

MEJORAMIENTO DEL ADOBE CON FIBRAS VEGETALES: PAJA, CABUYA, CÁSCARA DE ARROZ, ABACÁ

Irina Godoy¹; Freddy Paredes²; Paúl Paredes³; Gloria de la Cruz⁴

Facultad de Arquitectura y Urbanismo, UCE- Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador

¹imgodoy@uce.edu.ec; ²flparedes@uce.edu.ec; ³peparedese@uce.edu.ec; ⁴gmdelacruz@uce.edu.ec

Palabras clave: arquitectura en tierra, ensayos, fibras vegetales, resistencia a compresión, Ecuador

Resumen

En la continua búsqueda de incrementar la práctica de construir con tierra en el Ecuador, por los innumerables beneficios que esto conlleva para el confort en la vivienda, se ha buscado mejorar una de estas técnicas, el adobe, añadiendo algunas fibras vegetales que podrían ayudar a mejorar su resistencia. En esta investigación se analizan el comportamiento de adobes con paja, cabuya, abacá y cáscara de arroz. El mejor resultado de resistencia a la compresión se obtiene de las muestras con cabuya al 20%, con un valor de 3,01 MPa, seguido de la cabuya al 15% con un valor de 2,79 MPa. Mientras que los resultados más bajos corresponden a la fibra de abacá al 5% y 15% con 1,03 MPa y 1,30 MPa respectivamente. Se comprueba que todas las muestras cumplen con la normativa, incluso los que tienen los resultados más bajos. Y se concluye que este tipo de suelo, de la región sierra y de la ciudad de Quito en este caso, se comporta mejor con fibras vegetales de la misma región, como lo son la cabuya y la paja.

1 INTRODUCCIÓN

La tierra es un material de construcción que siempre se ha usado en distintos lugares, es así que las construcciones de adobe han logrado sobrevivir a lo largo de los siglos, resistiendo el embate de sismos y terremotos. Además, es un material que contribuye como aislante térmico y propicia un ambiente confortable para el ser humano, es un material amigable con el ambiente, reutilizable y sostenible, por esto, la sabiduría de quienes construyen con tierra a buscado mejorar estas construcciones añadiendo algunas fibras naturales. En distintos países se han realizados estudios sobre el comportamiento de esas fibras en el adobe, sin embargo en el Ecuador y concretamente en Quito, no se encuentra información sobre investigaciones dedicadas al análisis de la resistencia de estos materiales construidos con suelo de la zona y fibras de la región.

El objetivo de esta investigación es desarrollar una propuesta de mejoramiento de adobes. Estudiar las propiedades físico mecánicas de los adobes con algunas fibras vegetales (cabuya, paja, cáscara de arroz, abacá) con distintos porcentajes, compararlas entre sí y además con las propiedades físico-mecánicas de los adobes sin fibra.

2 METODOLOGÍA

Esta investigación se desarrolló en la Universidad Central del Ecuador, Facultad de Arquitectura y Urbanismo. La metodología de tipo experimental contiene algunas fases: se inicia con la extracción y análisis granulométrico de suelos; seguidamente de la fase de elaboración, dosificación con porcentajes de fibras al 5%, 10%, 15% y 20%; codificación de las muestras, resguardo, secado y almacenaje de los adobes; y, finalmente la fase de ensayos a la compresión de los mismos.

2.1 Extracción del suelo y análisis de suelo

Se procedió a extraer la tierra del campus universitario, ubicado en la ciudad de Quito, entre la Av. América y calle Gilberto Gatto Sobral, con una altitud de 2843 msnm. La profundidad máxima para la extracción de tierra fue de 3,0 m. Se recogió la cantidad de 3 kg para hacer

los estudios granulométricos, que consistió en realizar las siguientes pruebas: análisis granulométrico, límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad y contenido de humedad de las muestras de suelos extraídas para ser clasificado según en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), cuyos resultados se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Composición granulométrica e índices del suelo empleado

Propiedad	Porcentajes
Granulometría	
grava (%)	1,4
arena (%)	41,5
limo y arcilla (%)	57,1
Límite líquido (LL) (%)	31,8
Límite plástico (LP) (%)	25,5
Índice de plasticidad (IP) (%)	6,3
Contenido de humedad (%)	29,8

Análisis granulométrico: con el suelo seco se determinó la distribución por tamaño de las partículas presentes en este, con un porcentaje del peso seco total. La metodología para determinar este parámetro se basa en las normas ASTM D421 y D422. Se colocó la muestra de suelo seco en una serie de tamices y se determinó el peso del material retenido de cada tamiz.

Límite líquido: es el contenido de humedad por debajo del cual el suelo se comporta como un material plástico. Se los realizó según la norma ASTM D4318. La muestra de suelo húmedo se colocó en una cuchara de bronce, se dividió la muestra en dos, mediante un divisor normalizado y se golpeó la cuchara contra una base mediante manivela. Las porciones de suelo húmedo tienden a unirse con cada golpe y si el surco comprendido entre las dos porciones de ½ pulgada después de 25 golpes, la humedad del suelo corresponde al límite líquido.

Límite plástico: es el contenido de humedad del suelo donde este se rompió o resquebrajó. Por debajo de este límite se considera al suelo como un material no plástico. El procedimiento para determinar este porcentaje de humedad consta en la norma ASTM D4318, el cual consiste en obtener moldes cilíndricos de 3mm de diámetro hasta que se formen fisuras que provoquen la ruptura del cilindro. **Índice de Plasticidad IP:** es la diferencia entre el límite líquido y límite plástico.

Contenido de humedad: es la relación entre el peso del agua contenida y el peso del suelo seco. Se determina en base a la norma ASTM D2216 y la NTE INEN 690, en donde se pesa una muestra de suelo antes y después de ser secada.

Clasificación del suelo: en base a los análisis anteriores se determinó que el suelo corresponde a ML, es decir limo inorgánico de baja plasticidad, según la norma ASTM D4318.

Después de haber obtenido los resultados de los análisis de laboratorio mencionados se procedió a extraer la tierra para la elaboración de los adobes.

2.2 Selección de fibras vegetales

La presencia de fibras vegetales en el adobe conforma una red que facilita la adherencia del barro; adicionalmente también evita el agrietamiento de la tierra en el proceso de secado, brindando mayor elasticidad y resistencia, aunque esto depende del tipo de tierra, fibra y su porcentaje. Para la selección de las fibras vegetales se buscaron fibras de la región Sierra del Ecuador, zona donde está ubicada la ciudad de Quito, y además algunas fibras de la

Costa, buscando equiparar y comparar los resultados de la elaboración de adobes con fibras de ambas regiones.

Se buscó la fibra tradicionalmente usada para la construcción con tierra, la paja de páramo o *Stipa ichu* por su nombre científico. En el texto de Velasco et al. (2015) se identificaron y eligieron dos fibras textiles que se encuentran en la región Sierra y la Costa, la cabuya y el abacá, y una fibra que sólo se encuentra en la región Costa, la cáscara de arroz. En la tabla 2 se explica el nombre científico de cada una, con el hábitat al que pertenece, su parte aprovechable y su uso actual en la construcción.

Tabla 2. Fibras vegetales escogidas para la elaboración de adobes

Nombre común	Nombre científico	Hábitat	Parte aprovechable	Uso actual en la construcción
Mimbres				
Paja	<i>Stipa ichu</i>	Páramo	Hojas (fibra larga)	Adobes, tapial y cubiertas vegetales
Textiles				
Cabuya	<i>Agave sisalana</i>	Clima árido. Terrenos arenosos y de baja productividad agrícola	Hojas (fibra larga)	Sogas, sacos
Abacá	<i>Musa textilis</i>	Clima cálido lluvioso	Tallo (fibra larga)	Sogas
Útiles				
Cáscara de arroz	<i>Oryza sativa</i>	Clima tropical, humedales	Cascarilla	Sin uso actual en la construcción

En cuanto a la composición química de las fibras seleccionadas se ha analizado su contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina, como se detalla en la tabla 3. Se ha tenido atención a estos valores ya que la lignina otorga impermeabilización a los vegetales y, además, facilita la adhesión entre los componentes estructurales -celulosa y hemicelulosa- en el tejido vegetal, provee a los tejidos la capacidad de resistir ataques patógenos y evita la pérdida de agua (Albarracín, 2012, p.51).

Tabla 3. Composición química de las fibras seleccionadas.

Fibra	Celulosa (% en peso)	Hemicelulosa (% en peso)	Lignina (% en peso)	Pentosas (% en peso)
Mimbres				
Paja	45,90	23,70	18,20	5,50
Textiles				
Cabuya	81,63		8,70	-
Abacá	60,80	17,50	12,00	-
Útiles				
Cáscara de arroz	45,00	19,00	19,50	-

Aún según Albarracín (2012, p.51), la paja de páramo o *Stipa ichu*, encontrada en la región Sierra, tiene una composición de celulosa del 45,9%, de lignina el 18,20%, de pentosa 5,5% y resinas, ceras y grasas 6,7%.

La cabuya es una planta nativa de América Central; es una de las fibras naturales comerciales más comunes en Costa Rica, donde es ampliamente utilizado para la

fabricación de cuerdas y hamacas (Brenes; Stradi, 2014, p.2.). En el Ecuador se puede encontrar la cabuya en la región Sierra y Costa.

La fibra de abacá, también encontrada en la región Sierra y Costa, es extraída de la vaina de la hoja alrededor del tronco de la planta de abacá, que es una especie de árbol de plátano nativo de Filipinas. A nivel mundial el primer productor de fibra de abacá es Filipinas y el segundo es Ecuador. Una fibra tiene una longitud de hasta 3 m (Bledzki et al., 2015, p.2).

La cáscara de arroz pertenece a la familia de biofibras no madereras. Es un residuo de procesamiento agrícola. El componente principal es la celulosa, un polisacárido de cadena larga que consiste en 7000-15000 monómeros de glucosa (Bassyouni, 2015, p.389). En el Ecuador la cáscara de arroz se encuentra en la región Costa.

Todas las fibras fueron cortadas a una longitud de 10 cm previamente a la elaboración de los adobes, a excepción de la cáscara de arroz que era mucho más pequeña.

2.3 Elaboración de adobes

La tierra que se extrajo fue trasladada al espacio donde se elaborarían los adobes y 7 días después se empezó con su elaboración. Las adoberas tenían las siguientes dimensiones: largo 20 cm, ancho 15 cm, altura 10 cm., las cuales se dejaron la noche anterior en remojo en abundante agua para que absorba la suficiente cantidad de humedad y de esa manera evitar que los adobes se peguen al molde. El proceso inició al tamizar la tierra para eliminar la grava que puedan interferir en la fabricación del adobe y su resistencia.

Mientras se tamizó la tierra se prepararon los materiales que van a ser mezclados con la misma para la fabricación de los adobes, esto es: paja de páramo, cabuya, abacá y cáscara de arroz. Se procedió a agregar agua sobre la tierra tamizada y se mezcló hasta obtener un chocoto bien batido, la cual se mezcló con cada una de las fibras seleccionadas. Como se puede observar en la figura 1, se utilizó dosificaciones del 5%, 10%, 15% y 20% con cada una de las fibras vegetales medidas al volumen. Se continuó con el amasado con los pies hasta obtener una distribución homogénea de las fibras. Una vez terminada la mezcla, se procedió con el moldeo de los adobes, presionando en las esquinas y con una buena compactación de la mezcla manualmente, una vez colmada la adobera se enrazó la superficie con una regla de madera húmeda y enseguida se retiró el molde con un movimiento firme hacia arriba. Se elaboraron 5 adobes por cada porcentaje de cada fibra, con un total de 85 adobes, como se explica en la tabla 4.

Tabla 4. Número de adobes elaborados con cada porcentaje de fibra

Material	Número de adobes elaborados con determinado porcentaje de fibras				
	0%	5%	10%	15%	20%
Adobe sin fibras	5				
Adobe con paja		5	5	5	5
Adobe con cabuya		5	5	5	5
Adobe con abacá		5	5	5	5
Adobe con cáscara de arroz		5	5	5	5
Total parcial de adobes	5	20	20	20	20
Total de adobes elaborados	85				

Se elaboraron 20 adobes cada día: el día 1 con paja de páramo: el día 2, con fibra de cabuya; el día 3, con fibra de abacá; y, el día 4, con cáscara de arroz. Una vez terminados los adobes, se procedió al etiquetado para hacerles el seguimiento correspondiente y poder

diferenciar a cada una de las dosificaciones y las fibras utilizadas, como se observa en la figura 2.



Figura 1. Dosificación mediante porcentajes de volumen de fibra vegetal



Figura 2. Etiquetado de adobes

2.4 Secado de adobes

Después de tres se ubicaron días los adobes de canto para permitir que se seque la parte inferior. Cuando los adobes empezaron a secarse, llamó la atención que los que tenían fibras cortas, como la cascara de arroz, sufrían fisuras de ancho considerable. Después de tres semanas se cargaron los adobes y acomodaron en pila en el laboratorio.

El tiempo total de secado de todos los adobes fue de 30 días; no se realizó el control de peso para verificar el secado.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Densidad de adobes

Los adobes, ubicados en el laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad Central del Ecuador, requerían de un trabajo previo antes de realizar el ensayo de compresión. Por lo que se procedió a alisarlos, cepillándolos en una superficie plana, tal como se observa en la figura 3. Luego se pesó y midió cada uno de los adobes, con el objetivo de calcular la densidad aparente de los adobes, que corresponde a la relación entre la masa seca y el volumen, cuyos resultados se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Densidad aparente de los adobes ensayados

Material	Densidad media (kg/m ³)				
	0%	5%	10%	15%	20%
Adobe sin fibras	1585,9				
Adobe con paja		1556,5	1596,9	1639,9	1511,0
Adobe con cabuya		1620,2	1605,7	1594,5	1559,7
Adobe con abacá		1504,2	1562,6	1488,7	1539,3
Adobe con cáscara de arroz		-	1665,7	1640,2	1645,3

3.2 Resistencia a la compresión de adobes

Finalmente se realizó el ensayo a la compresión, como se observa en la figura 4. Se realizaron 5 ensayos, con cada tipo de adobe. Se debió realizar un total de 85 ensayos, sin

embargo, 5 adobes al 5%, 3 adobes al 10% y 2 adobes al 20% de cáscara de arroz no pudieron ser ensayados porque se resquebrajaron en el proceso de cepillado, por lo que se realizaron un total de 75 ensayos a la compresión: 20 ensayos de adobe con paja, 20 ensayos de adobe con cabuya, 20 ensayos de adobe con abacá, 10 ensayos de adobe con cáscara de arroz y 5 ensayos de adobe sin fibras.



Figura 3. Cepillado de adobes



Figura 4. Ensayo a la compresión

Con los datos de las pruebas de compresión se procedió a sistematizarlos, promediándolos hasta obtener los resultados que se expone en la tabla 6. La norma ecuatoriana NEC 2011, en el caso de sistemas constructivos en tierra, dispone la observancia de la norma peruana E.0.80, la misma que ha sido actualizada en abril del 2017, y estipula, en el artículo 8, un mínimo aceptable para la resistencia a la compresión de los adobes de 1,0 MPa (10,2 kgf/cm²), por lo tanto todas las muestras ensayadas cumplen con la norma.

Tabla 6 – Resistencia a la compresión de adobes con determinada porcentaje de fibras

Material	Resistencia media a la compresión (MPa)				
	Porcentaje de fibra				
	0%	5%	10%	15%	20%
Adobe sin fibra	1,54				
Adobe con paja		1,89	2,25	1,77	1,83
Adobe con cabuya		2,34	2,15	2,79	3,01
Adobe con abacá		1,03	1,84	1,30	1,87
Adobe con cáscara de arroz		-	1,81	1,88	1,70

Los adobes con paja obtuvieron su mejor resultado de resistencia a la compresión con el 10% de fibra y el peor con el 15% y 20%. En este caso se determina que a mayor cantidad de fibra se obtendrá mayor resistencia, hasta llegar a un 10% de fibra, luego de esto, a mayor cantidad de fibra la resistencia disminuye, como se aprecia en la figura 5.

Los adobes con cabuya obtuvieron su mejor resultado de resistencia a la compresión con el 20% de fibra y el peor con el 10%. En este caso se determina que a mayor cantidad de fibra se obtendrá mayor resistencia.

Los adobes con abacá obtuvieron su mejor resultado de resistencia a la compresión con el 20% de fibra y el peor con el 5%. Sin embargo no es una constante, los resultados son muy variantes: al aumentar el porcentaje de fibra en algunos casos aumenta la resistencia y en otros la baja.

Los adobes con cáscara de arroz obtuvieron su mejor resultado de resistencia a la compresión con el 15% de fibra y el peor con el 20%. Sin embargo se considera que el 5% de fibra es el peor resultado ya que no alcanzaron a ser ensayados por su resquebrajamiento. En este caso no se puede determinar que al aumentar la fibra aumente la resistencia, más bien se encuentra una constante, ni aumenta ni disminuye la resistencia con el aumento de fibras.

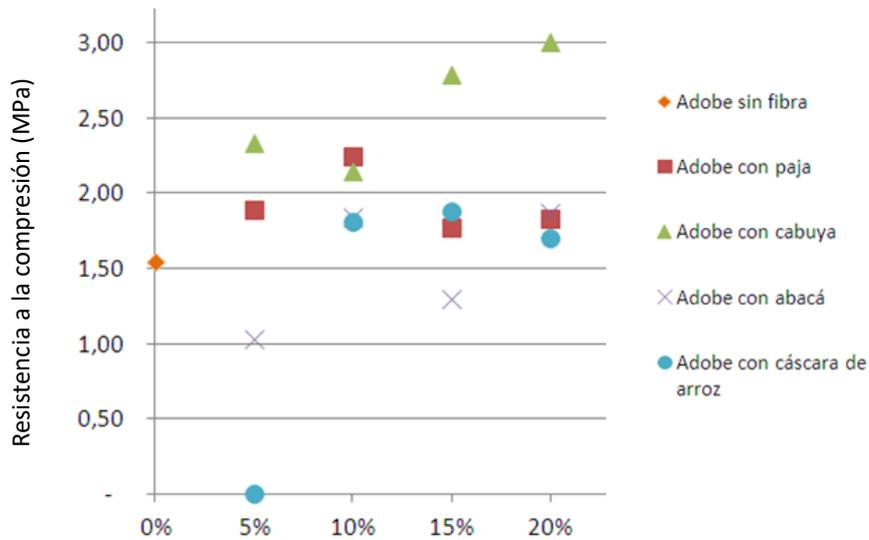


Figura 5. Análisis resultado ensayo a la compresión – según las fibras

Podría esperarse que la resistencia sea directamente proporcional a la densidad aparente de los adobes, es decir, a mayor densidad mayor resistencia. Para analizar esto, se estudia caso por caso.

En cuanto a los adobes con paja, la densidad aumentó a medida que aumentó el porcentaje de fibra hasta llegar al 15%, luego descendió; en lo que se refiere a la resistencia a la compresión el valor más alto se obtiene al 10% de esta fibra, no al 15%. Por lo tanto, a mayor densidad existe mayor resistencia, hasta llegar al 10% de fibra, luego de esto, a mayor densidad menor resistencia.

En cuanto a los adobes con cabuya, la densidad disminuyó a medida que aumentó el porcentaje de fibra; en lo que se refiere a la resistencia a la compresión el valor más alto se obtiene al 20% de esta fibra. Por lo tanto, a menor densidad existe mayor resistencia.

En cuanto a los adobes con abacá, la densidad es muy variable, al 10% aumenta, al 15% baja, al 20% vuelve a aumentar; en lo que se refiere a la resistencia a la compresión los resultados también son variables, al 5% y al 15% son los resultados más bajos, mientras que al 10% y al 20% son los resultados más altos. Por lo tanto podría decirse que cuando la densidad aumenta también la resistencia aumenta.

En cuanto a los adobes con cáscara de arroz, la densidad disminuye a medida que aumenta el porcentaje de fibra; en lo que se refiere a la resistencia a la compresión los valores son inversamente proporcionales a la densidad.

En lo que se refiere a la cantidad de celulosa, hemicelulosa y lignina que contienen las fibras, y su relación con la resistencia a la compresión de los adobes, se ha hecho un acercamiento a los valores que contiene cada fibra en base a artículos de otros países. Sin embargo, se considera que deberían analizarse las fibras de la sierra y costa del Ecuador – paja, cabuya, abacá, cáscara de arroz - para tener resultados objetivos, ya que entre países y regiones pueden tener muchas diferencias en cuanto a los porcentajes de composición química de las fibras seleccionadas.

4 CONCLUSIONES

Con la presente investigación se comprobó que con un suelo clasificado como limo de baja plasticidad (ML) de la ciudad de Quito, con 42% de arena y 57% de finos, con un límite líquido de 32%, un límite plástico de 25% y un índice de plasticidad de 6%, es posible

elaborar adobes que cumplan con la norma E.080 para diseño y construcción con tierra reforzada del Perú del año 2017.

Se determina que un suelo de la región Sierra del Ecuador se comporta mejor o resiste más a la compresión cuando contiene fibras vegetales de la misma región, como lo son la cabuya y la paja.

Se determinó que la fibra de cabuya tuvo los mejores resultados en el ensayo a la compresión, en comparación con el resto de fibras. Sin embargo no se sabe si el 20% de fibra sea el tope máximo de resistencia a la compresión, ya que se debería analizar con porcentajes mayores a este.

Se demuestra que mayor cantidad de fibra no implica mayor resistencia a la compresión. Y esto varía dependiendo de la fibra. También se demuestra que mayor densidad del adobe no implica mayor resistencia a la compresión. Y también varía dependiendo de la fibra.

Queda pendiente determinar si los tiempos de secado en estos porcentajes de fibra afectan los resultados a la compresión. También queda pendiente ensayar las fibras con longitudes menores a 10 cm.

A futuro se podría analizar la composición química de las fibras seleccionadas en esta investigación, con el fin de analizar si los porcentajes de celulosa, hemicelulosa y lignina de las fibras influyen en la resistencia a la compresión de los adobes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albarracín, K. (2012). Diseño de una planta piloto para la obtención de bioetanol a partir de paja de páramo *Stipa ichu* (Tesis previa a la obtención del título en Ingeniería Química). Quito: Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria, Universidad Politécnica Nacional del Ecuador.

ASTM D421-85 (2007). Standard practice for dry preparation of soil samples for particle-size analysis and determination of soil constants (Withdrawn 2016). West Conshohocken, PA, USA: ASTM International

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

ASTM D2216-10 (2010). Standard test methods for laboratory determination of water (moisture) content of soil and rock by mass. West Conshohocken, PA, USA: ASTM International

ASTM D4318-17 (2017). Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils. West Conshohocken, PA, USA: ASTM International

Bassyouni, M (2015). The use of rice straw and husk fibers as reinforcements in composites. In: O. Faruk, M. Sain (Eds) *Biofiber reinforcements in composite materials*. Elsevier. p. 385-422

Bledzki, A. K.; Franciszczak, P.; Osman, Z.; Elbadawi, M. (2015). Polypropylene biocomposites reinforced with softwood, abaca, jute and kenaf fibers. *Industrial Crops and Products*, 70 (2015), p.91-99

Brenes, A.; Stradi, B. (2014). Comparative study of the mechanical properties of polyester resin with and without reinforcement with fiber-glass and *furcraea cabuya* fibers. *Fibers and Polymers* 2014. Vol. 15, No.10. 2186-2192. Arabia Saudita.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2017). Norma E.080 Diseño y construcción con tierra reforzada. Anexo-Resolución Ministerial No.121-2107-vivienda. Perú. Normas legales.

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (2011). Norma NEC-SE-VIVIENDA Vivienda de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 m. Ecuador.

NTE INEN 0690 (1982). Mecánica de suelos. Determinación del contenido de agua. Método del secado al horno. Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización

Velasco, L.; Goyos, L.; Freire, L.; Ibarra, A. (2015). Potencial de aprovechamiento de la biomasa vegetal como aislante en climas extremos en el Ecuador. *Enfoque UTE*, V.6-N.4, Dic.2015, p. 23-41.

AUTORES

Irina Godoy, magister en conservación de patrimonio arquitectónico, arquitecta; docente de la Universidad Central del Ecuador.

Freddy Paredes, magister en docencia universitaria, especialista en gestión de proyectos, ingeniero civil; docente en el Instituto Metropolitano de Diseño; docente en la Universidad Central del Ecuador.

Paúl Paredes, magister en dirección de empresas constructoras e inmobiliarias, arquitecto: docente de la Universidad Central del Ecuador.

Gloria de la Cruz, magister en docencia universitaria, arquitecta; docente en el Instituto Metropolitano de Diseño; docente en la Universidad Central del Ecuador.