

# CARACTERIZACIÓN DE TIERRA ADICIONADA CON FIBRAS DE SUBPRODUCTOS AGRÍCOLAS O GANADEROS EN HUESCA

Àngels Castellarnau Visús<sup>1</sup>, María Alegre Esteve<sup>2</sup>

EDRA Arquitectura Km .0, Huesca, España

<sup>1</sup>angels@edraculturaynaturay.com; <sup>2</sup>maria@edraculturaynaturay.com

**Palabras clave:** tierra aligerada, descarbonización, fibras naturales, comportamiento mecánico, residuos

## Resumen

El sector de la construcción es uno de los grandes emisores de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero, es por ello que es necesario promover la utilización de materiales de bajo impacto ambiental que favorezcan la descarbonización de los edificios, así como, desarrollar bio y geomateriales de baja huella ecológica, basados en recursos naturales y que cierren los ciclos materiales. El objetivo del artículo consiste en evaluar el potencial de distintas fibras naturales locales provenientes de residuos agrícolas o ganaderos para añadir a mezclas de tierra y así mejorar las características térmicas o estructurales, tanto de soluciones portantes como de soluciones aligeradas, de la construcción con tierra. Se han realizado distintos ensayos de trabajabilidad, compresión y retracción entre otros. Se seleccionan diferentes fibras locales (subproductos agrícolas o ganaderos) sencillos de encontrar en la zona de Huesca, España: cáscara de arroz, hueso de oliva, cáscara de almendra y lana de oveja. Se toma una tierra arcillosa local a la que se le añade las diferentes fibras para realizar probetas con densidades variadas, posteriormente estas probetas se someten a diferentes ensayos de resistencia, conductividad o retracción, entre otros, para evaluar la viabilidad y el potencial de introducirlos en construcción para mejorar el comportamiento mecánico o térmico en edificios de tierra. Se estudia la viabilidad de utilizar algunas de las fibras estudiadas en construcción, unas en mezclas con tierra en estado seco y otras en mezclas en estado fluido. Se ha determinado la densidad óptima de cada fibra, así como el comportamiento mecánico y térmico de cada mezcla, así mismo se ha determinado la capacidad de retracción. De los resultados se extraen conclusiones que permiten tipificar cada fibra para uno u otro uso en construcción.

## 1 INTRODUCCIÓN

### 1.1 Descarbonización de los materiales de construcción

Según la Comisión Europea, los edificios de la UE son responsables del 40 % de nuestro consumo de energía y del 36% de las emisiones de gases de efecto invernadero (Parlamento, 2023).

El escenario actual del sector industrial asociado a la construcción está basado en el procesado de materiales de gran impacto ambiental. Estos impactos se producen a lo largo de toda la cadena de producción, extracción, manipulación fabricación, transporte, puesta en obra, uso, demolición e integración de los materiales (Cabello, 2008).

Con el fin de transformar el sector de la construcción hacia procesos que supongan una descarbonización de los procesos es preciso y urgente desarrollar materiales y tecnologías de bajo impacto que posibiliten un modelo de consumo que reduzca al máximo las externalidades de los servicios ecosistémicos. Esta descarbonización requiere de la eliminación de los materiales de alto impacto como el cemento, los metales como el acero o el aluminio y los materiales derivados del petróleo. Además, será preciso reducir la demanda energética de los procesos de producción de todos los materiales industrializados (Ríos, 2023).

En el proceso de descarbonización de la arquitectura, se revela un elemento crucial, hasta ahora escasamente reconocido: las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) derivadas de la manufactura de los materiales empleados en la construcción. La descarbonización de estos materiales de construcción representa una transformación radical en los métodos constructivos, imponiendo la necesidad de comprender plenamente su relevancia en la descarbonización global de la arquitectura.

## 1.2 El papel de la arquitectura en tierra en el proceso de descarbonización

La arquitectura en tierra juega un papel fundamental en la descarbonización de los sistemas constructivos. Las técnicas ancestrales y sus derivadas contemporáneas que utilizan la tierra como principal componente para la construcción de edificaciones, y permiten reducir considerablemente la huella de carbono en comparación con otros materiales contemporáneos como el cemento o el acero. El uso de la tierra ~~cruda~~ como material de construcción no solo disminuye las emisiones de dióxido de carbono ~~durante su producción~~, sino que también promueve la captura y almacenamiento de carbono a largo plazo. Además, la arquitectura en tierra permite un menor consumo energético durante el proceso constructivo, ya que no requiere altas temperaturas ni procesos industriales intensivos. Esto contribuye a la reducción de la demanda de energía y, por ende, a la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Otro aspecto relevante del papel de la arquitectura en tierra en la descarbonización de los materiales de construcción es su bajo impacto ambiental. La extracción y procesamiento de materiales como el cemento y el acero generan una gran cantidad de residuos y contaminación. En cambio, la utilización de la tierra ~~cruda~~ como material constructivo promueve la conservación del suelo y no genera desechos tóxicos. Además, este tipo de construcción se puede realizar con materiales locales y renovables, lo cual reduce aún más el impacto ambiental asociado al transporte y extracción de recursos. Así mismo la arquitectura en tierra puede reducir la demanda energética de las edificaciones si al aplicar un diseño bioclimático se hace uso del potencial de la inercia térmica de la tierra.

La arquitectura en tierra también tiene beneficios sociales y económicos significativos. Al promover el uso de materiales locales y accesibles, se fomenta el desarrollo de la economía local y se generan oportunidades de empleo en la comunidad. Además, este tipo de construcción es altamente adaptable a diferentes contextos geográficos y climáticos, lo que permite una mayor resiliencia frente al cambio climático. Asimismo, la arquitectura en tierra puede contribuir a mejorar la calidad de vida de las personas, ya que los edificios construidos con este material ofrecen un mayor confort térmico y acústico.

## 1.3 El aprovechamiento de los residuos agrícolas y ganaderos

El uso de residuos agrícolas (como la paja, las cáscaras de arroz, cáñamo...), ganaderos (como la lana o el estiércol) y forestales (como la madera o la pinocha) en la construcción presenta una alternativa sostenible y eficiente para abordar el problema de la gestión de estos residuos. Estos residuos se convierten en subproductos si su uso es viable y pueden ser procesados y utilizados en los morteros tierra.

Las fibras naturales actúan como refuerzos, mejorando las propiedades mecánicas de los materiales de construcción, incrementando su resistencia a la tracción y reduciendo su fragilidad (Volhard, 2016).

Entre las ventajas de la incorporación de fibras naturales en la arquitectura en tierra se encuentra la contribución a la reducción de desechos y la mitigación de su impacto ambiental. Al utilizar estos residuos, se disminuye la necesidad de materiales vírgenes, lo que a su vez reduce la explotación de recursos naturales y las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a su producción y transporte (Serrano et al, 2024).

Por otra parte, los edificios construidos con tierra y fibras naturales ofrecen excelentes propiedades de aislamiento térmico. Estos materiales ayudan a mantener una temperatura interior estable, reduciendo la necesidad de sistemas de calefacción y refrigeración, lo que se traduce en un menor consumo energético y una disminución de las emisiones de carbono (Moraes, 2023).

El uso de residuos agrícolas y ganaderos en la construcción promueve un modelo de economía circular, donde los subproductos de una industria se convierten en insumos valiosos para otra. Este enfoque no solo minimiza el desperdicio, sino que también crea nuevas oportunidades económicas para los agricultores y ganaderos, quienes pueden vender sus residuos como materia prima para la industria de la construcción.

Finalmente, la reutilización de residuos agropecuarios en la construcción puede impulsar el desarrollo económico de las zonas rurales. Los agricultores y ganaderos pueden obtener ingresos adicionales al comercializar sus residuos, fomentando así la economía local y promoviendo prácticas agrícolas y ganaderas más sostenibles (Morcillo, 2022).

El desarrollo de tecnologías y métodos innovadores para transformar residuos agrícolas y ganaderos en materiales de construcción puede generar avances significativos en la industria de la construcción descarbonizada. La investigación y el desarrollo en este campo pueden conducir a la creación de materiales más duraderos, económicos y ecológicos.

## **2 OBJETIVO**

El objetivo del artículo consiste en evaluar el potencial de distintas fibras naturales locales provenientes de residuos agrícolas o ganaderos para ser incorporados a mezclas de tierra y así mejorar las características térmicas o estructurales tanto de soluciones portantes como de soluciones aligeradas de la construcción con tierra.

## **3 METODOLOGÍA**

La investigación está basada en dos partes, en la primera y en la que se centra el presente artículo evalúa la influencia del uso de distintas fibras sobre la trabajabilidad y la resistencia mecánica, y la segunda se investiga el comportamiento térmico de las diferentes mezclas.

Así pues, en esta primera etapa de la investigación se ha requerido un análisis previo de la tierra utilizada, así como de las fibras naturales.

Por otra parte, también se ha realizado una búsqueda bibliográfica de los ensayos más relevantes para el estudio y su realización. Una vez recabada esta información se ha diseñado un protocolo de ensayo adaptado a las tierras aligeradas a las mezclas a caracterizar.

El protocolo prevé la caracterización de la tierra, la caracterización de las fibras y las pruebas para evaluar los límites de densidad, contenido de fibra y contenido de agua trabajables para cada fibra. Así mismo se desarrolla un protocolo de ensayos para evaluar la resistencia a compresión, flexión y retracción de las diferentes mezclas.

A continuación, se han construido los moldes suficientes según las dimensiones y formas de las probetas posteriormente prescritas en los protocolos.

Por último, se ha realizado una campaña de ensayos en la cual se han llevado a cabo las probetas de todas las mezclas para su posterior evaluación en un laboratorio especializado. Finalmente se han obtenido y contrastado los datos obtenidos.

### **3.1 Caracterización de la tierra**

La tierra escogida pertenece al municipio de Ayerbe (Huesca, España) y su caracterización ha realizado mediante los ensayos de granulometría, sedimentación, azul de metileno y

límites de Atterberg, correspondientes a las normas UNE-EN 933-2:2022, UNE-EN ISO 17892-12:2019/A1:2022, y UNE-EN 933-9:2023 respectivamente.

La caracterización de la tierra se ha llevado a cabo en el laboratorio propio previamente al inicio de la campaña de ensayos de las diferentes mezclas.

En primer lugar, se realiza el tamizado en húmedo de una muestra y se deja secar para conocer el peso concreto de cada una de las fracciones de tamaños de grano que al componen.

A continuación, se pasa a analizar la fracción fina mediante sedimentometría que indica la cantidad de arcillas que la muestra contiene y el azul de metileno para conocer la superficie específica de la fracción arcilla.

Finalmente se realiza un ensayo de plasticidad del suelo para saber su índice plástico.

### **3.2 Elección de las fibras naturales**

Las fibras naturales seleccionadas han sido, cáscara de almendra, hueso de oliva, lana de oveja y cáscara de arroz.

La elección de estas fibras se basa en las características de la región del territorio de estudio. El noreste español es una zona con abundante agricultura y ganadería, principalmente cereal, almendra, oliva y vid combinados tradicionalmente todos ellos con la ganadería ovina. Los residuos agrícolas de estos cultivos tienen la condición de subproductos con muy poco valor añadido, pero con alguna aplicación; la paja y la cáscara de arroz se usan como camas en ganadería intensiva y la almendra y la oliva como biomasa. La lana de oveja hoy en día carece de aplicaciones por lo tanto se desechan cantidades muy significativas de estas fibras. Esto supone en el caso de la lana de oveja un problema para el ganadero dado que no puede verterla al campo, sino que está obligado a depositarla en un gestor autorizado asumiendo el coste que de ello se deriva.

En la presente investigación tanto la cáscara de arroz como la de almendra son productos que se han utilizado conforme se recogen del descascarado del fruto, sin embargo, el hueso de oliva y la lana, han tenido un proceso previo; el hueso de oliva está triturado y tiene un tamaño de grano controlado y homogéneo de 2 mm de diámetro máximo y la lana de oveja esta previamente lavada ya que no puede emplearse recién esquilada por problemas de salubridad.

### **3.3 Construcción de los moldes y campaña de campo**

Se han llevado a cabo distintos moldes para la realización de los ensayos:

- Flexo-tracción: consiste en un molde que consta de cuatro submoldes de 15\*15\*60 cm. (UNE-EN 14488-3:2024).
- Compresión simple: consisten en probetas cilíndricas de tamaño Proctor (UNE-EN ISO 17892-7:2019).
- Retracción: consiste en un molde compuesto por cuatro submoldes de 4\*4\*16 cm (UNE 83831:2021).

En cumplimiento de las prescripciones de las diferentes normas, los moldes se construyen con listones y tablas de madera barnizada unidas mediante tornillos que luego permitan la posibilidad de desencofrar las piezas preservando su integridad.

La campaña de ensayos se lleva a cabo a lo largo de seis semanas en las que se realizan las mezclas y las probetas, teniendo en cuenta que cada fibra se ensaya en formato aislante y en formato estructural con cuatro densidades distintas por objetivo (aislante o estructural).

Para cada fibra las densidades son distintas empezando siempre por la mínima densidad que admita la fibra.

### 3.4 Realización de los ensayos

Algunos de los ensayos pueden realizarse *in situ* y otros requieren de maquinaria especializada. En el caso de la compresión simple y la flexo-tracción es necesario transportar las probetas a un laboratorio especializado para la obtención de resultados, sin embargo, el resto de los ensayos pueden realizarse *in situ*.

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIONES

La metodología empleada ha sido igual sobre todos los casos, sin embargo, cada una de las fibras se ha desarrollado con distintas densidades y dadas sus diferentes características han aportado resultados muy variados.

Los resultados de los ensayos a flexo-tracción no han podido ser evaluados ya que la maquinaria empleada según la UNE-EN 14488-3 está calibrada para probetas de mayores resistencias, por tanto, en muestras aligeradas se falsean los resultados finales (Figura 1). Se estima necesario adaptar la norma a otros materiales no rígidos.



Figura 1. Ensayo de flexo-tracción

Respecto a la caracterización de la tierra:

La tierra ha sido seleccionada por su cercanía a la zona de estudio, concretamente se encuentra en el municipio de Ayerbe (Huesca Aragón). Presenta una granulometría con alto contenido en finos (el 90% del material se encuentra por debajo de la fracción 0,063 mm). La fracción arcilla no presenta una alta actividad ni plasticidad significativa.

La composición granulométrica de la tierra es la siguiente: arena: 9%; limos: 71%; arcilla: 20%; el límite líquido es de 25%, el límite plástico es de 17% y el índice de plasticidad es de 8%. Por otro lado, el ensayo de azul de metileno arroja una superficie específica de 17,5 cm<sup>2</sup>/g.

### 4.1 Cáscara de arroz

La cáscara de arroz es una fibra con alto contenido en sílice y fácilmente maleable al mezclarla con el barro, su densidad aparente es de 111,2 kg/m<sup>3</sup>. Se han ensayado ocho densidades distintas, cuatro correspondientes al uso aislante (cuatro primeras densidades de la tabla 1) y cuatro al uso estructural (cuatro últimas densidades de la tabla 1). El secado se ha efectuada a temperatura ambiente hasta que se ha estabilizado su peso.

El ensayo que más información ha aportado respecto a su puesta en obra es el de compresión simple, se han ensayado tanto las probetas aislantes como las estructurales.

Tabla 1. Densidades de las probetas aislantes y estructural de cáscara de arroz y mortero de tierra

Uso	Mezcla (kg/m <sup>3</sup> )	Fibra (kg)	Tierra (kg)	Fibra en masa (%)	Tierra en masa (%)	Resistencia mecánica (N/mm <sup>2</sup> )
aislante	350	111,2	238,8	32	68	Casi cero; material dúctil
	450	111,2	338,8	25	75	
	550	111,2	438,8	20	80	
	650	111,2	538,8	17	83	
estructural	1750	111,2	1638,8	6	94	1,7
	1800	111,2	1688,8	6	94	1,3
	1850	111,2	1738,8	6	94	1,8
	1900	111,2	1788,8	6	94	1,8

1 N/mm<sup>2</sup> = 1 MPa

En el caso de las probetas aislantes los resultados son muy bajos, prácticamente llegando a cero, esto ocurre porque es un material especialmente dúctil con mucha capacidad de compresión por lo que no llega a fracturarse aun aplicándole cargas muy elevadas. También es reseñable que es un material que hasta cierto punto es elástico, es decir tiene capacidad para recuperar su forma original tras haberle aplicado un empuje muy significativo en al vertical.

Por otra parte, de las probetas estructurales se han obtenido resultados evaluables, es decir, la mezcla si tiene la suficiente dureza para ofrecer una resistencia y presentar fracturación. La media de estas resistencias tras ensayar cuatro probetas de cada densidad es presentada en la tabla 1.

El dato obtenido en la media de las probetas de 1800 kg/m<sup>3</sup> de densidad se considera que desvirtúa la tendencia de aumento de resistencia que aporta la fibra por lo que, a pesar de no haber observado defectos en las probetas, puede tratarse de deficiencias internas de la probeta. Para depurar resultados se podría desestimar este dato y quedarse con la tendencia de mejora estructural que aporta la fibra. Sería preciso contrastar los datos con nuevas series de probetas.

Del ensayo de retracción se confirma la actividad media de las arcillas que contiene la tierra, ya que la probeta mengua un máximo de 2 mm al secar y perder el agua acumulada, es decir, como mínimo se mantiene una 80% de la longitud de la probeta.

## 4.2 Lana

La lana es una fibra natural compuesta por hebras de queratina enlazadas entre sí, su densidad aparente es de 65,7 kg/m<sup>3</sup>, y el tamaño de la fibra es muy heterogéneo. Para poner en práctica su uso en este tipo de investigación es necesario un previo lavado de la fibra. En este caso se han ensayado cuatro densidades de aplicación aislante (Tabla 2).

La particularidad de esta fibra ha sido a la necesidad de añadir un extra de agua (a parte de la que se adiciona a la tierra en estado plástico, para conseguir la consistencia adecuada) sobre la lana directamente para poder moldearla y conseguir la textura adecuada, con el fin de recubrir toda la fibra con el mortero de tierra. El secado se ha efectuada a temperatura ambiente hasta que se ha estabilizado su peso.

Al igual que con la cáscara de arroz los resultados que presenta la compresión simple de estas probetas son por debajo de 1 N/mm<sup>2</sup>, ya que este tipo de fibra es muy difícil que presente fracturas dada su ductilidad y elasticidad.

Tabla 2. Densidad de las probetas aislantes de lana y mortero de tierra

Uso	Mezcla (kg/m <sup>3</sup> )	Fibra (kg)	Tierra (kg)	Fibra en masa (%)	Tierra en masa (%)
aislante	550	65,7	484,3	12	88
	600	65,7	534,3	11	89
	650	65,7	584,3	10	90
	700	65,7	634,3	9	91

Sin embargo, sí puede observarse que tiene una capacidad media de recuperación de 1, 2 cm en altura desde que no admite más empuje, lo que implica capacidad elástica del material (Figura 2).



Figura 2. Probetas de compresión simple durante el ensayo y posterior a él donde puede observarse la recuperación de la muestra.

Los ensayos de retracción han mostrado una mínima disminución de las probetas, apenas un mm de altura. Se observa un endurecimiento y aligeramiento muy significativo tras el secado de las probetas, tanto en este ensayo como en el resto.

En estas muestras la retracción es algo menor que en el resto debido a la naturaleza de la fibra, que tiene una capacidad de absorción de agua mayor que las demás.

Esta mezcla supone una importante dificultad en cuanto al proceso de fabricación de las probetas y su obtención de datos. Esto se deduce que es debido a la estructura que presenta la lana, es decir, es una fibra de cadenas formada a su vez por cadenas más pequeñas de hebras de queratina, por lo que el recubrimiento la superficie específica de la fibra es significativamente mayor que en cualquier otro caso. Dada esta condición el secado de la mezcla se produce así mismos en un período más amplio de tiempo que en las demás fibras, en las mismas condiciones de temperatura y humedad.

### 4.3 Hueso de oliva

Esta fibra ha sido tratada antes de su uso para la investigación, el hueso se presenta lavado y triturado obteniendo un grano más o menos homogéneo (fracción de 1 a 2 mm). Su densidad aparente es de 822 kg/m<sup>3</sup> y las densidades obtenidas mediante las diferentes mezclas han sido ocho (8), cuatro de aplicación aislante (las más ligeras) y cuatro de aplicación estructural (las más pesadas).

Tabla 3. Densidad de las probetas aislantes y estructural de hueso de oliva y mortero de tierra

Uso	Mezcla (kg/m <sup>3</sup> )	Fibra (kg)	Tierra (kg)	Fibra en masa (%)	Tierra en masa (%)
aislante	1000	822	178	82	18
	1050	822	228	78	22
	1100	822	278	75	25
	1200	822	378	68	32
estructural	1750	822	928	47	53
	1800	822	978	46	54
	1850	822	1028	44	56
	1900	822	1078	43	57

Con esta fibra se han obtenido resultados muy bajos tanto en su versión aislante como estructural, esto se deduce que ha ocurrido principalmente por dos razones:

- 1) El hueso de oliva contiene un alto contenido en grasas oleicas (aceite) que son hidrofóbicas, es decir, repelen el agua, por lo tanto, no se ha podido realizar una mezcla bien integrada de sus componentes.
- 2) La homogeneidad de los granos es contraproducente en la realización de probetas ya que deja muchos huecos que no pueden rellenarse bien dejando así muchos puntos de fisura en la probeta.

Estas dos condiciones complican la manipulación de las probetas de esta fibra en todas sus versiones.

Las probetas ensayadas a compresión y a flexión no han soportado la manipulación dado que la barbotina no ha conseguido cohesionar la fibra, no siendo por tanto estable la mezcla en seco.

#### 4.4 Cáscara de almendra

La cascara de la almendra ensayada presenta un diámetro máximo de 3 cm y tiene una densidad aparente de 340 kg/m<sup>3</sup> y en una fibra muy lignificada y el tamaño de la fibra muy heterogéneo. Se han ensayado ocho densidades distintas (Tabla 4), cuatro de uso aislante y cuatro de uso estructural.

Tabla 4. Densidades de las probetas aislantes y estructural de cáscara de almendra y mortero de tierra

Uso	Mezcla (kg/m <sup>3</sup> )	Fibra (kg)	Tierra (kg)	Fibra en masa (%)	Tierra en masa (%)	Resistencia mecánica (N/mm <sup>2</sup> )
aislante	450	340	110	76	24	-
	500	340	160	68	32	-
	550	340	210	62	38	entre 0,1 y 0,2
	600	340	260	57	43	
estructural	1800	340	1460	19	81	desde 1 hasta 2
	1850	340	1510	18	82	
	1900	340	1560	18	82	
	1950	340	1610	17	83	

De las probetas aislantes se han podido ensayar en compresión simple las densidades de 550 y 600 ya que las más ligeras no han permitido una correcta manipulación para el transporte. Estas probetas han obtenido resultados entre 0,1 y 0,2 N/mm.

Por otra parte, las probetas estructurales han arrojado diversos resultados, desde 1 N/mm hasta 2.

De su manipulación se deduce que la forma cóncava de la cáscara y su gran tamaño (en torno a 3 cm) promueven la aparición de grandes huecos que suponen puntos de debilidad conformando una mezcla ligeramente cohesionada en seco en las densidades bajas que se persiguen para su condición de aislantes.

Las muestras que se han podido ensayar de densidades entre 1750 y 1900, que corresponden a las muestras que denominamos estructurales, pertenecen a mezclas de las fibras de arroz y almendra.

Estos ensayos de compresión simple dan resultados escrutables cuando se trata de mezclas duras con poca capacidad de absorción de fuerzas, es decir, es útil para piezas estructurales. En este caso las piezas que contienen cascara de arroz dan mejores resultados que las de almendra dadas las características de las fibras naturales (Figura 3). En el gráfico se muestra así mismo los datos arrojados por las probetas testigo que corresponden a las probetas de solo tierra.

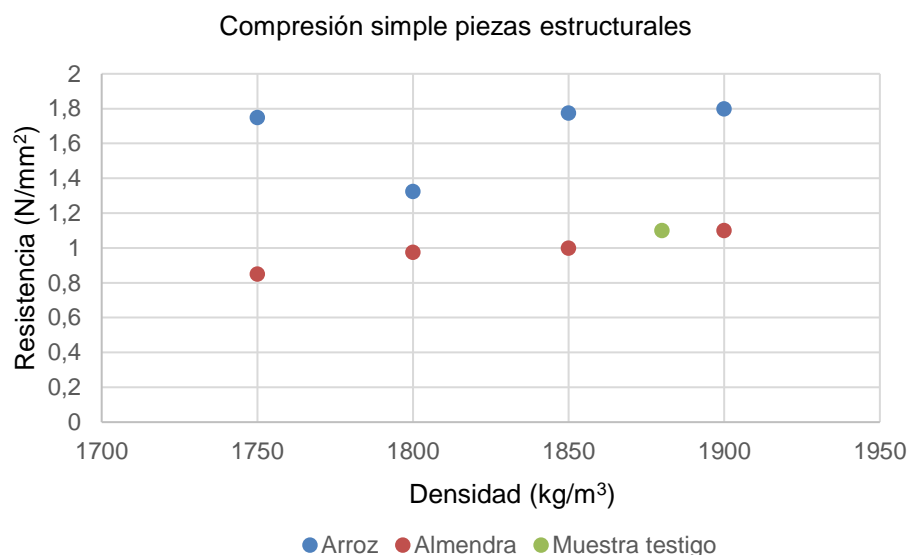


Figura 3. Dispersión de las resistencias a compresión simple de las probetas estructurales ensayadas

## 5 CONCLUSIONES

- En lo que a la tierra respecta sería conveniente realizar los ensayos con tierras con arcillas más activas y plásticas, ya que, de los datos obtenidos en la retracción se deduce que la capacidad de intercambio catiónico de las arcillas no es muy elevada, disminuyendo entre 0 y 2 mm cada una de las probetas ensayadas.
- Tanto la lana como la cáscara de arroz son fibras blandas con una gran capacidad elástica y de deformación que permite soportar grandes empujes sin llegar a fracturarse. Esta circunstancia las hace óptimas para su uso en tierras aligeradas como relleno de cerramientos en posiciones verticales u horizontales.
- El hueso de oliva no resulta apto en este caso por su alto contenido en aceite que repele el agua y su tamaño de grano tan homogéneo. De ello se deduce que su uso debe relegarse a una mezcla en un relleno confinado. A pesar de ello cabe destacar que su característica

oleaginosa puede ofrecerle condiciones favorables para su uso en situaciones en las que se persiga poca absorción de agua para lo que habría que optar por conglomerantes compatibles con el aceite, no siendo la tierra una opción viable.

- La cáscara de almendra sí puede ser una fibra potencialmente apta en este ámbito tanto por su facilidad para conseguirla como sus grandes cantidades existentes, sin embargo, sería necesario un proceso previo de trituración o machaqueo que reduzca su tamaño de grano para aumentar su superficie específica y de esta manera poder conseguir mezclas secas estables. En cualquier caso, en una posición confinada (por ejemplo, en soleras aligeradas, o aislamientos de cubierta), puede funcionar con la granulometría ensayada.

- Los ensayos de compresión simple dan resultados escrutables cuando se trata de mezclas duras con poca capacidad de absorción de fuerzas, es decir, es útil para piezas estructurales. En este caso las piezas que contienen cáscara de arroz dan mejores resultados que las que contienen cascara de almendra dadas las características de las fibras naturales, también da mejores resultados que las muestras testigos (hechas únicamente de tierra), lo que implica que le aporta al material original más resistencia.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cabello, F. J. A. (2008). Los materiales de construcción y el medio ambiente. *Ecosostenible*, (41), 30-37.

Moraes Santanna, T. (2023). *Construcción con balas de paja: materiales tradicionales para respuestas actuales* (Tesis doctoral, Universitat Politècnica de València).

Morcillo, L. M. (2022). *Economía circular y medio rural* (Mesa Redonda).

Parlamento, E. (2023). *Economía Circular: Definición, importancia y beneficios*.

Ríos, I. G. (2023). *Hacia una progresiva descarbonización de la edificación a través de la rehabilitación energética*. *Cuadernos de Derecho Local*.

Serrano, M. R.; Barquín, H. S.; Serrano, A. R. (2024). *Del agave a la arquitectura en tierra.: Aprovechamiento de fibras naturales de los desechos de la agroindustria en la fabricación del adobe biocompósito*. *Ge-conservacion*, (25), 44-52.

UNE 83831:2021. *Morteros. Métodos de ensayo de los morteros para albañilería endurecidos. Determinación de la estabilidad dimensional de los morteros endurecidos para albañilería*.

UNE-EN 14488-3:2024. *Ensayos de hormigón proyectado. Parte 3: Resistencias a flexión (primer pico, última y residual) de probetas prismáticas reforzadas con fibras*.

UNE-EN 933-2:2022. *Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 2: Determinación de la granulometría de las partículas. Tamices de ensayo, tamaño nominal de las aberturas*.

UNE-EN 933-9:2023. *Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 9: Evaluación de los finos. Ensayo de azul de metileno*.

UNE-EN ISO 17892-7:2019. *Investigación y ensayos geotécnicos. Ensayos de laboratorio de suelos. Parte 7: Ensayo de compresión no confinada*.

UNE-EN ISO 17892-12:2019/A1:2022. *Investigación y ensayos geotécnicos. Ensayos de laboratorio de suelos. Parte 12: Determinación del límite líquido y del límite plástico*.

Volhard, F. (2016). *Light earth building: A handbook for building with wood and earth*. Birkhäuser.

**AUTORES**

Àngels Castellarnau Visús: Arquitecta por la UPC (Universitat Politècnica de Catalunya), especializada en bioconstrucción, arquitectura de bajo impacto ambiental y arquitectura de tierra. Dra por la UPC en Energía natural en la Arquitectura. Investiga sistemas constructivos con material local y la gestión de recursos naturales en el territorio. Fundadora del estudio Edra Arquitectura km0. Miembro de la red PROTERRA. Cofundadora de la plataforma Made in tierra Spain.

María Alegre Esteve: Titulada en el grado en geología promoción 2015-2019, realización de Máster de Geología: Técnicas y Aplicaciones y Máster de Profesorado por la Universidad de Zaragoza. Autora y coautora en dos artículos presentados en el EJIP 2020. Actualmente trabaja en EDRA Arquitectura Km.0.