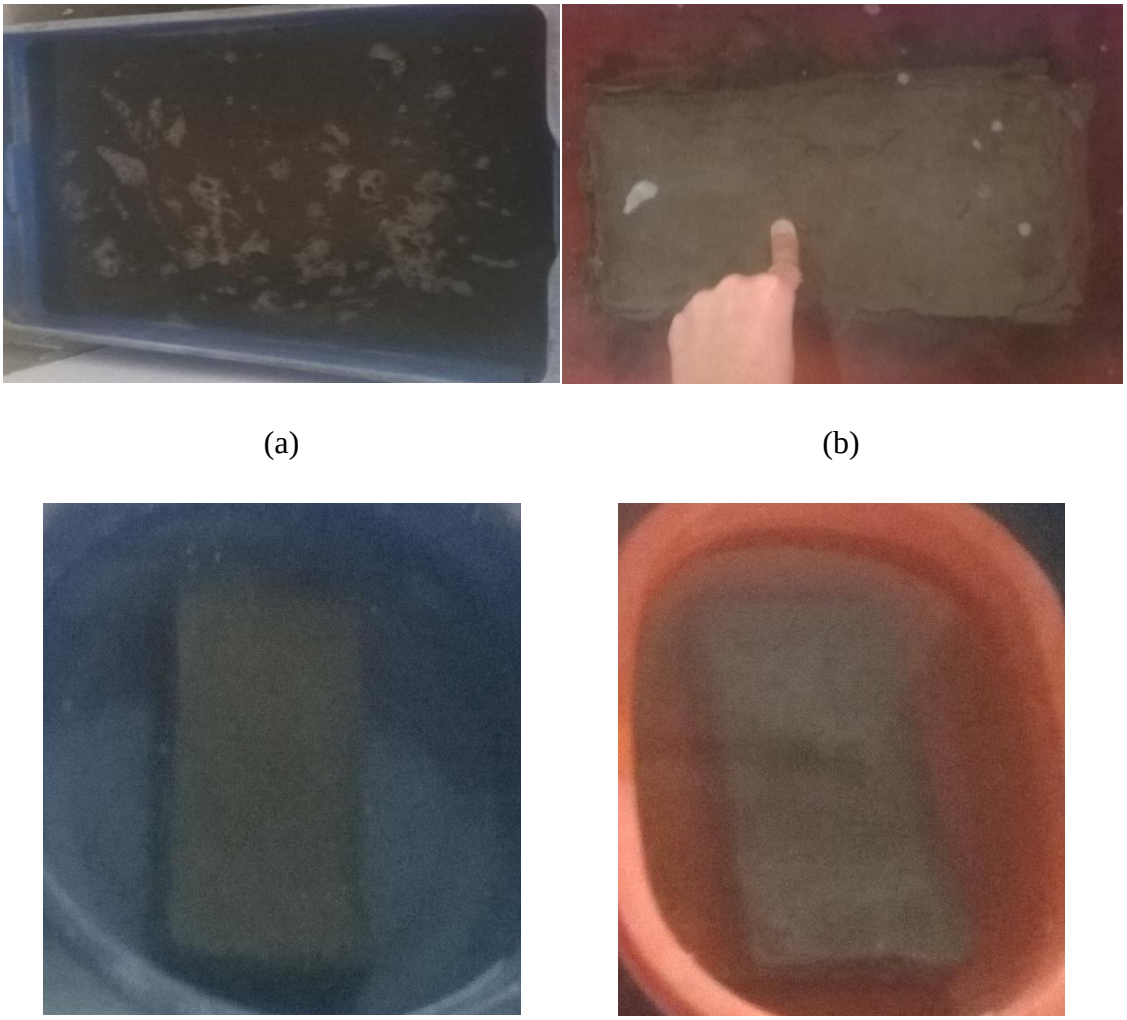
El ensayo de inmersión simula la inundación durante las precipitaciones pluviales. La Tabla 6 presenta los resultados del ensayo de inmersión realizado en 24 horas, las muestras de adobe que no presentaban estabilizador mostraron resultados severos, perdiendo su estructura, su consistencia era lodosa y el agua se tornó color marrón, como se observa en la Figura 55a.

Para el caso de las muestras estabilizadas con 5 días de tiempo de reposo presentaron resultados moderados, en donde los adobes mostraron daños estructurales visibles como fisuras, así como hendiduras al aplicar una ligera presión con el dedo, tal como se ve en la Figura 55b. Para las muestras estabilizadas con 10 días de tiempo de reposo, dos de ellas tuvieron daños ligeros ya que mostraron casi ningún daño visible y al aplicar presión con el dedo no se formaba hendiduras, como se aprecia en la Figura 55c, mientras que la tercera muestra presentó fisuras en su estructura pero al aplicar una ligera presión con el dedo no se formó ninguna hendidura.

Tabla 6. Resultados del ensayo de inmersión.

Ensayo de inmersión en adobes	
Tiempo de reposo	**Resultado**
0 días	S
	S
	S
5 días	M
	M
	M
10 días	M
	L
	L
20 días	L
	M
	M

S: daños severos
M: daños moderados
L: daños ligeros
Fuente: Elaboración propia



(a) (b)

(c) (d)

Figura 55. Especímenes sometidos a ensayo de inmersión: (a) Adobe sin estabilizar. (b) Adobe estabilizado con Cabuya con 5 días de tiempo de reposo. (c) Adobe estabilizado con Cabuya con 10 días de tiempo de reposo. (d) Adobe estabilizado con Cabuya con 20 días de tiempo de reposo. (Fuente: Elaboración propia).

Las muestras estabilizadas con 20 días de tiempo de reposo presentaron comportamiento diverso. Dos de ellas presentaron fisuras en su estructura pero no se formaron hendiduras al aplicar una ligera presión, mientras que la tercera no mostró fisuras en su estructura y al aplicar una ligera presión no se formó ninguna hendidura, esta última muestra se puede observar en la Figura 55d.

Los resultados obtenidos se deben a que la Cabuya (*Furcraea andina*) recubre los granos de tierra con una película impermeable y elimina al máximo la absorción y la adsorción del agua, estabilizando la mezcla ante la acción del agua, al llenar los poros del material. Se verifica entonces que un adobe estabilizado con polímeros naturales mejora su resistencia al agua.

Al analizar el desempeño a la inmersión del adobe estabilizado con respecto al tiempo de reposo del extracto de cabuya se puede verificar que a los 10 días mejora significativamente y disminuye cuando el tiempo de reposo se incrementa. Se puede decir que hay un tiempo de reposo óptimo para el cual se logra la máxima resistencia a

la inmersión del adobe. Si bien con 10 días de tiempo de reposo se consigue el mejor desempeño del adobe estabilizado, ya con 5 días hay una mejora significativa. Por lo tanto, tomando en cuenta el comportamiento de este polímero en los demás ensayos, se puede concluir que 5 días de reposo son suficientes para lograr que el polímero se active y ofrezca un buen resultado en la resistencia a la inmersión del adobe estabilizado.

En la Tabla 7 se comparan los resultados de este ensayo con los obtenidos por otros autores. Se puede apreciar que los adobes sin estabilizar siempre presentarán daños severos ante la presencia de agua. Para el caso de las muestras estabilizadas con 10 días de maceración tuvieron un deterioro ligero a la inmersión, por lo que su comportamiento es comparable con el del adobe estabilizado con 10% de cal o un adobe estabilizado con 5% de cemento. Los adobes estabilizados con extracto de cabuya con 5 y 20 días de maceración mostraron un deterioro moderado, cuyo comportamiento es similar al de los adobes estabilizados con 5% y 7% de cal, con 1.5% de paja o con 2% de cemento y 1% de paja.

Tabla 7. Comparación de los resultados del ensayo de inmersión de esta investigación con otros autores.

Autor	**Espécimen estabilizado**	**Resultado**
Resultados de ensayo	Adobe sin estabilizar	S
	Adobe estabilizado con Cabuya macerado 5 días	M
	Adobe estabilizado con Cabuya macerado 10 días	L
	Adobe estabilizado con Cabuya macerado 20 días	M
Alam et al. (2014)	Adobe sin estabilizar	S
	Adobe estabilizado con 5% de cemento	N
	Adobe estabilizado con 7% de cemento	N
	Adobe estabilizado con 10% de cemento	N
	Adobe estabilizado con 10% de yeso	S
	Adobe estabilizado con 5% de cal	M
	Adobe estabilizado con 7% de cal	M
	Adobe estabilizado con 10% de cal	L
	Adobe estabilizado con 1% de paja	S
	Adobe estabilizado con 1.5% de paja	M
	Adobe estabilizado con 2% de paja	S
	Adobe estabilizado con 2% de cemento y 1% de paja	M
	Adobe estabilizado con 4% de cemento y 1% de paja	N
Chen (2009)	Adobe sin estabilizar	S
	Adobe estabilizado con 10% de cemento	N
	Adobe estabilizado con 5% de cemento	L
	Adobe estabilizado con 5% de cemento y 5% de cal	N
	Adobe estabilizado con 7% de cal y arena	S
	Adobe estabilizado con 7% de cal	S
	Adobe estabilizado con 10% de cal y arena	S

Fuente: Elaboración propia.

El ensayo de inmersión demostró que el adobe estabilizado mejora siempre su resistencia al entrar en contacto con el agua en comparación con el adobe sin estabilizar. Esto demuestra que la estabilización con este polímero es efectiva para lograr reducir la destrucción del material cuando es sometido al agua por inundación.

Al analizar el tiempo de maceración del polímero se puede observar que hay una tendencia a incrementar la resistencia al agua cuando se incrementa el tiempo de reposo o maceración del extracto de Cabuya. Sin embargo, cuando el tiempo de maceración alcanza los 20 días, esta resistencia disminuye. Esto define un valor óptimo de maceración alrededor de los 10 días. Si bien a los 10 días se alcanzan los mejores resultados en este ensayo, a los 5 días ya se pueden apreciar resultados favorables desde el punto de vista de la inmersión, por lo que se podría sugerir como un tiempo mínimo de reposo los 5 días para que la Cabuya active de forma adecuada sus componentes y permita alcanzar una buena resistencia al agua por inmersión.

Conclusiones y recomendaciones

- El extracto de Cabuya es un polímero vegetal que sí contribuye significativamente a la estabilización del adobe, mejorando sus propiedades de resistencia al agua, como un polímero aglutinante que reduce a casi cero el efecto de daño por inmersión y chorro de agua en el adobe. Tiene además cierto efecto en sus propiedades mecánicas, pues para ciertas condiciones, se puede registrar una mejora en la resistencia a la compresión de hasta el 9.6%; mejora la capacidad de deformación y adherencia, con un módulo de rotura que llega hasta un 133.7%.

- El uso del extracto de Cabuya como estabilizante puede sustituir a otros materiales como la tuna, la cal, el cemento o las cenizas volcánicas en la estabilización de adobes para albañilería, ya que presenta propiedades de resistencia al agua muy similares. Aunque puede disminuir la resistencia a la compresión, ésta sigue siendo mayor que la mínima pedida por el reglamento peruano para adobes.

- El uso del extracto de Cabuya como estabilizante para el adobe requiere un tiempo de maceración o tiempo de reposo para lograr su descomposición química. Los resultados sugieren un tiempo de reposo mínimo de 5 días para lograr una mejora significativa en el desempeño del adobe frente a la resistencia al agua sin que las propiedades mecánicas disminuyan significativamente. Sin embargo, si se quiere alcanzar la máxima mejora posible tanto en la resistencia al agua como en las propiedades mecánicas, se podría sugerir un tiempo de remojo óptimo de 10 días.

- Es claro que los polímeros naturales requieren un tiempo de reposo o maceración para activar sus propiedades estabilizantes. Este tiempo depende de cada tipo de polímero y de las condiciones climáticas donde se realice el proceso de preparación.

- Dado que la Cabuya es un estabilizante natural, su uso resultaría económico ya que es una planta oriunda de la sierra, lugar en donde la mayoría de viviendas son hechas de adobe y cuyos recursos en algunos casos son escasos. Los polímeros vegetales son una alternativa viable y económica para la estabilización de adobe, evaluar otras sustancias nativas según la zona es un buen modo de hacer ingeniería sostenible y económica.

Bibliografía

Achenza M. & Fenu, L. (2005). On Earth Stabilization with Natural Polymers for Earth Masonry Construction. Materials and Structures, 21, 21-27.

Aguilar B. (2008). Construir con adobe, fundamentos, reparación de daños y diseño contemporáneo. México:Trillas.

Alam, I.,Naseer, A. & Shah, A.A. (2014). Economical stabilization of clay for earth buildings construction in rainy and flood prone areas. Construction and Building Materials, 77, 154–159, Pakistán.

Algara M., Cárdenas A., Arista G. & Rodríguez J. (2012). Diseño de bloques de suelo estabilizado para uso urbano en San Luis Potosí. Congreso Internacional de Investigación. Academia Journals, 4(3), 83-87. Celaya.

Amorós M. (2011). Desarrollo de un nuevo ladrillo de tierra cruda, con aglomerantes y aditivos estructurales de base vegetal. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.

ASTM: C170-06. Standard test method for compressive strength of dimensión stone. (2006). ASTM Standards.

Atzeni C., Pia G., Sanna U. & Spanu N. (2008). Surface wear resistance of chemically orbthermally stabilized earth-based materials. Materials and Structures, 41, 751–758.

Barrios G ., Álvarez L., Arcos H., Marchant E. & Rosi, D. (1986). Comportamiento de los suelos para la Confección de adobes. Informes de la Construcción, 37, 377, 43-49. España: Consejo Superior de Investigaciones Científicas Licencia Creative Commons.

Babu G. & Vasudevan A. (2008). Strength and stiffness response of coir fiber reinforced tropical soil, 20(9), 571–577.

Bahar R., Benazzoug M. & Kenai S. (2004). Performance of compacted cement-stabilised soil. Cement and Concrete Composites, 26, 811–820.

Barrantes W. (2013). Efecto de la concentración de sólidos solubles de aguamiel de Cabuya (*Furcraea Andina*) en las características sensoriales de una bebida destilada tipo tequila blanco. Universidad Cesar Vallejo. Cientifi-k, 1(1), 47-61.

Bengtsson L. & Whitaker J. (1986). Farm structures in tropical climates. Rome: FAO/SIDA Cooperation Programme.

Blondet M., Vargas J., Torrealva D. & Rubiños A. (2010). Manual de construcción con adobe reforzado con geomallas de viviendas de costo saludables y seguras. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.

Bouhicha M., Aouissi F. & Kenai S. (2005). Performance of composite soil reinforced with barley straw. Cement & Concrete Composite, 27, 617–21.

Bui Q., Morel J., Hans S. & Meunier N. (2008). Compression behaviour of non-industrial materials in civil engineering by three scale experiments: the case of rammed earth. Materials and Structures, 42, 8, 1101-1116.

Building code requirements for masonry structures (ACI 530-02/ASCE 5-02/ TMS 402-02). MSJC (Masonry Standard Joint Committee). (2011). Table 2.2.3.2, C-26.

Buscando soluciones al problema de la paja de arroz a través de la bioconstrucción. (2015). Revista EcoHabitar. Recuperado de http://www.ecohabitar.org/buscando-soluciones-al-problema-de-la-paja-de-arroz-a-traves-de-la-bioconstruccion/

Bush A. (1984). Understanding stabilized earth construction. Arlington, Virginia: Volunteers in Technical Assistance.

Cabo M. (2011). Ladrillo ecológico como material sostenible para la construcción. Universidad Pública de Navarra.

Carbajal F., Ruiz G. & Schexnayder C. (2014a). Restoration of a Historic Adobe Church. Practice Periodical on Structural Design and Construction. Perú.

Carbajal F., Ruiz G. & Schexnayder C. (2014b). Appreciation of the Environment: 17th and 18th century Architectural Evolution of Colonial Churches on the North Coast of Perú. Practice Periodical on Structural Design and Construction, 20 (2). Perú.

Censos Nacionales 2007: XI de Población y VI de Vivienda (2007), Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) Perú.

Cervantes L. & Cuya S. (2015). Elaboración de miel de Cabuya y estudio de prefactibilidad de una planta en el distrito de Huanca Huanca, Provincia de Angaraes, Departamento de Huancavelica. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Perú: Lima.

Chen G. (2009). Analysis of stabilized adobe in rural East Africa. Faculty of California Polytechnic State University, San Luis Obispo.

Chur G. (2010). Evaluación del uso de la cascarilla de arroz como agregado orgánico en morteros de mampostería. Universidad de San Carlos de Guatemala. México: Guatemala.

De la Peña D. (1997). Adobe, características y sus principales usos en la construcción. Instituto Tecnológico de la Construcción (ITC) México D.F.

Doat P., Hays A., Houben H., Matuk S. & Vitoux F. (1991). Building with Earth. The Mud Village Society: First English Edition. New Delhi, India.

Domínguez M. & Schifter I. (1995). Las arcillas: el barro noble. México D.F.: Fondo de Cultura Económica.

Ducman V. & Kopar T. (2004). Potential use of waste stone mud in the clay based industry. Industrial Ceramics, 24 (1), 8-12.

Ericksen P. & Ardón M. (2003). Similarities and differences between farmer and scientist views on soil quality issues in central Honduras (pp. 233-248) Honduras: Geoderma.

Fox R., McDonald T. & Pritchard P. (2004). Introduction to Fluid Mechanics (6th ed.) Danvers, MA: John Wiley & Sons, Inc.

Galán C., Rivera C. & Petric J. (2010). Clay-based composite stabilized with natural polymer and fibre. Construction and Building Materials, 24, 1462–1468.

Gama J., Cruz T., Pi T., Alcalá R., Cabadas H., Jasso C., Díaz J., Sánchez S., López F. & Vilanova R. (2012). Arquitectura de tierra: el adobe como material de construcción en la época prehispánica. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana 64, 2, 177-188. México D.F.

Gendrop P. (2001). Diccionario de arquitectura mesoamericana (pp. 238). México: Trillas.

Guarda C., Menéndez A. & De Prada F. (2009). Química 2 bachillerato. Editorial Santillana educación, 408.

Guerrero L. (2001). Deterioro del patrimonio edificado en adobe. Universidad Autónoma Metropolitana. Revista Diseño y Sociedad, Vol. 13, 4-11. Xochimilco, México D.F.

Guerrero L. (2007). Arquitectura en tierra. Hacia la recuperación de una cultura constructiva vol. 20, 2, 369-383. Universidad Autónoma Metropolitana. Revista de Estudios sobre Patrimonio Cultural-Journal of Cultural Heritage Studies. Xochimilco, México D.F.

Hossain K., Lachemi M. & Easa S. (2007). Stabilized soils for construction applications incorporating natural resources of Papua New Guinea. Resources, Conservation and Recycling, 51, 711–731.

INDECOPI. (2005). Unidades de albañilería. Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería. Norma Técnica Peruana NTP 399.613. Lima, Perú.

Isık B, Ozdemir P & Boduroglu H. (1999). Earthquake aspects of proposing gypsum stabilized earth (alker) construction for housing in the southeast (GAP) area of Turkey. Workshop on Recent Earthquakes and Disaster Prevention Management. Earthquake Disaster Prevention Research Center Project (JICA). General Director of Disaster Affairs (GDDA). Disaster Management Implementation and Research Center (METU). Ankara.

Islam M. & Iwashita, K. (2006). Seismic Response of Fiber-Reinforced and Stabilized Adobe Structures. Proceedings of the Getty Seismic Adobe Project Colloquium.

Jiménez J. (1975). Geotecnia y cimientos I: Propiedades de los suelos y de las rocas. Madrid: Editorial Rueda.

Jiménez M. & Cañas I. (2006). Earth building in Spain. Construction and Building Materials, 20, 679–690.

Juárez E. & Rico A. (2005). Mecánica de suelos I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos. México: Editorial Limusa SA Grupo Noriega editores.

Kabiraj K. (2012). Experimental investigation and feasibility study on stabilized compacted earth block using local resources. UK: Mandal, 0976–4399.

Lambe W. & Whitman R. (1995). Mecánica de suelos. Balderas, Mexico: Editorial Limusa SA Grupo Noriega editores.

López J. & Bernilla P. (2012). Evaluación funcional y constructiva de viviendas con adobe estabilizado en Cayalti. Programa COBE-1976. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.

Minke G. (2008). Manual de Construcción en Tierra. La tierra como material de Construcción y sus aplicaciones en la arquitectura actual. ISBN 997 449 3471. (pp. 24). Uruguay: Fin de siglo.

Morales R., Cabrejos R., Rengifo L. & Candiotti C. (1993) Manual para la construcción de viviendas de adobe. CISMID-FIC-UNI. Lima, Perú.

Morel J., Pkla A. & Walker P. (2007). Compressive strength testing of compressed earth blocks. Construction and Building Materials, 1, 303–309.

Ngowi A. (1997). Improving the traditional earth construction: a case study of Botswana. Construction and Building Materials, 11(1), 1–7.

Niño M., Spinosi V., Ríos C. & Sandoval R. (2012). Effect of the addition of coal-ash and cassava peels on the engineering properties of compressed earth blocks. Construction and Building Materials, 36, 276–286, Colombia.

Oshiro P. (1990). La ayuda en caso de desastre: Construcción de una vivienda económica en adobe estabilizado. Manual de Apoyo No.2. Centro de Estudios y Prevención de Desastres (PREDES). Lima, Perú.

Pineda J. & Vega J. (2007). Enhancement of mechanical and hydrophobic properties of Adobes for Building Industry by the addition of polymeric agents. Building and Environment 42, 877-883.

Quiceno D. & Mosquera M. (2010). Alternativas tecnológicas para el uso de la cascarilla de arroz como combustible. Universidad Autónoma de Occidente. Santiago de Cali, Colombia.

Ramírez M. (2011). Deterioro y estabilización del adobe. Instituto Politécnico Nacional. México.

Reyes O., Porras M. & Rodríguez Y. (2001). Empleo de aceites quemados para mejorar las propiedades mecánicas de bases y subbases granulares. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 11, 55-58. Universidad Militar Nueva Granada Bogotá, Colombia.

Rico, A. (2005). La ingeniería de suelos en las vías terrestres: carreteras, ferrocarriles y autopistas. México D.F: Limusa.

Riego, C. (2001). Compactación de suelos agrícolas. Santiago de Chile: Trillas.

Ríos, E. (2010). Efecto de la adición de látex natural y jabón en la resistencia mecánica y absorción del adobe compactado. Instituto Politécnico Nacional. Oaxaca, México.

Ríos, S. (1994). Paredes Monolíticas. Arquitectura de Tierra en Iberoamérica. Argentina: CYTED-HABITERRA.

Rodríguez, M. A. & Saroza, B. (2005). Identificación de la composición óptima del adobe como material de construcción de una escuela en Cuba. Materiales de Construcción Vol. 56, 282, 53-62, ISSN: 0465-2746. Madrid, España.

Sánchez K. (2010). Propuesta de aditivos naturales y microfibras de papel para reparar fisuras en muros de monumento históricos de tierra. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.

Saroza B., Rodríguez M., Menéndez J. & Barroso I. (2008). Estudio de la resistencia a compresión simple del adobe elaborado con suelos procedentes de Crescencio Valdés, Villa Clara, Cuba. Informes de la Construcción, 60, 511,41-47, ISSN: 0020- 0883 e I SSN: 1988-3234.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2000). Reglamento Nacional de Edificaciones. Norma Técnica de Edificación E.080 Adobe. SENCICO. Lima, Perú.

Smith E. & Austin G. (1989). Adobe, pressed-earth, and rammed-earth industries in New Mexico. New Mexico. Bureau of Mines & Mineral Resources.

Sherwood P. (1992). Stabilized capping layers using either lime, or cement, or lime and cement. Contractor Report 151. Transport Research Laboratory, Crowthorne.

Stancato A., Burke A. & Beraldo A. (2005). Mechanism of a vegetable waste composite with polymer-modified cement (VWCPMC). Cement Concrete Composite, 27, 599–603.

Ugaz R., Tupia C. & Alva E. (2001). Ensayos sobre estabilización de suelos con el aditivo RBI-81. XIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil. Puno, Perú.

Valero P. (2015). Buscando soluciones al problema de la paja de arroz a través de la bioconstrucción. Revista EcoHabitar.

Vargas J., Heredia E., Bariola J. & Mehta P. (1986). Preservación de las construcciones de adobe en áreas lluviosas. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.

Vélez G. (2010). Arquitectura de barro. Revista digital apuntes de arquitectura. Caracas, Venezuela. Recuperado de http://apuntesdearquitecturadigital.blogspot.pe/2010/08/arquitectura-con-barro-arq-gonzalo.html

Vilela D. (2010). Estabilización de suelos dirigida a la fabricación de bloques de adobe, propuesta metodológica. Universidad Nacional de Loja, Ecuador.

Vitruvio (1986). Los diez libros de la arquitectura. Traducción directa del latín de A. Blánquez. Barcelona: Iberia.

Warren, J. (1999). Conservation of earth structures (pp. 40-41) Oxford: Butterworth-Heinemann.

Yetgin S., Cavdar O. & Cavdar A. (2006). The effects of the fiber contents on the mechanic properties of the adobes. Construction and Building Materials, 22, 222–227, Turkía.

Anexo A

Resultados de los ensayos de laboratorio

Tabla A 1. Resultados de ensayo de compresión

Ensayo de compresión en adobes de 5x5x5 cm				
Identificación del espécimen	**Área (cm^2)**	**Carga máxima (kg)**	**Resistencia de rotura (kg/cm^2)**	**Promedio (kg/cm^2)**
C0-3	25.50	635	24.90	24.92
C0-4	25.34	631	24.90	
C0-5	24.05	600	24.95	
C5-1	24.05	560	23.28	21.82
C5-2	24.01	490	20.41	
C5-3	24.75	539	21.78	
C10-3	23.81	630	26.46	27.32
C10-4	24.25	667	27.51	
C10-5	24.35	682	28.01	
C20-4	24.10	687	28.51	27.10
C20-5	23.57	607	25.75	
C20-6	24.25	656	27.05	

Fuente: Laboratorio de ensayo de materiales de construcción.

Tabla A 2. Resultados de ensayo de módulo de rotura

Ensayo de módulo de rotura en adobes de 30.50x15.25x7.62 cm							
Espécimen	**Máxima carga aplicada (kg)**	**Distancia entre apoyos (cm)**	**Ancho (cm)**	**Espesor (cm)**	**Distancia del plano de falla (cm)**	**Módulo de rotura (kg/cm^2)**	**Promedio (kg/cm^2)**
N° 1	92.30	28.00	15.20	7.80	0.00	4.21	4.30
N° 2	73.84	28.00	15.20	6.70	1.40	4.09	
N° 3	96.92	27.90	15.00	7.50	0.40	4.62	
N° 4	115.38	27.80	15.10	7.00	0.00	6.45	6.79
N° 5	124.61	27.60	14.90	6.70	0.00	7.72	
N° 6	124.61	27.50	14.80	7.30	0.50	6.22	
N° 7	184.60	27.70	14.90	6.80	0.00	11.25	11.34
N° 8	230.75	28.00	15.10	6.80	1.00	12.98	
N° 9	166.14	27.80	15.00	6.50	1.30	9.80	
N° 10	203.06	27.90	15.00	6.80	0.00	12.34	10.05
N° 11	161.53	27.90	15.10	6.80	0.90	9.04	
N° 12	138.45	28.20	15.40	6.60	0.00	8.76	

Fuente: Laboratorio de ensayo de materiales de construcción.

Tabla A 3. Resultados de ensayo de chorro de agua

Ensayo de chorro de agua en adobes de 30,50x15,25x7,62 cm				
Identificación del espécimen	**Espesor (mm)**	**Penetración (mm)**	**% de penetración**	**Promedio (%)**
N°13	73.00	5.40	7.40	6.74
N°14	68.00	4.60	6.76	
N°15	66.00	4.00	6.06	
N°16	69.00	0.00	0.00	0.44
N°17	71.00	0.00	0.00	
N°18	75.00	1.00	1.33	
N°19	65.00	0.00	0.00	0.25
N°20	69.00	0.00	0.00	
N°21	68.00	0.50	0.74	
N°24	69.00	0.00	0.00	0.00
N°25	69.00	0.00	0.00	
N°26	67.00	0.00	0.00	

Fuente: Laboratorio de ensayo de materiales de construcción.

UNIVERSIDAD DE PIURA

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

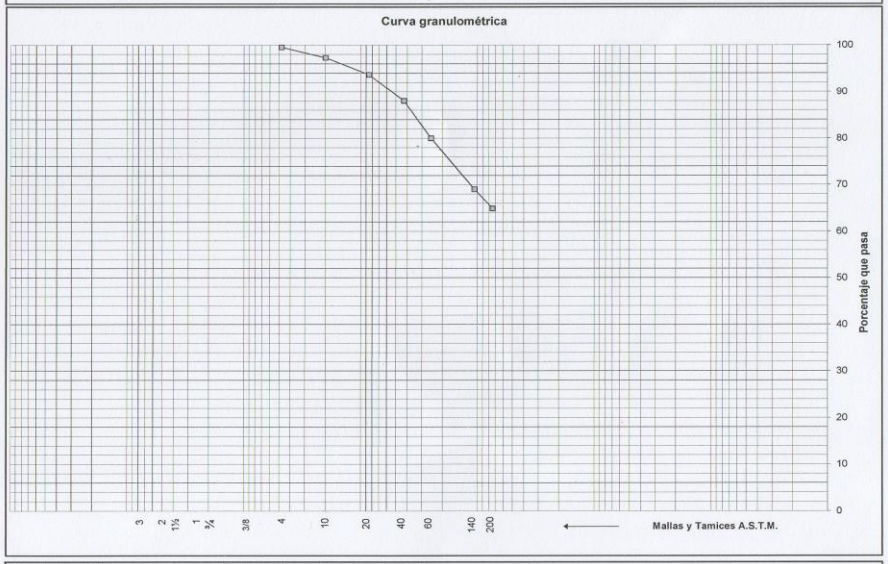
Norma: NTP 339.128 1999

Orden de servicio N° : 17464
Informe N° : 155122
Fecha de ensayo : 01/10/2015
Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante : VERÓNICA BEATRIZ BENITES ZAPATA
Ubicación : Piura
Muestreo realizado por : El solicitante
Obra : Adobe estabilizado con estracto de cabuya
Procedencia : Suelo de Sapillica - Ayabaca

Abertura (mm)	Tamiz ASTM	Contenido (g)	Retenido parcial %	Retenido total %	Pasa %
7.62	3 "				
50.8	2 "				
38.1	1 1/2 "				
25.4	1 "				
19.1	3/4 "				
9.53	3/8 "	0.00	0.00	0.00	100
4.76	4	2.40	0.49	0.49	100
2	10	10.90	2.23	2.72	97
0.85	20	17.80	3.64	6.36	94
0.425	40	27.50	5.62	11.98	88
0.25	60	39.40	8.05	20.03	80
0.106	140	53.80	11.00	31.02	69
0.074	200	20.10	4.11	35.13	65
	Fondo	317.00			
	Total	488.90			
	Peso inicial	489.30			
	Pérdida	0.40			



Supervisó el ensayo: Gaby Ruiz Petrozzi
Ingeniero Civil
CIP 46912

Descripción de la muestra: Arcilla de baja plasticidad arenosa (CL)
Presenta 65% de finos arcillosos de baja plasticidad. LL=27 IP=12 35% de arena fina a media.
Muestra de color marrón claro con presencia de apreciable cantidad de materia orgánica (cáscara de arroz, raices)

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

Figura A 1. Resultados de ensayo de granulometría del suelo empleado para la elaboración de adobes (Fuente: Laboratorio de ensayo de materiales de construcción)

UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

LÍMITES LÍQUIDO - PLÁSTICO - ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS
Norma: NTP 339.129 1999

Orden de servicio N° : 17464
Informe N° : 155123

Fecha de recepción : 28/09/2015
Fecha de ensayo : 05/10/2015
Fecha de emisión : 06/10/2015

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: VERÓNICA BEATRIZ BENITES ZAPATA
Obra	: TESIS: ADOBE ESTABILIZADO CONB ESTRACTO DE CABUYA.
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Procedencia	: Suelo de Sapillica Ayabaca

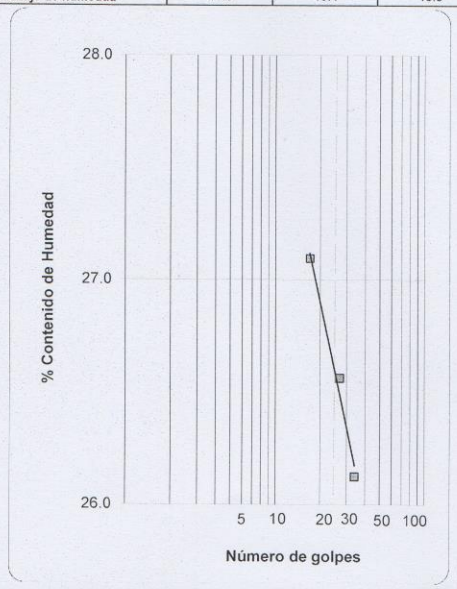
RESULTADOS:

LÍMITE LÍQUIDO

Peso húmedo	27.23	24.73	24.58			
Peso seco	21.59	19.54	19.34			
Peso de agua	5.64	5.19	5.24			
Porcentaje de humedad	26.1	26.6	27.1			
Número de golpes	34	27	17			

LÍMITE PLÁSTICO

Peso húmedo	8.43	12.76	10.53			
Peso seco	7.33	11.06	9.09			
Peso de agua	1.10	1.70	1.44			
Porcentaje de humedad	15.0	15.4	15.8			



DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
(Fracción que pasa tamiz N° 40)
Arcilla de baja plasticidad.
Muestra de color marrón claro.

Clasificación: SUCS: CL

LÍMITE LÍQUIDO L. L.	27
LÍMITE PLÁSTICO L. P.	15
ÍNDICE PLÁSTICO I. P.	12

Realizó el ensayo: Téc. Francisco Castro

Ing. Gaby Ruiz Retozzi
Ingeniero Civil
CIP 46912
Responsable

UNIVERSIDAD DE PIURA
L.E.M.C.
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES DE CONST

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

Figura A 2. Resultado de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo empleado para la elaboración de adobes (Fuente: Laboratorio de ensayo de materiales de construcción).

Anexo B

Registro fotográfico

Figura B 1. Cabuya (*Furcraea andina*).

Figura B 2. Recolección de extracto de Cabuya (*Furcraea andina*).

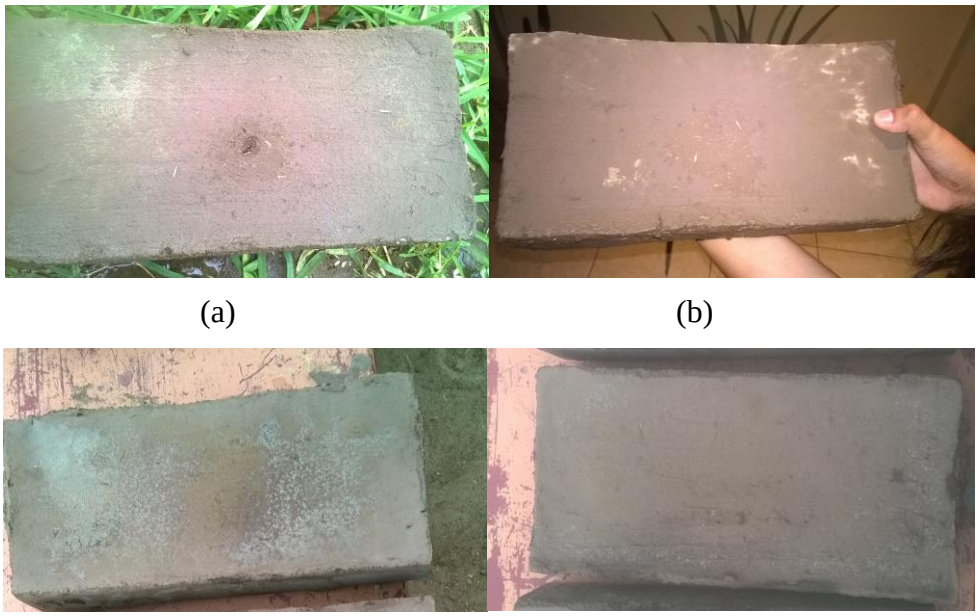
Figura B 3. Procedimiento de ensayo de granulometría.

Figura B 4. Ensayo de límite líquido.

Figura B 5. Ensayo de límite plástico.

Figura B 6. Ensayo de resistencia a la compresión de adobe.

Figura B 7. Ensayo de Resistencia a la flexión.



(a) (b)

(c) (d)

Figura B 8. Ensayo de chorro de agua: (a) Adobe sin estabilizar. (b) Adobe estabilizado con Cabuya con 5 días de tiempo reposo. (c) Adobe estabilizado con Cabuya con 10 días de tiempo de reposo. (d) Adobe estabilizado con Cabuya con 20 días de tiempo de reposo.

Figura B 9. Ensayo de inmersión.