

ADOBES ESTABILIZADOS CON MATERIALES RECICLADOS

Estefany Kristel Farías Esquivés¹; Oscar Andrés Paz Cáceres²; María Teresa Méndez Landa³

Universidad Ricardo Palma, Perú, ¹e.farias208@gmail.com; ²oscar.paz.06@hotmail.com; ³mmendez47@hotmail.com

Palabras clave: adobe, adobe estabilizado, materiales reciclables, pulposa celulosa

Resumen

La población de Lima es de casi 10 millones de habitantes, y produce 2 millones de toneladas anuales de basura, de las cuales sólo el 23,7% es reciclado. En la ciudad capital, la mayoría de las edificaciones son de material noble, sin embargo, últimamente está tomando auge la construcción de viviendas campestres, la mayoría de adobe, en urbanizaciones al este y sur de Lima. Sin embargo, en estas zonas los suelos carecen de arcilla, presentando una baja resistencia a la compresión. Por esto, se planteó un estudio para mejorar las propiedades mecánicas de un suelo de baja calidad, adicionándole materiales de reciclaje en diferentes proporciones, para su empleo en la elaboración de adobes. Se tomaron muestras de adobe *in situ* en la zona de Asia pueblo y de Cieneguilla, Lima, los cuales fueron analizados según las Normas ASTM. Se clasificaron los suelos mediante pruebas de laboratorio de: compresión, índice de humedad, granulometría y límite líquido. Así también se obtuvo porcentaje de limos, arcillas, arenas y gravas. Para el ensayo de compresión se tallaron cubos de 7 cm x 7 cm x 7 cm según el Reglamento Nacional de Edificaciones E.080. La muestra de adobe con mejores propiedades mecánicas correspondió a Cieneguilla con 1,6 MPa, mientras que las muestras de Asia dieron como resultado 1,2 MPa, mínimo aceptable según la norma vigente (RNE E.080: 2006). Por lo tanto, se procedió a trabajar con el suelo de menor resistencia a la compresión, adicionándole materiales reciclables como: papel periódico, cartón simple y cartón de Tetra Pak, en diferentes porcentajes (2,5%, 5% y 10%). Finalmente, las muestras de adobe estabilizado se sometieron a prueba de compresión obteniéndose como resultado que la mezcla de tierra con papel periódico y mucílago de linaza al 5% mejoró las propiedades de la muestra hasta un valor de 2,2 MPa.

1. INTRODUCCIÓN

En la antigüedad, durante la Pangea, la costa sudamericana occidental estaba sumergida, elevándose ésta después de la separación de continentes. Una parte conforma hoy lo que actualmente se conoce como costa peruana, lo que puede ser considerada como una probable causa por la que en la zona costera de Lima el suelo contiene porcentajes bajos de arcilla y alta cantidad de arena.

En el Perú, en los últimos años, se está desarrollando una tendencia hacia la construcción ecológica, con edificaciones tanto de tipo turístico como de viviendas campestres, utilizando el adobe. En la ciudad de Lima, que cuenta con más de 10 millones de habitantes, su crecimiento está orientado hacia las afueras de la misma. Los distritos de Asia Pueblo y Cieneguilla, ubicados al sureste y este de Lima respectivamente, son las zonas donde se están construyendo la mayoría de condominios de campo. Por este motivo, para el presente estudio, se han considerado estas dos zonas a fin de conocer la calidad de los adobes que se están utilizando.

Así mismo se tiene que, en la actualidad, la población de Lima produce 8000 t de basura diaria, 83% de la cual es generada por solamente 3 de los 43 distritos de la ciudad y, según la Organización para el Desarrollo Sostenible (2015), solamente el 1% es reciclada. La ciudad de Lima cuenta con cuatro rellenos sanitarios, por lo que el 20% de la basura restante va a las afueras de la ciudad o es arrojada a los principales ríos, cuyo destino final es el mar.

Partiendo de la consideración del tipo de suelo que cuenta las zonas de expansión urbana de la ciudad de Lima y de la existencia de basura sin reciclar, se planteó el estudio de la

calidad de los adobes empleados en estas dos zonas y la posibilidad del uso de aditivos provenientes de materiales de reciclaje para mejorar su resistencia.

El estudio se basó en pruebas de resistencia a la compresión en laboratorio, a partir de muestras de adobes de dos distritos: Asia pueblo y Cieneguilla. Paralelamente, se analizaron diversos materiales de reciclaje para su empleo en la estabilización del adobe, mejorando tanto su resistencia a la compresión como sus índices de humedad.

Basados en estos resultados, el Centro de Estudios para Comunidades Saludables de la Universidad Ricardo Palma propone el uso de adobe estabilizado con materiales reciclables, de fácil acceso a los usuarios y que responde a las características del suelo de estas zonas.

2. OBJETIVO

El objetivo del estudio es encontrar un material de reciclaje, cuyas propiedades unidas a las de la tierra, mejoren las propiedades mecánicas del suelo, estabilizándolo para un adecuado empleo en la elaboración de adobes.

3. METODOLOGÍA

El estudio se ha realizado en tres etapas: definición del material reciclable a utilizar, definición del suelo con propiedades mecánicas más eficientes y por último definición de la mejor proporción de mezcla de tierra con aditivo para estabilizar el suelo para elaboración de adobes.

Para el estudio se ha empleado una metodología analítica con pruebas de laboratorio, basadas en las normas ASTM y la NTE E.080 (2006).

4. DESARROLLO DEL ESTUDIO

4.1 Material reciclable a utilizar

Se dio inicio al trabajo analizando la basura y qué desechos pueden ser reciclados, hallándose que se cuenta con grandes porcentajes de materiales como el papel, plástico y vidrio. Se realizaron diversos estudios. Marúm (1989, p.21, citado por Vargas, 2007, p.28) afirma que: "La estructura del papel está compuesta básicamente por fibras en su mayoría, por arcilla y pigmentos, y además a su peso se le añade la humedad", siendo que el papel es un derivado de la madera la cual utiliza la adhesión de la celulosa para unir sus fibras, y que para obtener la pulpa celulosa se rompe esta adhesión mediante procesos industriales.

Así también Marúm (1989, p.40, citado por Vargas, 2007, p.28) menciona que:

La pulpa de celulosa posee características que no están relacionadas con el proceso de fabricación y son: propiedades químicas, como es el contenido de lignina y hemicelulosas, y las condiciones mismas de la celulosa en la fibra; y propiedades físicas como la resistencia a tensión y a la flexión.

Basados en estos conceptos se decidió considerar el papel y sus derivados como cartón y envases Tetra Pak¹ como posibles estabilizadores de la tierra.

En cuanto al cartón se sabe que es un material formado por un conjunto de papeles sobrepuestos a base de fibra virgen (papel reciclado), mientras que en el caso de Tetra Pak, es un envase compuesto por seis capas: polietileno, aluminio y cartón, que por su nivel de empleo en la industria producen gran cantidad de material de desecho que no pueden ser reciclados por lo difícil y costoso que implica la separación de sus capas.

¹ Industria Suiza fundada en 1951 que fabrica envases de cartón de todo tipo. En el Perú se conoce como Tetra Pak al envase que está compuesto por seis capas, cuatro de polietileno, una de aluminio y una de cartón.

4.2 Definición del suelo

Una vez definidos los materiales a utilizar, se procedió a ubicar las zonas para realizar los estudios de suelo. Se eligieron las zonas de Asia, en las afueras, al sur de Lima y, Cieneguilla al este de la misma. La muestra de Asia pueblo, fue tomada del proyecto inmobiliario “Asia del Campo” Condominios Ecológicos, y, la muestra de Cieneguilla fue tomada del proyecto inmobiliario “Las Bahías” Condominios Ecológicos.

Para la realización de los ensayos de resistencia a la compresión, una vez tomadas las muestras *in situ* se procedió a tallar los adobes a las medidas de 7 cm x 7 cm x 7 cm según el NTE E.080 (2006). Posteriormente, se disgregaron los restos de adobe de la prueba anterior, separando 500 g para la prueba de contenido de humedad y 1000 g para el ensayo granulométrico, acorde a las normas ASTM D2216 Y ASTM D422 respectivamente. Por último, se realizó el ensayo de límite líquido según norma ASTM D4318-84.

Juárez (1974, p.132) describe el ensayo de límite líquido realizado por medio de la copa Casagrande como “la fuerza que se pone a la fluencia de los lados de la ranura proviene de la resistencia al esfuerzo cortante del suelo, por lo que el número de golpes requerido para cerrar la ranura es una medida de esa resistencia, al correspondiente contenido de agua.”

A modo de confirmación de los resultados de laboratorio respecto a los porcentajes de limos y arcillas, se llevaron a cabo pruebas en campo (testes) como: “la prueba de la botella”, método empírico para determinar la granulometría de manera visual. Se llenó 1/3 de la botella con muestra de suelo disgregado, se completó la botella con agua hasta la superficie. Una vez cerrada la botella se agitó y dejó reposar, para que las partículas del suelo se separen por densidades (figura 1 y 2) y, diferenciar los porcentajes de limos y arcillas existentes en el suelo.



Figura 1. Muestra suelo de Asia



Figura 2. Muestra suelo de Cieneguilla

Una vez separado por niveles se procedió a medir la altura de cada capa depositada para calcular el porcentaje de finos y consecuentemente de limo y arcilla, en relación al total de suelo que se introdujo en el envase.

4.3 Definición de la mezcla (tierra + aditivo)

Según estudios existentes, para estabilizar un adobe se utilizan materiales aglomerantes (cal, cemento y yeso) en porcentajes del 1% al 15%. En el presente estudio, se ha empleado como aglomerante un material de reciclaje (papel), tomándose como referencia estudios anteriores de Hennenberg de León y Briceño (2016, p.145).

La NTE E.080 (2006) señala que el porcentaje de arcillas debe variar de 10% a 20%, por lo que se decidió usar tres rangos: 2,5%; 5% y 10% de material reciclable, que, sumado a los porcentajes de las muestras analizadas en la Tabla 2, cumpla con el reglamento.

Para que la mezcla respecto a los porcentajes elegidos pueda tener una buena consistencia, se debe preparar una mezcla homogénea y uniforme, para lo cual es necesario el empleo de una resina que, junto a la celulosa que contiene el papel y/o sus derivados, permita la

obtención de una mezcla que dé balance a los componentes de la muestra. Con la finalidad de mantener las propiedades ecológicas de la tierra, se decidió usar una resina natural como es el mucílago de linaza.

El mucílago es una sustancia viscosa que se puede hallar en plantas como la sábila, la chía, el algarrobo, la linaza, y otras, que contiene una resina natural que se requiere para la mezcla. Se decidió por el mucílago de la linaza debido a la facilidad de obtención de la resina, pues al hervir sus semillas o dejando reposar éstas unos días en agua, estará lista para ser utilizada.

Esta etapa de la investigación se dividió en tres categorías según los porcentajes de los materiales reciclables utilizados (papel, cartón y envases Tetra Pak) para las mezclas; cada una de estas categorías constó de tres pruebas y en cada prueba se realizaron seis cubos de 7 cm x 7 cm x 7 cm.

Finalmente se procedió a elaborar los 6 adobes para las 9 pruebas empleando, para cada prueba, 9 kg de tierra del suelo elegido, 1350 ml de agua, 1350 ml de mucilago de linaza, variando solamente los porcentajes de materiales reciclables.

5. RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Selección del suelo

Los resultados obtenidos por medio de ensayos, presentados en la Tabla 1, permiten conocer las características naturales de los dos tipos de suelo propuestos, compararlas y definir el de peores condiciones para su empleo en la investigación.

Tabla 1. Características del suelo y resistencia mecánica

Discriminación		Método de ensayo	Identificación del suelo	
			Asia	Cieneguilla
Granulometría (por tamizaje)	grava(%)	ASTM D422	6	9
	arena (%)		59	63
	finos (limo y arcilla) (%)		35	28
Humedad (%)		ASTM D2216	1,2	1,3
Límites de Atterberg	líquido (%)	ASTM D4318	20	21
	plástico (%)		no plástico	no plástico
Resistencia a la compresión del adobe (MPa)		NTE E.080	1,2	1,7

La NTE E.080 (2006, p.2), respecto al ensayo granulométrico, menciona que, “la gradación del suelo debe aproximarse a los siguientes porcentajes; arcilla 10-20%, limo 15-25% y arena 55-70%, no debiéndose utilizar suelos orgánicos. Estos rangos pueden variar cuando se fabriquen adobes estabilizados”.

En base a esto, las dos muestras son aptas para la elaboración de adobes, pues su porcentaje de materia fina no es mayor al 45% (Asia 35%, Cieneguilla 28%) y la arena varía entre 55%-70% (Asia 59%, Cieneguilla 63%).

En cuanto al porcentaje de humedad, el suelo de Asia presentó 1,2%, mientras que el de Cieneguilla presentó 1,3%.

La prueba de límite líquido dio como resultado 20% para Asia y 21% para Cieneguilla. Se comprobó la falta de límite plástico lo cual certificó la alta cantidad de arena que poseen las muestras y el poco porcentaje de arcilla. Estos datos dan una idea de que la resistencia del suelo de Cieneguilla, al esfuerzo cortante, es mayor.

Los resultados de la Tabla 1 definen a la muestra de Cieneguilla como la de mayor resistencia a la compresión (1,7 MPa). Esta prueba permite obtener el valor de carga del suelo respecto al esfuerzo de corte producido.

Tabla 2. Apreciación de limo y arcilla en los suelos estudiados a través de la prueba de la botella

Partes del suelo	Identificación del suelo			
	Asia		Cieneguilla	
	altura (cm)	cantidad (%)	altura (cm)	cantidad (%)
Limo	2,2	28,2	1,7	20,5
Arcillas	0,5	6,4	0,6	7,2
Total de finos	2,7	34,6	2,3	27,7
Total del suelo	7,8	100	8,3	100

La muestra del suelo de Asia contiene mayor cantidad de material fino, sin embargo no está bien proporcionada. Por otro lado, la muestra de Cieneguilla posee menor porcentaje de material fino sin embargo, es resistente ya que su porcentaje de limos se encuentra en los parámetros establecidos por el NTE E.080 (2006): el porcentaje de limo debe variar de 15% a 25%. Con estos resultados se comprueba que la prueba de la botella es eficiente para determinar el porcentaje de finos de los suelos estudiados.

Se decidió trabajar con el suelo de Asia, y añadir materiales que mejoren su resistencia a la compresión, debido a que al comparar los dos suelos la muestra de Asia mostró desbalance respecto al contenido de material fino, ya que sus porcentajes no están en el rango del RNE E.080 (2006) a pesar que existe un margen de error aproximado al 1%.

5.2 Definición de la mezcla (tierra + aditivo)

Luego de realizar las pruebas de compresión simple en el laboratorio, a las mezclas de tierra con los tres aglomerantes en las tres proporciones definidas, se obtuvieron los resultados presentados en la tabla 3 y figura 3.

Tabla 3. Resistencia a la compresión simple de adobes con adición de material reciclable según la NTE E.080 (2006)

Material reciclable/ cantidad	Resistencia a la compresión (MPa)		
	papel	Cartón	Tetra Pak
0%	1,2	1,2	1,2
2,5%	1,2	0	1,8
5%	2,2	2,0	1,9
10%	1,8	2,1	1,6

■ adobe sin aditivo

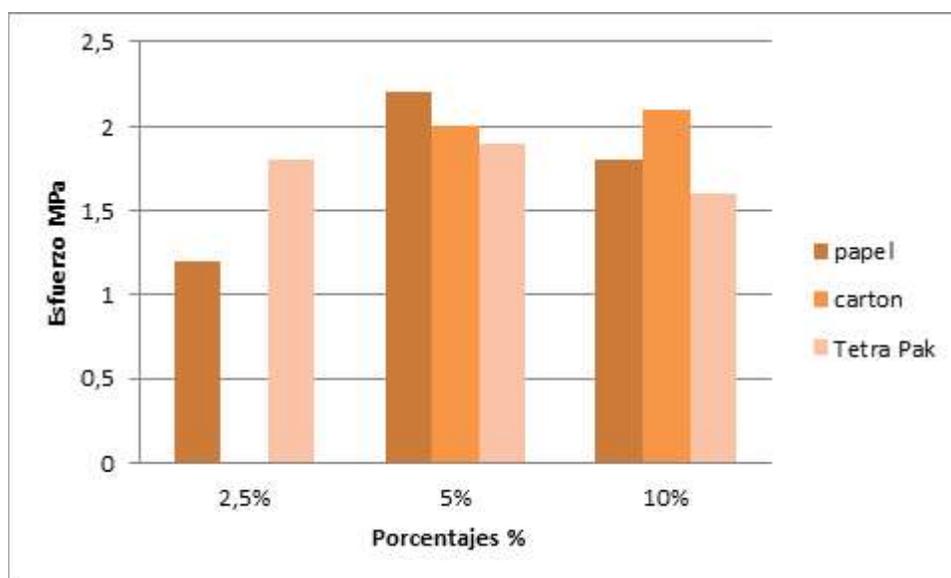


Figura 3. Resistencia a la compresión simple de adobes con adición de material reciclable

Finalmente se halló que la muestra al 2,5% de cartón no se pudo ensayar en el laboratorio, como se observa en el gráfico, debido a que el volumen de material reciclado que se necesitaba para el peso necesario en la mezcla era menor al volumen necesario tanto en la mezcla de 2,5% de papel y de Tetra Pak; esto significa que al tener menor volumen en la mezcla el cartón absorbe más humedad del agua y mucilago por lo que no tuvo consistencia y no logró secar, manteniendo sus medidas iniciales a la elaboración de las pruebas.

6. CONCLUSIONES

Al aumentar el porcentaje de arcilla se logra que la muestra de adobe de Asia este mejor gradada y acorde a las especificaciones de la NTE E.080 (2006), para que el suelo posea una resistencia a la compresión adecuada. Según la tabla 3 se logra el objetivo del estudio con todas las mezclas, sin embargo el mejor resultado se obtuvo al 5% del papel periódico con una resistencia de 2,2 MPa, es decir, se mejoró la resistencia al corte en un 79%. El resultado más bajo se obtuvo al adicionar a la muestra papel al 2,5%, siendo la resistencia 1,2 MPa. No presentó cambios a su valor de resistencia previo.

La muestra con 5% de papel logró el mejor resultado según la tabla 3, debido a que al mezclar el agua y el mucílago de linaza junto con el papel periódico, logran su desintegración, y así hallar la arcilla que contiene este elemento reciclado. Esta arcilla al mezclarse con el mucílago de linaza, el agua y la tierra crean una cohesión que permite que el adobe incremente su resistencia al corte y es por esta razón que el adobe del 5% es la mezcla ideal para su fabricación con materiales reciclables.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM D422-63 (2007) e2. Standard test method for particle-size analysis of soils (Withdrawn 2016), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2007, www.astm.org

ASTM D2216-98, Standard test method for laboratory determination of water (Moisture) content of soil and rock by mass. ASTM International, West Conshohocken, PA, 1998, www.astm.org

ASTM D4318-10e1, Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010, www.astm.org

Hennenberg-De León, A; Briceño, D. (2016). Ensayos a mezclas de barro estabilizadas para el relleno y empañetado de paredes de bahareque. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 17(1), 143-154. México: UNAM.

Juarez B. (1974): Mecánica de suelos I: Fundamentos de la mecánica de suelos. México Editorial Limusa.

Organización para el Desarrollo Sostenible (2015). En Lima solo el 1% de los desechos son reciclados; Disponible en <http://www.ods.org.pe/noticia.php?id=15&idioma=1>. Anexado el 4/11/2015. Última revisión 02/08/2016

Reglamento Nacional de Edificaciones (2006). NTE.080 Adobe. Lima, Perú: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Disponible en: http://www.construccion.org.pe/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/02_E/RNE2006_E_080.pdf

Vargas, L. A. (2007). Uso de fibras de papel periódico, cal hidratada y alumbre en la elaboración de un material compuesto (Maestría en Arquitectura). Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad de Colima– FAD/UC. Coquimatlán, México.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Centro de estudios para comunidades saludables de la universidad Ricardo Palma CECOS-BRIGURP por apoyarnos con el desarrollo de esta investigación y darnos la oportunidad de desenvolvemos como profesionales, en especial a los técnicos encargados de los laboratorios de mecánica de materiales y mecánica de suelos, y a nuestros compañeros por las horas compartidas.

AUTORES

Estefany Farias Esquivas, estudiante de ingeniería civil de la universidad Ricardo Palma, integrante del Centro de Estudios para Comunidades Saludables CECOS-BRIGURP, participante del congreso Siacot 15 en la sección de exposición de paneles.

Oscar Andres Paz Cáceres, alumno de la escuela de Ingeniería Civil. Universidad Ricardo Palma. Miembro voluntario, Coordinador de alumnos del Centro de Estudios para Comunidades Saludables CECOS-BRIGURP.

María Teresa Méndez Landa, Doctora en Educación por la Universidad San Martín de Porres. Arquitecta por la Universidad Nacional de Ingeniería. Profesora Asociada en facultades de Arquitectura e Ingeniería de la Universidad Ricardo Palma, Lima-Perú. Coordinadora y directora de proyectos de investigación del Centro de Estudios para Comunidades Saludables y Jefe del Laboratorio de Construcción de la Facultad de Ingeniería. Universidad Ricardo Palma. Directora de ponencias presentadas al TerraBrasil 2008, 2010 y 2012, SIACOT 2009 y 2015, NOCMAT 2013, Ekotectura 20014 y TerraBrasil 2014.