

TIERRA EXCAVADA Y FIBRAS LOCALES, DE MATERIALES DE DESECHO A SOLUCIONES PARA LA ARQUITECTURA DESCARBONIZADA

Amanda Rivera Vidal¹, Antonia Navarro Ezquerro², Maddalena Achenza³

¹Universitat Politècnica de Catalunya, España / Università degli Studi di Cagliari, Italia, amanda.rivera@upc.edu

²Universitat Politècnica de Catalunya, España, antonia.navarro@upc.edu

³Università degli Studi di Cagliari, Italia, maddalena.achenza@unica.it

Palabras clave: fibras vegetales, tierras de excavación, materiales térmicos, bio-basados, reutilización de residuos.

Resumen

El presente trabajo propone la utilización de materiales abundantes en diversos lugares del planeta, tierra y fibras vegetales. Enfocándose en materiales considerados residuos en otros procesos productivos, como son las tierras de procesos de excavación y las fibras vegetales residuos de la producción agrícola. Se propone la utilización de estas materias primas, por estar ampliamente disponibles, que no necesitan transporte y requieren un mínimo gasto de energía para su transformación. El presente trabajo describe el desarrollo, caracterización de materias primas y evaluación de materiales de construcción con diversas características térmicas. Se busca, la creación de materiales para la arquitectura que transformen elementos considerados desechos para aportar a la descarbonización del sector de la construcción. Para el desarrollo de los materiales de construcción, se evalúan las características de las materias primas en laboratorio a través de diversos análisis, luego se desarrolla la fase de experimentación y dosificación, llegando a desarrollar una serie de materiales diferenciados por su densidad. Los materiales son posteriormente evaluados en relación los aportes térmicos para su uso en arquitectura. Este artículo presenta la etapa inicial de investigación y ensayo de materiales de base a fibras vegetales y tierras de excavación, que podría representar una contribución para la descarbonización de la arquitectura, por su capacidad de adaptación a las soluciones arquitectónicas, y ya que estos materiales mantienen características naturales y saludables en todo su ciclo de vida: en el proceso de construcción, durante su uso y también en el momento de su desarme, para su eliminación o reutilización.

1 INTRODUCCIÓN

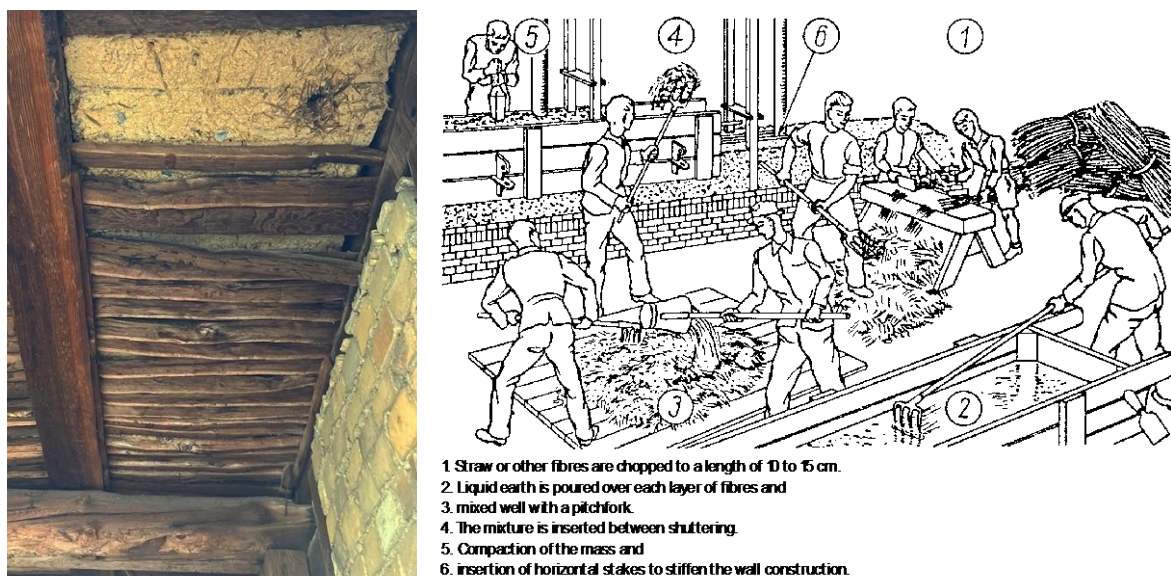
Las culturas tradicionales han utilizado los recursos disponibles en su contexto para construir su hábitat. El uso de la tierra y fibras vegetales se ha registrado en culturas paleolíticas (Bruno; Faria, 2008; Biçakçi, 2003), con notables ejemplos en sitios arqueológicos que datan de al menos el 5000 AC como Caral (Perú), Babilonia (Irak) y la gran muralla (China) (Achenza; Rivera, 2022).

Culturas vernáculas utilizan mezclas de tierra y fibras, principalmente en edificaciones donde la estructura portante es de tierra, pero también en edificaciones con estructura portante de madera, como quinchas, bahareques, y otros tabiques rellenos o con acabados en tierra. Por otro lado, en construcciones de piedra y ladrillo se han observado mezclas de tierra y fibras, como revocos y morteros. La distribución y uso masivo de la tierra y las fibras como materiales de construcción se extiende geográfica y temporalmente, pero también en la diversidad de sus usos: como estructura, como relleno, como acabado. El presente trabajo se centra en las posibilidades térmicas de las mezclas de tierra y fibra y su potencial aporte a las edificaciones, tanto tradicionales como contemporáneas, tanto en elementos verticales (paredes), como en horizontales (entreplantas y sistema de cubiertas).

Debido a la amplia disponibilidad y diversidad de tierra y fibras vegetales, se podría explicar la extensión en el uso de la mezcla ambas materias primas de para la creación de materiales

de construcción. Por otro lado, la integración de fibras a la tierra en el desarrollo de elementos constructivos optimiza su rendimiento, ya que mejora su comportamiento frágil y a tracción, reduce el agrietamiento y además aumenta significativamente su capacidad de aislamiento térmico (Doat et al., 1979; Volhard, 2016; Minke, 2017; Abdollahiparsa et al., 2023).

Un importante avance del uso de las fibras vegetales en la construcción con tierra tiene relación con el desarrollo de la industrialización en los sistemas productivos agrarios, y por lo tanto la abundancia de desechos de granos de cereal, entre ellos la paja. De acuerdo a lo planteado por Volhard (2016), se desarrolla desde 1920 en Alemania, después de la Primera Guerra Mundial, la técnica conocida actualmente como “tierra aligerada” o “tierra alivianada”, ya que representaba una alternativa más económica para el relleno de estructuras portantes de madera, conocida en alemán como "leichtlehmbau", representando a la vez una continuidad y evolución en el uso de mezclas de tierra y fibras en el contexto germano (figura 1).



- 1 Straw or other fibres are chopped to a length of 10 to 15 cm.
- 2 Liquid earth is poured over each layer of fibres and
- 3 mixed well with a pitchfork
4. The mixture is inserted between shuttling.
5. Compaction of the mass and
6. insertion of horizontal stakes to stiffen the wall construction.

Figura 1. Izquierda: Separación de entre pisos horizontal con mezcla de tierra alivianada en la edificación medieval de Löhnberg. Derecha. Proceso de realización de tierra alivianada (Fauth, 1948):
 1) cortar fibra 10-15 cm; 2) verter tierra líquida sobre la fibra; 3) mezclar; 4) insertar mezcla en moldes; 5) compactar la mezcla; 6) insertar maderas horizontales para rigidizar el muro

A raíz de la emergencia climático actual, el sector de la arquitectura y la construcción ha comenzado un proceso de realización de construcciones más ecológicas, donde notablemente el concepto de descarbonización del sector ha avanzado (COAC, 2022). Esto implica la no dependencia y la prescindencia de la emisión de carbono durante todo el ciclo de vida de los edificios (Cuchí; Pagès-Ramon, 2020; Keena et al. 2020; Hamard et al, 2022; Hartman; Williams, 2024), con un notable enfoque en los materiales de construcción. En este contexto, la construcción con tierra y fibras vegetales puede representar una importante oportunidad para la arquitectura contemporánea (figura 2). Las fibras vegetales ofrecen grandes ventajas ecológicas, ya que no sólo no liberan CO₂, sino que almacenan carbono durante su crecimiento (Rivera Vidal; Achenza, 2023). Además, las fibras finas son partes de las plantas de rápido crecimiento, por lo que su renovación es constante (Gauzin-Müller, 2019).

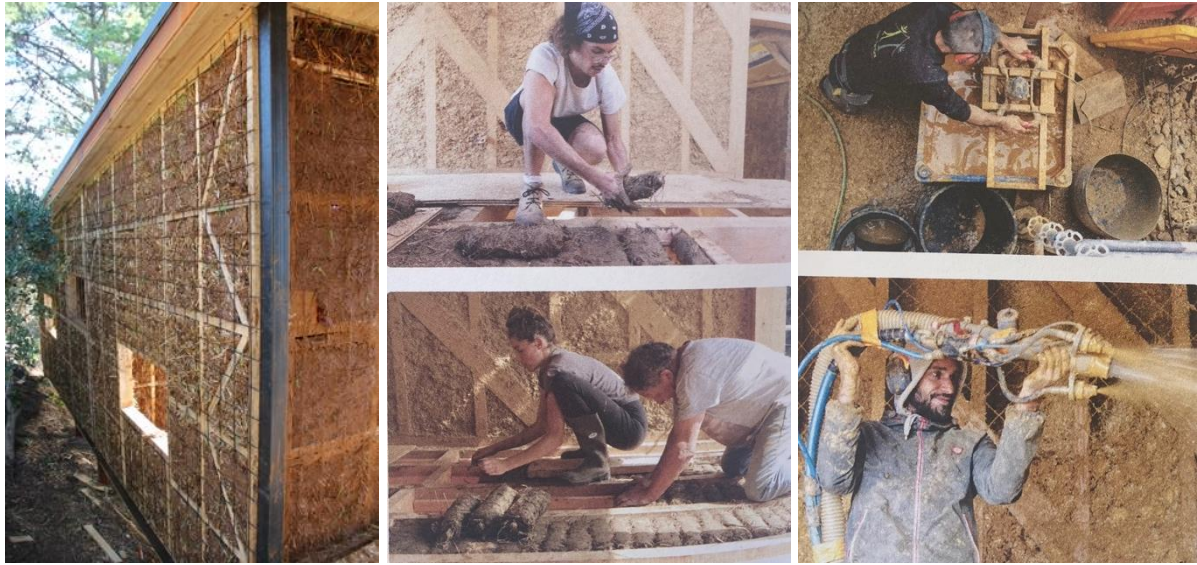


Figura 2. Izquierda: Construcción con tierra aligerada dentro de una estructura de madera y acero en Coliumo (Chile, 2018) © Amanda Rivera Vidal. Centro: Instalación de elementos de tierra y fibras (*quenouilles*¹) en paramentos horizontales en edificación en Sap-en-Auge (Francia, 2021) © Anatomies d'Architecture. Derecha: proyección de una mezcla de tierra líquida y cáñamo como relleno de estructura de madera © Anatomies d'Architecture (Mortamet et al., 2023)

2 RESIDUOS COMO MATERIAS PRIMAS

Las materias primas utilizadas en esta investigación son componentes considerados residuos de otros procesos productivos: por una parte, es tierra de obras de excavación para infraestructura, y, el segundo, son fibras vegetales residuales de procesos agrícolas. Stulz y Mukerij (1998) han definido estas materias como subproductos, ya que no todos los residuos son basura inútil y tampoco están disponibles gratuitamente. Es sobre todo una cuestión de definición: desde un punto de vista, un material puede no ser útil, mientras que desde otro puede ser un recurso valioso.

Esta investigación se centró en el desarrollo y evaluación de diferentes elementos compuestos estas dos materias primas, producidos utilizando siempre la misma tierra, mezclada con diferentes fibras vegetales, con el objetivo de generar elementos constructivos con importantes prestaciones térmicas. Para esta publicación se presentan los resultados obtenidos con tres fibras diferentes: médula de cáñamo, paja de trigo y fibra de la fruta lufa.

2.1 Tierra de excavación

La tierra es un material que resulta de la disgregación de las rocas debido a la interacción de factores climáticos y la evolución fisicoquímica (Houben; Guillard, 2006), por lo que es un material disponible en, prácticamente, todo el mundo. Con una infinita diversidad de características y uno de los materiales de construcción más antiguos utilizados por la humanidad, transformándose en infinitas formas arquitectónicas y técnicas de construcción. Está compuesto por una diversidad de granos, siendo los más pequeños, las arcillas las responsables de la cohesión de la materia debido a su geometría laminar con cargas electrostáticas en sus caras, que generan atracción entre ellos (Houben; Guillard, 2006; Fontaine et al., 2009; Hamard et al., 2022). Cuando se extrae de una excavación, la tierra como material de desecho inicia un círculo virtuoso de uso como subproducto; reduciendo aún más su consumo de energía cuando se aplica una cadena de suministro con distancias cortas

¹ *Quenouilles*, denominación en francés a elemento constructivo, realizando elementos prefabricados de tierra líquida y fibras vegetales que envuelven un listón de madera, los que luego son insertados en una estructura de madera, ya sea horizontal o vertical.

entre el suministro de producción, el lugar de producción y el sitio de construcción. Por otro lado, su uso no estabilizado asegura su reutilización infinita (Gauzin-Müller; Vissac, 2021).

Para esta investigación se ha elegido un terreno disponible localmente, procedente de la excavación de una construcción de carretera en Serrenti (Cerdeña, Italia). Se analizó la composición de la tierra (tabla 1): granulométrica (figura 3), realizando el ensayo de tamizado en húmedo y sedimentación (UNE-EN ISO 17892-4, 2019), su capacidad cohesiva a través del ensayo de absorción de azul de metileno, límites de Atterberg (figura 4), y por último su comportamiento a la retracción (Segovia-López, 2024).

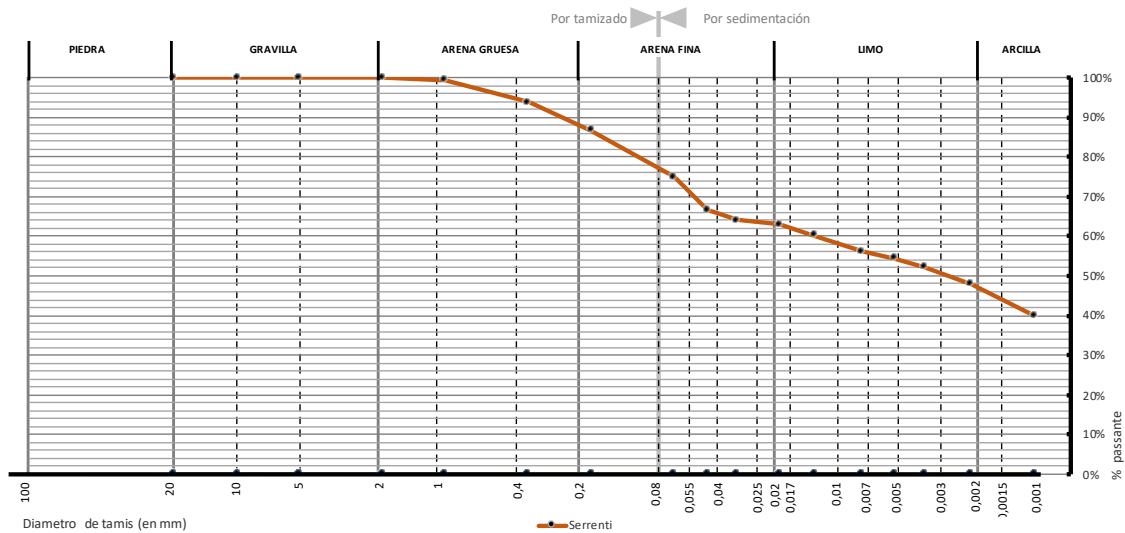


Figura 3. Curva granulométrica de la tierra de Serrenti

Tabla 1. Resultados ensayos de caracterización de la tierra

Ensayos		
Retracción		11,1%
Límites de Atterberg	Límite líquido (LL)	68,54%
	Límite plástico (LP)	26,33%
	Índice de plasticidad	42,22%
Azul de metileno	Superficie específica en el total del suelo	139,97 m ² /g
	Partículas menos a 2 µm de la muestra total	42,66%

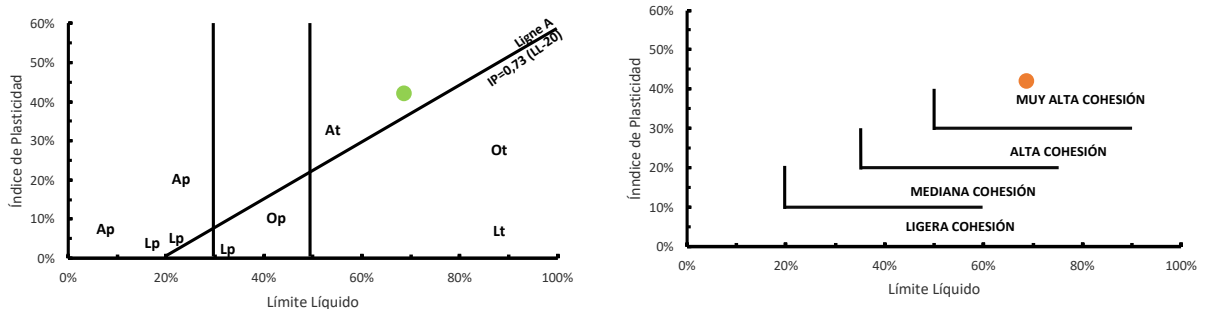


Figura 4. Interpretación resultados límites de Atterberg

2.2 Fibras

Todas las fibras utilizadas son fibras vegetales disponibles en Cerdeña (Italia) y representan un remanente de otros procesos de producción. Estas fibras se componen principalmente de celulosa, que representa el 50% de la biomasa (Vissac, 2014). Las tres son plantas de rápido crecimiento con ciclos anuales.

Tabla 2. Características geométricas de las fibras

Fibra	Longitud máxima (mm)	Diámetro (μm)	Parte de la planta	Densidad esquelética (g/cm ³)
Médula cáñamo	30	17 – 5000	Provenir	1,4161
Paja de trigo	40	50 - 3000	Provenir	1,2656
Fibra de la lufa	20	20 - 500	Fruta	1,6553

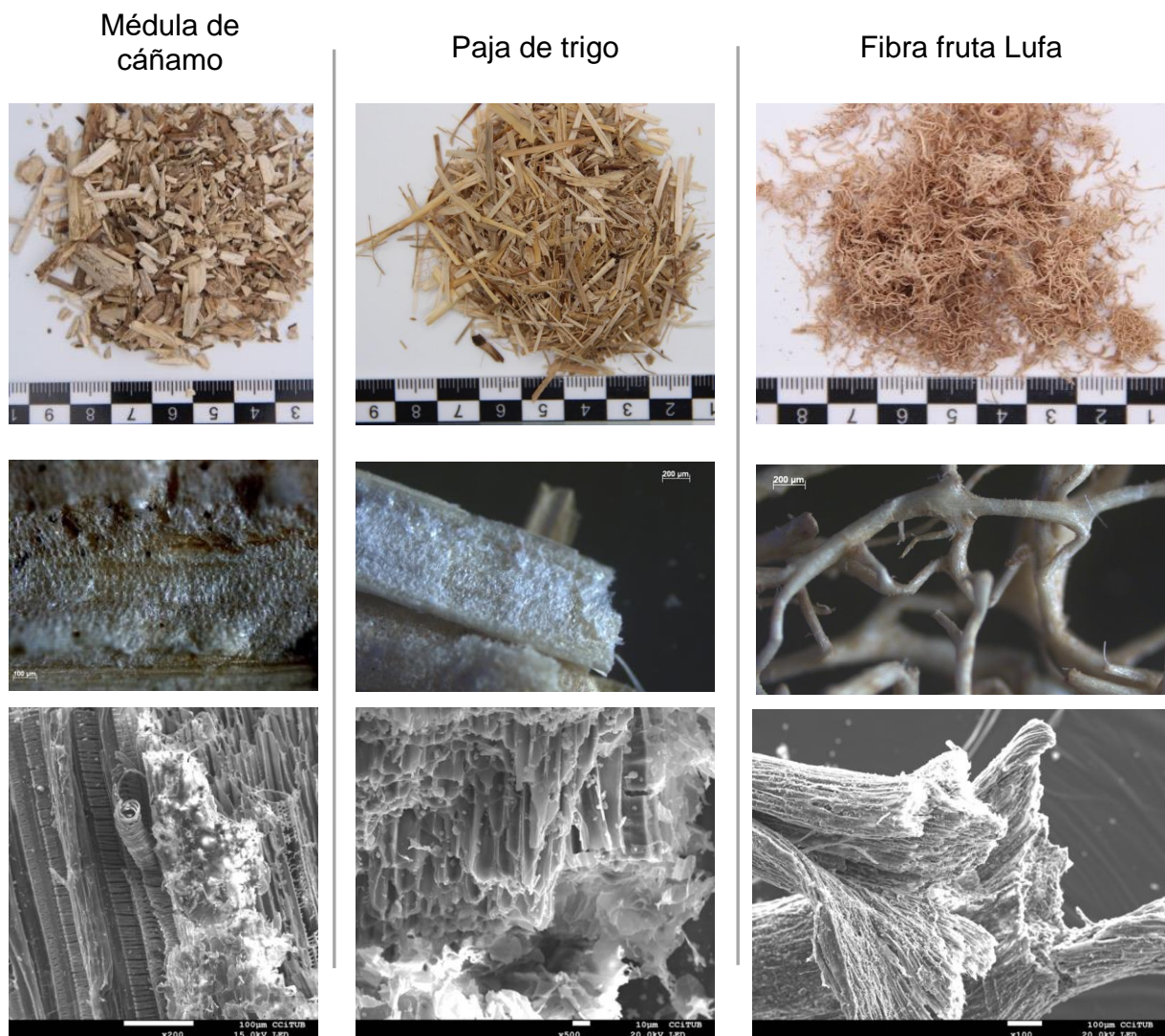


Figura 5. Imágenes de las fibras estudiadas, según escala gráfica: fotografía, micrografía y SEM

- a) El cáñamo, una planta herbácea anual originaria del Himalaya, es una de las primeras plantas domesticadas por la humanidad y miembro de la familia de plantas Cannabaceae. Se cultiva desde el Neolítico y se adapta a climas templados; crece muy rápidamente ya que madura cuatro meses después de la siembra. La planta de cáñamo tiene un solo tallo

principal, crece hasta una altura de aproximadamente 1,8 a 4,5 m y florece y produce semillas si la polinización se produce entre plantas masculinas y femeninas (Lewis et al., 2022). Históricamente, el cáñamo se cultiva para fabricar textiles, cuerdas y papel, para lo que se utilizan las fibras periféricas desprendidas del corazón del tallo. En la presente investigación se ha utilizado la médula del tallo, ya que es el residuo de su producción. Se trata de un elemento muy poroso y con una alta capacidad de absorción de agua. Las fibras utilizadas tienen dimensiones muy diversas, hasta 30 mm de longitud y 5 mm de diámetro.

- b) Paja de trigo, planta herbácea anual de hojas alternas, formada por un colmo con una espiguilla formada por dos hileras de espiguillas que contienen los granos. El trigo fue domesticado en el Cercano Oriente a partir de una hierba silvestre y cultivado como alimento. Una vez cosechado, el tallo se corta del grano, convirtiéndose en un desecho. Los tallos son cilíndricos, a menudo huecos por reabsorción de la médula central (Vissac, 2014). Parecen tubos estriados con largos y numerosos subconductos, que están interrumpidos por nudos. Hay una concentración de múltiples grupos microscópicos pero muy duros de sílice en la epidermis, lo que hace que los conductos sean afilados. Las fibras utilizadas tienen hasta 40 mm de largo y un diámetro de hasta 3mm.
- c) Lufa es una planta de crecimiento anual, de la especie de cucurbitáceas tropicales y subtropicales, cultivada durante siglos en Oriente Medio y Asia. El fruto seco tiene una cáscara dura que rodea una red densa y rígida de fibras de celulosa (Davis, 1994). La lufa se utilizó como esponja y su cultivo estuvo ampliamente difundido hasta principios del siglo XX. En los últimos años su cultivo se ha vuelto a ampliar, debido al fomento de las cualidades ecológicas de su esponja. Los productos de lufa se elaboran únicamente con la parte exterior de la fruta, dejando el corazón de la fruta como residuo. Esta parte central ha sido triturada para este trabajo en fibras de 20 mm de largo con un diámetro de aproximadamente 0,5mm.

3. TIERRA – FIBRAS VEGETALES, MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

En los compuestos de tierra y fibras vegetales, cada una de las partes colabora con características particulares al nuevo material. Las fibras, por sus características porosas formadas por cavidades de diversos tamaños, logran encapsular el aire de manera estanca, actuando, así como aislantes térmicos en compuestos fibra-tierra, pudiendo transformarse materiales de construcción bastante ligeros. La tierra aporta cohesión a las fibras, permitiendo que la mezcla se convierta en un sistema compacto y coherente, y colabora en enfrentar la limitación de vulnerabilidad de las fibras vegetales al fuego, encapsulando las fibras como elemento ignífugo.

Para determinar el comportamiento térmico de los materiales de tierra y fibras vegetales se produjeron paneles paralelepípedos de 20x20x5cm. El desarrollo de los paneles se llevó a cabo en tres fases: desarrollo del diseño de la mezcla, fabricación de paneles y pruebas térmicas.

- a) Desarrollo y diseño de mezclas.

Para cada una de las fibras se realizaron una serie de pruebas de mezcla. Inicialmente se determinó el volumen de fibras necesario para llenar el molde, luego se mezcló la fibra con una cantidad determinada de agua y luego se mezcló con diversos porcentajes de tierra tamizada a 1mm. Para cada fibra el volumen a llenar el molde fue diferente, así como la cantidad de agua añadida. La cantidad de tierra necesaria para lograr un panel cohesivo también varió. La búsqueda inicial apuntaba a llegar al posible panel más ligero, para alcanzar una baja densidad y por tanto un mejor aislamiento térmico.

Tabla 3. Tabla de composición de los paneles seleccionados

Muestra	Composición en volumen (L)			Tierra (%)	Resultados		
	Fibra	Agua	Tierra	$\frac{E}{F} \times 100$	Peso seco (g)	Densidad (kg/m ³)	obs
MC	2,3	750	0,32	13,9%	679	339,50	liviano
LUF	5	1000	0,36	7,2%	620	310,00	liviano
PT	3,2	850	0,144	4,5%	405	202,50	liviano

Donde: MC (médula de cáñamo), LUF (lufa), PT (paja de trigo)

b) Fabricación de muestras seleccionadas.

Una vez determinada la composición de las cinco muestras se procedieron a fabricar 5 muestras para cada composición. Para este procedimiento se multiplicaron por cinco los volúmenes iniciales, luego se llenó con la mezcla el molde de madera de 18mm de espesor, presionando una vez con una placa de madera de 12mm, para luego retirar el molde.

c) Preparación para pruebas térmicas.

Por las características técnicas del equipamiento utilizado, las muestras secas tenían bordes definidos con caras muy heterogéneas, con una cantidad importante de cavidades y por tanto no completamente paralelas entre sí. Para poder colocar estas muestras en el medidor de conductividad térmica (TCA 300 Taurus), ha sido necesario preparar cada muestra de forma individual. A continuación, las muestras se colocaron en un marco de poliestireno expandido de células cerradas de 30x30x6cm con aislamiento térmico Λ_D 0,035 W/m \times K. Este último tenía un orificio en el centro de tamaño 20x20 cm por donde se insertaban los paneles de tierra y fibras vegetales. A continuación, se ha revestido cada cara vista con un revoque de tierra y arena elaborado con la misma tierra utilizada para las muestras (Serrenti) en proporciones volumétricas de 1:2, todo ello tamizado a 0,7mm.

También fue necesario preparar una muestra de revoque para su ensayo, para determinar su conductividad térmica y, por lo tanto, también de la información del panel de fibra de tierra. En este caso también se preparó un panel de 30x30x6 cm de poliestireno expandido, pero con una perforación central de 10x10 cm, en su interior se insertó un revoque capa a capa.

4. ENSAYOS Y RESULTADOS

Las pruebas realizadas a los materiales de tierra y fibras vegetales se realizaron con el Taurus Instruments TCA 300. Este es un dispositivo de medición que ayuda a determinar la conductividad térmica de los materiales mediante un medidor de flujo de calor de acuerdo con ISO 8301, DIN 52616, DIN EN 1946-3, EN 12664, EN 12667 y EN 12939. Este dispositivo está equipado con una cámara de prueba aislada para evitar la interferencia con la temperatura externa (Król et al, 2017). Este instrumento dispone en su interior de dos superficies horizontales, planas y paralelas de 30x30 cm, entre las cuales se introduce el material a ensayar.

Para la correcta ejecución del ensayo, el material a ensayar debe tener caras completamente planas y paralelas entre sí, sin irregularidades que puedan permitir el paso del aire al interior de la cámara y no a través del material ensayado. Debido a esta especificidad, los paneles de fibra-tierra se han revestido con el mencionado revoco que también ha sido ensayado para estimar datos de los paneles completos. Adicionalmente las muestras deben tener 0% de humedad relativa (HR), ya que la cantidad de agua retenida en el interior del material variaría los resultados, teniendo una alta capacidad de conductividad térmica. Para garantizar esto, cada una de las muestras, después de secarse en ambiente natural, se secó en estufa a 60°C

durante 24 horas y se cubrió con una película de celofán para evitar que se volviera a humedecer.

El ciclo de prueba duró 15 horas, determinando los coeficientes λ de las muestras individuales para las diferencias de temperaturas de 10°C, 20°C y 30°C, con un ciclo de 5 horas para cada una de ellas. Al analizar los resultados, se puede observar que la temperatura media estable se alcanzó después de una hora para cada ciclo de temperatura (figura 6).

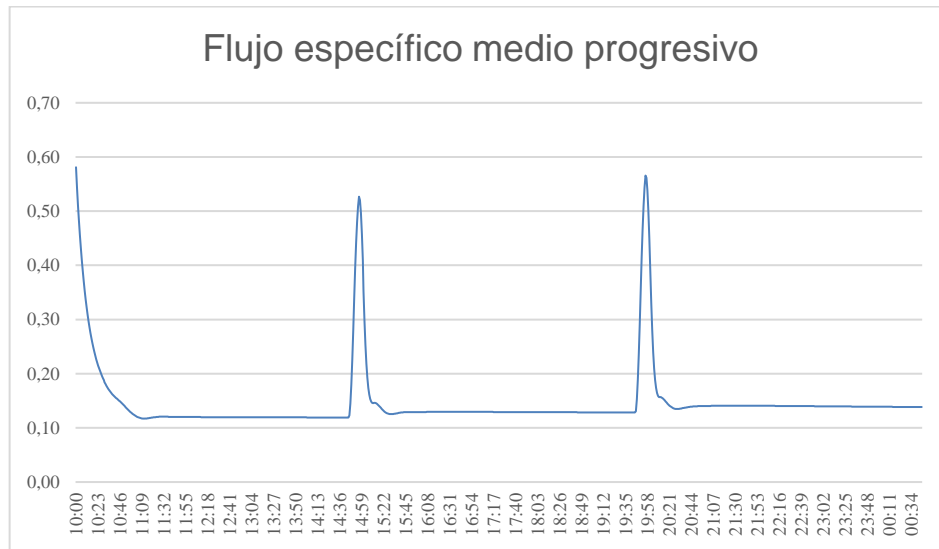


Figura 6. Flujo específico medio progresivo que muestra la estabilidad de 4 horas de cada ciclo de temperatura media en la muestra de médula de cáñamo

De acuerdo a la norma adoptada, se toma como referencia los resultados de coeficiente de conductividad térmica (λ) a la temperatura media de 10°C. El λ medido de la muestra de cáñamo (revoque de 8,3mm) fue de 0,080 W/m×K. La muestra de lufa (revoque de 11,8mm) fue de 0,101 W/m×K. La muestra elaborada con paja de trigo (revoque de 8mm) fue de 0,061 W/m×K. La muestra del revoque utilizado fue de 0,090 W/m×K. Como cada una de las muestras tiene un espesor de revoque diferente y el revoque tiene una conductividad térmica muy alta ($\lambda = 0,285$ W/m×K), esto influye en los resultados aumentando considerablemente la conductividad térmica de los paneles ensayados (figura 7).

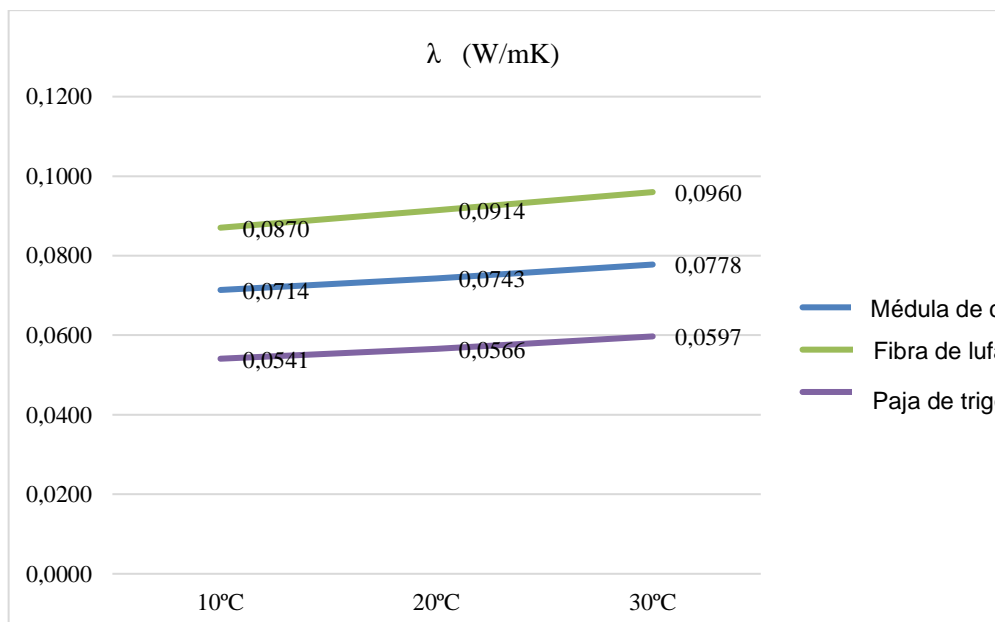


Figura 7. Comparación del λ de cada muestra para las tres medidas de flujo específico de temperatura

Para obtener el λ de cada muestra sin considerar el espesor (L) del revoque, se decidió aplicar la fórmula $R = L/\lambda$

Al evaluar los resultados de la conductividad térmica (tabla 4), se evidencia que la densidad de los elementos constructivos está directamente vinculados a su desempeño térmico, siendo la muestra de paja de trigo, la que al necesitar menor cantidad de tierra para su cohesión logra densidades menores, y por lo tanto resultados de conductividad más bajo, con un porcentaje de 4% tierra, densidad de 231 kg/m^3 y $\lambda = 0,0541 \text{ W/m}\times\text{K}$.

Tabla 4. Resultados del ensayo térmico con la información de la muestra de los paneles de tierra-fibra y del revoque tierra-arena para una temperatura media de 10°C

Muestra	Muestra		Revestimiento		Rendimiento térmico (temperatura media de 10°C)		
	tierra (%)	densidad (kg/m^3)	en volumen (%)	espesor (L) (m)	conductividad térmica (λ) ($\text{W/m}\times\text{K}$)	resistencia al flujo de calor ($\text{m}^2\times\text{K/W}$)	transmitancia térmica (U) ($\text{W/m}^2\times\text{K}$)
R_TA	100%	1552,50	100%	0,0401	0,2850	0,1409	7,0975
LUF	7,2%	317,50	20%	0,0118	0,0870	0,5500	1,8182
MC	13,9%	301,50	14%	0,0083	0,0714	0,7202	1,3885
PT	4,5%	231,00	13%	0,0080	0,0541	0,9579	1,0439

Donde R_TA (revestimiento de tierra y arena), MC (médula de cáñamo), LUF (lufa), PT (paja de trigo)

5. PERSPECTIVAS

Las pruebas de conductividad de temperatura indicadas en este trabajo son las iniciales de una serie, donde cada material será probado 5 veces para obtener resultados promedio que verifiquen tendencias. Por otro lado, se realizaron pruebas comparativas de mediciones de térmicas, para verificar la precisión de los datos presentados. Para estos propósitos se compararán los resultados obtenidos con la Taurus Instruments TCA 300 con mediciones realizadas con el conductímetro Isomet 2114 y con mediciones de termohigrómetros en materiales expuestos a la intemperie en un ciclo anual.

Por otra parte, es de gran importancia realizar otras pruebas para determinar de manera integral su desempeño y evaluar diversos usos posibles de estos materiales basados en tierras y fibras vegetales (rendimiento higrótico, prestaciones acústicas, comportamiento frente al fuego). Se presume que la permeabilidad al vaporizador de agua será alta, ya que los materiales de bio-basados y geo-basados son muy porosos. Este puede ser un gran aporte a la regulación hidrométrica de las edificaciones, así como una solución para la mejora térmica de la edificación tradicional con una capa compatible y no impermeable, ya que se han observado muchas patologías en la incorporación de polímeros impermeabilizantes en elementos aislantes que generan condensaciones en su interior, tanto en paredes de piedras, madera, tierra y ladrillos hechos a mano, provocando la aparición de hongos y degradación, incluyendo la degradación de los materiales estructurales originales.

6. CONCLUSIONES

Los ensayos realizados sobre muestras elaboradas con diversas fibras y una misma tierra tuvieron como objetivo comparar el comportamiento térmico de elementos compuestos, la diversidad de comportamiento y composiciones de las fibras, así como su manipulación con perspectivas de su aplicación en la arquitectura y construcción. Se ha observado que la creación de materiales compactos y manipulables, que a la vez sea ligeros es complejo en términos general, aumentando su complejidad las fibras con características más leñosas, que necesitarían mayor fuerza de cohesión para estos fines (como la médula de cáñamo). Por otro

lado, fibras con una geometría de mayor tendencia a la esbeltez, como es el caso de la paja de trigo, pueden llegar a necesitar menores porcentajes de tierra, ya que su geometría colabora con la cohesión del elemento constructivo. Reflexionando sobre la aplicabilidad de estos elementos en la edificación, surge la posibilidad de elaborar materiales para rellenar estructuras, en el caso de los materiales que pierden cohesión al ser manipulados (médula de cañamo con menores porcentajes de tierra), y otros con los que se pueden elaborar paneles prefabricados (paja de trigo y lufa)

Según los resultados preliminares obtenidos, los valores de conductividad térmica pueden ser comparables con los de los materiales sintéticos, que tienen una enorme huella de carbono, pocas posibilidades de reutilización o reciclaje y tiempos de descomposición de cientos de años.

Teniendo en cuenta que el uso de materiales procedentes de otros procesos de producción prácticamente no tiene impacto sobre el medio ambiente; el uso de fibras vegetales de rápido crecimiento, que en su ciclo anual almacenan importantes cantidades de CO₂, contribuye a compensar la huella de carbono en el ámbito de la construcción, que actualmente aporta el 23% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero (Keena et al., 2020);

Se puede asumir que el uso de tierra y fibras naturales es un aporte importante al futuro de la construcción con sentido de pertenencia consciente y respetuoso, que aporta a la descarbonización del sector de la arquitectura y construcción, donde los materiales locales representan una oportunidad para el desarrollo de tecnologías para la edificación. Estos materiales pueden ofrecer cambios importantes en construcciones nuevas, y también representan grandes oportunidades para la adaptación térmica de edificaciones existentes que hoy no cumplen con los estándares necesarios, pero no son compatibles con el uso de materiales sintéticos, debido a sus características de impermeabilidad. Las tierras y fibras vegetales pueden (y deben) tener una procedencia local; y representa un futuro de arquitectura y materiales de construcción sostenibles y regenerativos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdollahiparsa H.; Shahmirzaloo A.; Teuffel P.; Blok R. (2023). A review of recent developments in structural applications of natural fiber-Reinforced composites (NFRCs). *Composites and Advanced Materials*. 2023; 32. doi:10.1177/26349833221147540

Achenza, M.; Rivera Vidal, A; (2022). Terra cruda e fibre vegetali: un sodalizio antico per la contemporaneità. In: Bonetto, J.; Previato, C. (eds.) *Costruire nel mondo antico*, p. 1249-1256. Università degli Studi di Padova

Biçakçi, E. (2003). Observations on the Early Pre-Pottery Neolithic architecture in the Near East: 1. New building materials and construction techniques, in: M. Özdoğan, H. Hauptmann, N. Basgelen (Eds.), *From Village to Cities. Early Villages in the Near East*, pp. 385–414.

Bruno, P.; Faria, P. (2008) Earth mortars use on neolithic domestic structures. Some case studies in Alentejo, Portugal, *Conservar Património* 8. pp. 5–12. https://doi.org/10.14568/cp8_2.

Cuchi, A.; Pages-Ramon, A. (2020). Prólogo. A: "PAS-E: pasaporte del edificio: instrumento para la rehabilitación profunda por pasos". Madrid: Green Building Council España, p. II-III. ISBN 9788409183890

Davis, J. M (1994). Luffa sponge gourd production practices for temperate climates. *HORTSCIENCE* 29(4), 263–266.

COAC (2022). *Descarbonizando la arquitectura*. Col·legi d'Arquitectes de Catalunya https://www.escolasert.com/sites/default/files/2024-01/ebook-descarbonizando-la-arquitectura-2022_0.pdf

Doat, P.; Hays, A.; Houben, H.; Matuk, S.; Vitoux, F. (1979). *Costruire in terre*. Paris: Editions Alternatives. ISBN 2862270091.

Fauth, W. (1948). *Der praktische Lehm- und Ziegelbau*. Wiesbaden 1946.

- Fontaine, L.; Anger, R.; Doat, P.; Houben, H.; Van Damme, H. (2009). *Bâtir en terre : du grain de sable à l'architecture*. Belin.
- Gauzin-Müller, D. (2019). *Architecture en fibres végétales d'aujourd'hui*. Paris: Museo Editions
- Gauzin-Müller, D; Vissac, A. (2021). *Terrafibra architectures*. Paris: Éditions du Pavillon de l'Arsenal
- Hamard, E.; Fabbri, A.; Morel, J.-C. (2022) General introduction, in: Fabbri et al. (eds). *Testing and characterisation of earth-based building materials and elements*. p. 1–15. https://doi.org/10.1007/978-3-030-83297-1_1.
- Hartman, H.; Williams, J. J. (2024). *Materials : an environmental primer*. RIBA Publishing. ISBN 9781915722218.
- Mortamet, A.; Rager, M.; Stern, E.; Walther, R.; Roudier, F. (2023). *Le tour des matériaux d'une maison écologique*. Paris: Editions alternatives. ISBN 9782073027290.
- Houben, H.; Guillaud, H. (2006). *Traité de construction en terre*. Marseille: Editions Parentheses
- Keena, N.; Duwyn J.; Dyson, A. (2020). *Biomaterials supporting the transition to a circular built environment in the global south*. Connecticut: Yale Center for Ecosystems + Architecture and UN Environment Programme.
- Król-Morkisz, K.; Pielichowska, K. (2019). *Thermal decomposition of polymer nanocomposites with functionalized nanoparticles*. In: Pielichowski, K. and Majka, T. (eds) *Polymer composites with functionalized nanoparticles*. Elsevier.
- Lewis, P., Tsurumaki, M., Lewis, D. (2022). *Manual of biogenic house sections*. San Francisco: ORO Editions
- Minke, G. (2017). *Lehmbau handbuch. Der Baustoff Lehm und seine Anwendung*, Rastede
- Nakielska, M., Chalamoński, M., Pawłowski, K.: (2017). *Investigation of effect additive phase change materials on the thermal conductivity*. *Materials Science and Engineering* 245, 022048.
- Rivera Vidal, A.; Achenza, M. (2023). *Preliminary results of thermal conductivity test on earth and fibers building elements from waste materials to thermal constructive solution*. In S. Amziane, I. Merta, & J. Page, *Bio-Based Building Materials* (Vol. 1, pp. 430–441). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-031-33465-8_33
- Segovia López, C. (2024). *Estudio experimental de elementos constructivos en base a tierra y fibras naturales*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Stulz, R., Mukerij, K. (1998). *Appropriate building materials, a catalogue of potential solutions*. SKAT Publications, Gallen
- Vissac, A. (2014). *Matière en fibres*. Villefontaine: Amàco
- Volhard, F. (2016). *Construire en terre allégée*. Paris: Editions actes-sud

AUTORAS

Amanda Rivera Vidal, arquitecta dedicada a la arquitectura y tecnologías de tierra. Investigadora asociada del Laboratorio de Materiales EPSEB-UPC. Candidata a doctora por la Universidad de Cagliari y Universitat Politècnica de Catalunya, Magíster en Patrimonio Cultural PUC (Chile) y DSA-Terre CRATerre-ENSAG (Francia). Vicepresidenta del Comité Científico Internacional de Patrimonio de Tierra ICOMOS-ISCEAH, miembro de ICOMOS-CIAV, PROTERRA e ICOMOS-Chile.

Antonia Navarro Ezquerro. Doctora en geología por la Universidad de Barcelona, profesora de Materiales de Construcción de la Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona (EPSEB) de la Universitat Politècnica de Catalunya. Especialista de materiales de origen pétreo: cal, yesos tradicionales morteros y tierra.

Maddalena Achenza. Doctora arquitecta, especialista en construcción en tierra CEEA CRATerre – ENSAG. Profesora de la Universidad de Cagliari, miembro de la UNESCO Cátedra Unitwin “Arquitectura de tierra, culturas constructivas y desarrollo sostenible”. Coordinadora del LABTERRA de la Universidad de Cagliari. Presidente de ICOMOS-ISCEAH Científico Comité de Patrimonio Arquitectónico de Tierra.