

MÉTODO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS PARA LA APLICACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA MIXTO EN MADERA Y TIERRA

Silvia Onnis¹, Giuseppina Meli², Martin Wieser³

Centro Tierra, Departamento de Arquitectura, Pontificia Universidad Católica del Perú PUCP,

¹sonnis@pucp.edu.pe, ²gmeli@pucp.edu.pe, ³mwieser@pucp.edu.pe

Palabras clave: fibras naturales, sismoresistencia, técnicas constructivas, mapas temáticos.

Resumen

La presente investigación es parte de un proyecto más amplio que busca validar un sistema constructivo con estructura de madera y cerramientos de tierra alivianada. Se busca proporcionar información sobre la viabilidad del sistema constructivo propuesto en las diferentes zonas del Perú, relacionando los datos sobre las características del territorio con las indicaciones de las normativas vigentes, visualizando de forma gráfica los resultados gracias a mapas temáticos. La identificación de las zonas de aplicación se desarrolla a partir del análisis sísmico del territorio peruano y de sus características climáticas, además de la disponibilidad de fibras vegetales y del estudio de las técnicas tradicionales presentes en cada zona. De acuerdo con la información de acceso libre proporcionada por el Instituto Nacional de Estadística e Informática, el Sistema Integrado de Estadística Agraria y el Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú (previamente procesada en ArcGIS), se recopilan los datos necesarios para luego proceder con el método de la Superposición de Información Georreferenciada (SIG) y así poder analizar dos o más aspectos en conjunto. El método de cruzar data en SIG y visualizarlos en mapas facilita algunas consideraciones sobre la aplicación del sistema propuesto en el territorio peruano, como por ejemplo la mejor solución técnica en base a los recursos localmente disponibles, la necesidad de aislamiento térmico en base a la zona climática, el grado de familiaridad con las técnicas constructivas, entre otros. De esta forma se busca facilitar la evaluación previa sobre la factibilidad y así generar condiciones de pertinencia, sostenibilidad y economía de la construcción en madera y tierra.

1 INTRODUCCIÓN

El grupo de investigación Centro Tierra de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) desde 2013 investiga las técnicas constructivas en tierra presentes en el territorio nacional, entre ellas la técnica de la quinchá tradicional y de las versiones desarrolladas después de 1970 (quinchá prefabricada, mejorada, entre otras). Fueron estas investigaciones sobre la quinchá que generaron inquietudes sobre la posibilidad de introducir en el territorio nacional otras técnicas mixtas, aprovechando la sismo-resistencia, la versatilidad y la ligereza de estas.

Así nace el proyecto “Sistema constructivo con estructura de madera y cerramientos en tierra alivianada” (2018-2021), financiado por Sencico-Fondecyt y la PUCP, el cual pretende desarrollar un nuevo sistema constructivo en madera y tierra alivianada, en seco y prefabricado, adecuado al contexto peruano (Meli; Onnis; Wieser, 2019).

Antes de proceder con el diseño del sistema constructivo, se elaboró el estado de la cuestión sobre las técnicas mixtas en Latinoamérica y en Europa, desde la antigüedad hasta hoy, con especial enfoque en las técnicas propias de las zonas sísmicas.

El estudio resaltó:

- la gran variedad de técnicas mixtas en relación con los diferentes climas,
- la diversidad de soluciones con respecto a la disponibilidad de recursos vegetales,
- la buena respuesta a movimientos sísmicos por la ligereza y la inserción de la madera como elemento estructural,

- la presencia en diferentes contextos y con diferentes grados de acabado.

Asimismo, se pudo construir un catálogo de soluciones constructivas de referencia y un análisis de los sistemas que resisten los terremotos (Wieser et al., 2018 b; Becerra, 2019).

De la misma forma, se tomaron en cuenta las experiencias previas del Centro Tierra (Rodríguez-Larraín et al., 2015; Wieser; Onnis; Meli, 2018 a), de las cuales se rescatan algunas conclusiones relevantes:

- Dificultad para aplicar la técnica en zonas donde no hay quincha histórica (Rodríguez-Larraín et al., 2015). Inicialmente, los maestros tapialeros rechazaron todas las propuestas de los investigadores en cuanto al uso de la quincha en tímpanos y en tabiques internos, por desconocer la técnica y no poder por ello controlar el proceso de construcción y garantizar el resultado final. Gracias al proceso de intercambio tecnológico, de construcción conjunta y de la presencia de uno de los investigadores a pié de obra, se logró construir un tabique liviano en madera y cerramiento de tierra alivianada, utilizando una técnica constructiva con encofrado deslizante que mostraba similitudes con la técnica del tapial.
- Dificultades debido a la disponibilidad de materiales, en particular de las cañas. En la misma investigación (Rodríguez-Larraín et al., 2015), la imposibilidad de encontrar cañas en el entorno cercano influyó en la decisión de optar por un tabique de madera y tierra alivianada en lugar del entramado de quincha propuesto inicialmente.
- Disponibilidad de fibras largas para realización de elementos secos. La disponibilidad de paja de gramíneas posibilita la realización de elementos secos de tierra alivianada, de baja densidad y resistencia al desgaste en la fase de manipulación, transporte y armado (Wieser et al., 2018 a).
- El clima del lugar donde se implanta el proyecto puede determinar la necesidad de un aumento del desempeño térmico de la quincha (Wieser; Onnis; Meli, 2018 a).

Considerando que estos y otros factores pueden ser muy importantes al momento de elegir la técnica constructiva, se identificó la exigencia de estudiar más a fondo las condicionantes del contexto que pueden influir en la elección de una técnica mixta en el territorio nacional. El presente artículo desarrolla el método utilizado para tal fin.

2 OBJETIVO

Estudiar la viabilidad del sistema constructivo propuesto, identificando las condiciones óptimas para ser utilizado en un determinado territorio, gracias a la identificación de zonas y ámbitos de aplicación a nivel nacional.

Objetivos específicos (OE):

1. Visualizar las distintas condicionantes que podrían favorecer la aplicación y difusión de la técnica propuesta en un determinado territorio (definidas como zonas de aplicación), a través de la elaboración de mapas temáticos que sinteticen la superposición de datos.
2. Estudiar la posibilidad de aplicación de la técnica en ámbito nacional, es decir los tipos de obra que por sus características podrían ser realizadas con técnica mixta, tomando en cuenta el contexto y la normativa nacional.

3 METODOLOGÍA ADOPTADA

Para la identificación de zonas de aplicación (OE1), se realiza un análisis del contexto nacional utilizando el método de la superposición de información georreferenciada en mapas, con el objetivo de visualizar dos o más aspectos en conjunto.

De acuerdo con la información de acceso libre proporcionada por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2007), el Sistema Integrado de Estadística Agraria (NEI-

MINAGRI, 2012; SIEA, 2017) y el Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú, se recopilan los datos necesarios para el análisis y se procesan en ArcGIS.

Inicialmente, se han considerado los siguientes aspectos:

- Zonificación sísmica: se hace referencia a la Norma Técnica de Edificación E.030 - Diseño sismorresistente (2016). La norma divide el territorio peruano en 4 zonas con distinto grado de sismicidad. Para el estudio de cada zona y de los ámbitos de aplicación de la técnica mixta propuesta, se toman en cuenta las especificaciones de zonificación en provincias y distritos detallados en el anexo 1 de la misma norma.
- Zonas climáticas: se hace referencia a la Norma Técnica EM 110 - Confort térmico y lumínico con eficiencia energética (2014). La norma clasifica el territorio en 9 zonas climáticas, exigiendo niveles mínimos de aislamiento en muros, pisos y techos.
- Disponibilidad de materias primas aptas para la construcción con tierra alivianada: se hace referencia a los datos el Sistema Integrado de Estadística Agraria (INEI-MINAGRI, 2012; SIEA, 2017) sobre la producción agrícola que puede brindar fibras para la elaboración de elementos de mezclas ligeras a base de tierra y fibras vegetales, en particular las gramíneas: arroz, cebada, trigo, entre otras. Asimismo, se considera la disponibilidad de la madera en base a los datos proporcionados por SERFOR (2016).
- Técnica constructiva tradicional local: se elaboran varios mapas con la difusión en el Perú de las técnicas de adobe, tapial, quincha y madera, en base a los datos del último censo nacional (INEI, 2007). Cabe resaltar que al momento del desarrollo de los mapas (2018), todavía no se habían publicado los datos del último censo nacional del 2017, por lo cual se utilizaron los datos del censo anterior. Siendo el fin del presente artículo presentar el método y no los datos cuantitativos en sí, se decide no actualizar los mapas, manteniendo aquellos realizados con los datos del INEI (2007). Donde se necesite referirse a datos específicos más actualizados en la discusión, se consideran los datos del censo INEI (2017).

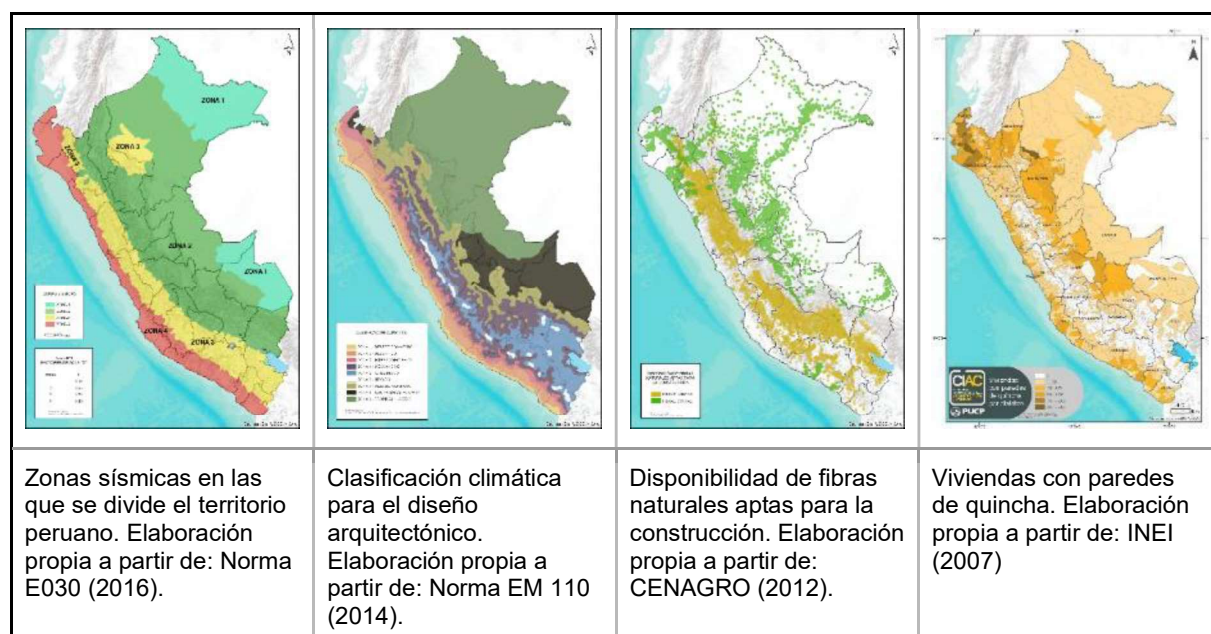


Figura 1. Algunos de los mapas base

Se obtuvieron así unos mapas temáticos que constituyen el insumo para el análisis. Estos mapas se indicarán como mapas base y son: zonas sísmicas, zonas climáticas, técnicas tradicionales locales (adobe, tapial, quincha, madera), disponibilidad de fibras vegetales (avena, arroz, maíz, cebada y trigo) y disponibilidad de madera.

Luego se procede con la superposición de mapas:

- Mapa de zonas sísmicas con mapa de construcción con técnicas tradicionales

- Mapa de zonas climáticas con mapa de construcción con técnicas tradicionales
- Mapa de fibras largas y cortas disponibles

El método está abierto a la introducción de nuevos aspectos que inicialmente no se han tomado en cuenta. Durante el análisis, para la superposición se prioriza el mapa de difusión de la quincha, en cuanto técnica mixta, debido a la similitud con la técnica propuesta.

En conclusión, el método de cruzar data en SIG facilita la visualización en conjunto de las condiciones del territorio (sismicidad, clima, recursos naturales, técnicas tradicionales, entre otros) y elaborar consideraciones de factibilidad y viabilidad.

Para la identificación de las posibilidades de aplicación (OE2) se consideran: el tamaño de la construcción; la simplicidad constructiva, la reducción de tiempos de obra, el aislamiento térmico, la normativa vigente, entre otros.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se reportan las consideraciones elaboradas a partir de la superposición de mapas.

4.1 Posibilidad de difusión según la zonificación sísmica

En 2016, se publica la nueva versión de la E.030. La norma divide el territorio nacional en zonas sísmicas (figura 2), basándose en mapas de aceleraciones, debido a la actualización de la información neotectónica.

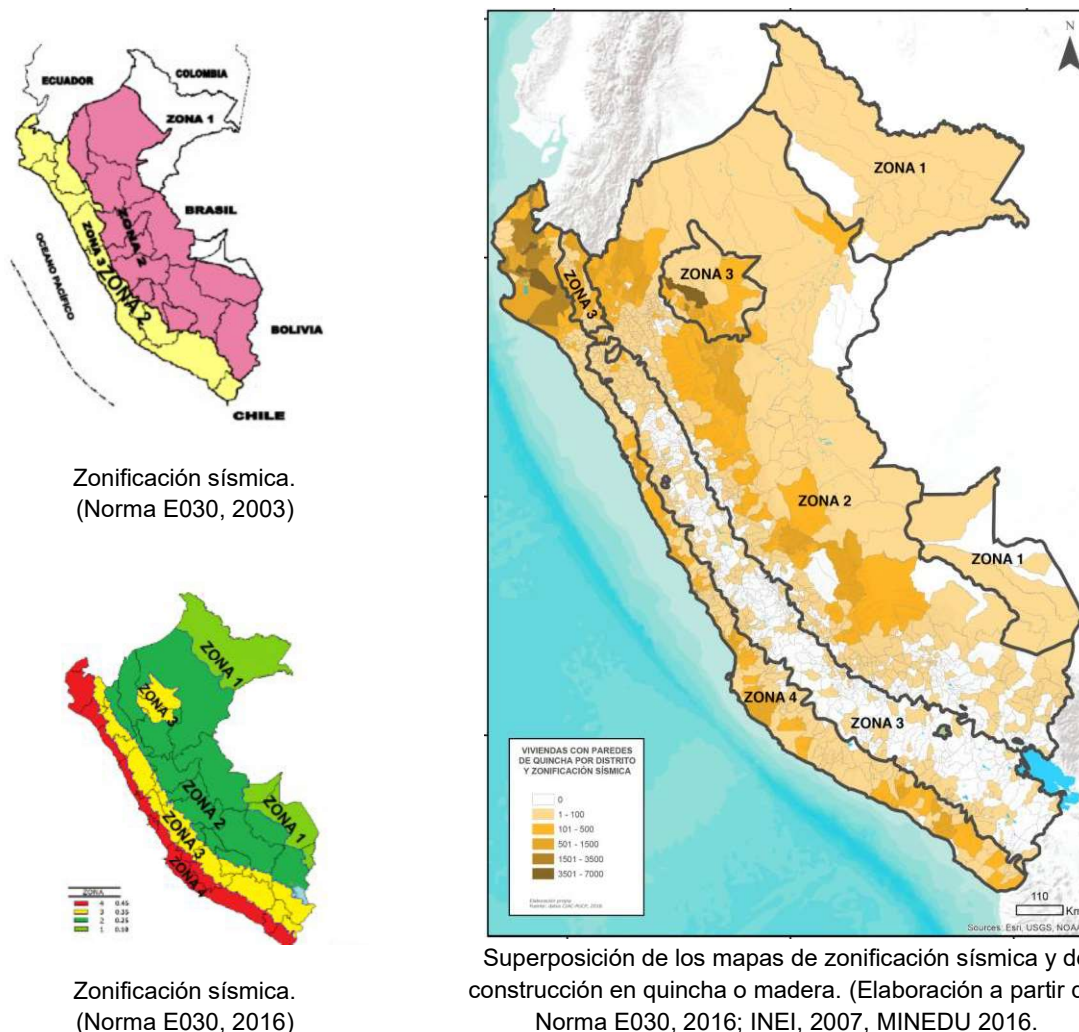


Figura 2. Mapas para la identificación de las posibilidades de difusión según la zonificación sísmica

La nueva versión del 2016 propone 4 zonas, y se nota un incremento de territorio donde, vista la prohibición normativa de construir edificaciones de 2 pisos de adobe o tapial en zona 3 y 4 (Norma E.080, 2017), el segundo piso debe ser construido con técnicas ligeras de quincha o similares. Al incrementarse esta área, la recomendación de construir el segundo piso en quincha se expande hacia zonas de mayor altitud donde este sistema constructivo no está presente como técnica tradicional. Esto requeriría una mejora del comportamiento térmico de la quincha (Wieser; Onnis; Meli, 2018a) o la adopción de otra técnica mixta de mejor desempeño desde el punto de vista térmico, como por ejemplo la tierra alivianada.

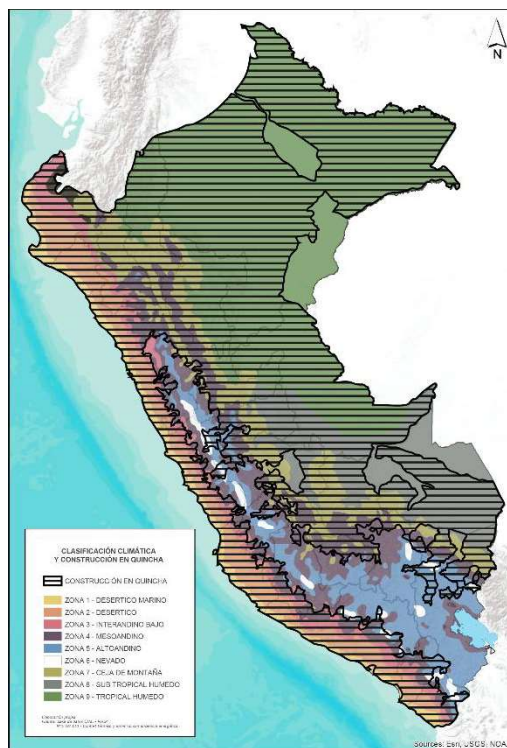
En muchas áreas de la zona 3, la falta de conocimientos sobre técnicas mixtas deja el campo a otro tipo de construcciones que pueden resultar poco viables desde el punto de vista económico y ambiental (sistema *drywall* con aislamiento de lana de vidrio) o desde el punto de vista de la seguridad constructiva (por ejemplo, un primer piso de tapial y un segundo piso en ladrillo y concreto).

Resumiendo, se considera la zona 3 y la zona 4 como áreas de interés por lo que concierne a la difusión de la técnica mixta propuesta para viviendas de 2 pisos, o para el segundo piso en casas de adobe o tapial.

4.2 Posibilidad de difusión según las zonas climáticas

Al analizar las zonas de construcción con diferentes técnicas en tierra y madera, se observa que la quincha se desarrolla sobre todo en la costa y en la ceja de selva, mientras que en la sierra domina la construcción con tapial y con adobe. Esta distribución de técnicas en el territorio se encuentra en parte relacionada con las variables climáticas.

A diferencia de los resultados obtenidos con la quincha, el uso del adobe o tapial tiene una distribución más heterogénea y coincide con mayor diversidad de zonas climáticas, exceptuando las zonas tropical y subtropical húmeda (selva baja).



Mapa de clasificación climática y construcción en quincha (adoptado Norma EM110, 2014)



Mapa de clasificación climática y construcción en adobe y tapial (adoptado Norma E110, 2014)

Figura 3. Mapas de difusión de las técnicas tradicionales en relación al clima

Asimismo, resulta evidente la correspondencia entre el uso de la quincha y las zonas climáticas en las que el frío no es intenso. Precisamente las zonas Mesoandino, Altoandino y Nevado, además de ciertas zonas de la selva baja tropical, no presentan construcciones de

quincha. Esta condición aparenta ser bastante lógica, ya que el sistema constructivo, debido a su reducido espesor y masa térmica limitada, no está en capacidad de brindar un nivel de aislamiento térmico apropiado para los climas tropicales de altura, ya que las temperaturas nocturnas suelen bajar hasta valores cercanos o inferiores a los 0°C.

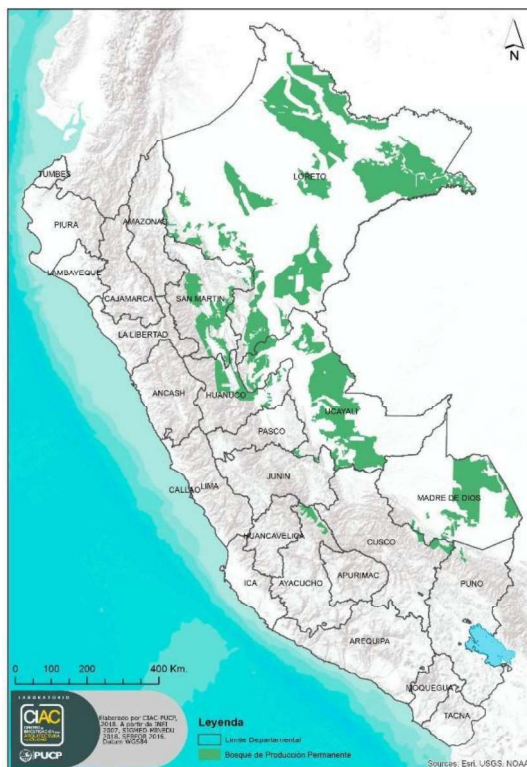
Estudios anteriores (Volhard, 2016) han demostrado que, en las mezclas de tierra y fibras, la conductividad térmica aumenta de manera inversamente proporcional al peso del material, y por ende a la densidad. Por ello, introducir un nuevo sistema constructivo, donde la densidad del muro oscila entre 600 y 800 kg/m³, permitiría la extensión del uso de la tierra alivianada hasta las zonas altoandinas del sur del país (con altitud a más de 4000 m) tal como se ha demostrado con estudios posteriores (Wieser; Onnis; Meli, 2020). Ulteriores desarrollos de los estudios podrían dirigirse a determinar las características del muro (densidad, espesor, conductividad térmica) en base a las diferentes exigencias climáticas de cada clima.

El mapa de climas podría dar indicaciones útiles al momento de organizar la obra, debido a que en las técnicas constructivas con tierra “la energía correspondiente a la producción proviene del sol, debido a que la forma de secado es al aire libre y al sol, sin necesidad de recurrir al secado en hornos” (Cuitiño-Rosales; Rotondaro; Esteves, 2020).

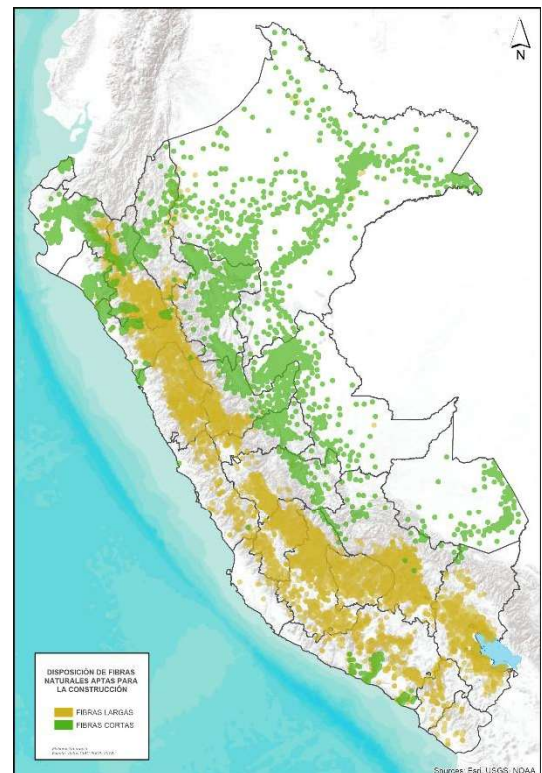
Resumiendo, la superposición de estos dos aspectos permite evaluar: las exigencias de aislamiento térmico de piso, muro y techos en base a la normativa, la presencia de técnicas tradicionales vernáculas y su respuesta hacia el clima y las condiciones climáticas en fase de obra y uso de la construcción.

4.3 Posibilidad de difusión según los recursos naturales locales disponibles

Esta parte consta de un estudio previo finalizado a la identificación de los recursos locales disponibles en el territorio, buscando identificar las características y propiedades tanto físicas como mecánicas y térmicas de las materias primas que conforman el sistema (madera, tierra y fibras).



Mapa de bosques de producción permanentes
(adoptado INEI 2007, SERFOR, 2016)



Mapa de fibras naturales largas y cortas
(adoptado CENAGRO, 2012)

Figura 4. Difusión de fibras naturales largas y cortas

Al fin de garantizar la sistematización y el rápido acceso a la información recolectada, se elaboraron fichas técnicas para cada recurso. Las fichas, además de resumir las características y propiedades antes mencionadas, añaden aspectos útiles para definir su uso en la construcción, las ventajas y desventajas que presentan o la durabilidad. Por ejemplo, las fichas de la madera presentan aspectos importantes a considerar a la hora de escoger la madera estructural: la resistencia mecánica clasificada de media a buena, la disponibilidad en el mercado, la resistencia natural al ataque de insectos y hongos y lo indicado por la Norma E.010 (2006).

Para identificar la fibra y su distribución en el territorio se hace referencia a la estadística elaborada por el Sistema Integrado de Estadística Agraria (SIEA) del Ministerio de Agricultura y Riego. En este estudio se puede notar cómo, en la distribución del área cosechada por grupos de productos (avena, arroz, maíz, cebada y trigo principalmente), los cereales ocupan el 29% del territorio peruano, siendo el arroz lo que ocupa mayor superficie, mientras que otros tipos de cereales, como la avena, ocupa una superficie menor.

Del mismo estudio se nota cómo la superficie mayormente ocupada no siempre corresponde a la cantidad de cosecha mayor, dado que en la misma superficie del trigo se producen otros tipos de cereales como la avena (SIEA, 2016). Para la identificación de la madera nacional se tomó en cuenta principalmente el ordenamiento forestal peruano y la gestión de los bosques permanentes y de gestión certificada (SERFOR, 2016).

Los resultados obtenidos con la superposición de fibras cortas y largas evidencian cómo el territorio peruano ofrece grandes variedades de fibra, quedando identificada su distribución en el territorio y su disponibilidad en ámbito local. Además, se abre a la reflexión sobre la generación de residuos del sector agrario, que todavía representan un problema de gestión para el sector agroindustrial (como por ejemplo en el caso de la cascarilla de arroz) o un problema ambiental debido a su quema y desecho.

En cuanto a los residuos generados por la industria forestal, se confirma la posibilidad de hacer uso de la viruta como fibra natural en las zonas de la costa y la selva, siendo este un recurso que se genera en casi todo el territorio por la presencia de numerosas madereras. Se estima que, en la explotación industrial, dicho residuo representa una alta pérdida de material, que incluso puede llegar hasta el 40% (Chávez; Rodríguez, 2016).

La utilización de residuos en la construcción es un tema de mucho interés que incluye muchos y diversos aspectos y niveles productivos. Uno de estos es la asociación entre el ámbito de la construcción y el sector agrícola, el cual podría significar un nuevo impulso económico para este último, con la posibilidad de crear en el tiempo pequeños emprendimientos de venta de fibras para la construcción sostenible y contribuir a mejorar lo que hoy en día es percibido como un problema (desechos) en una oportunidad de desarrollo.

La superposición de estos aspectos podría orientar sobre los recursos disponibles, el tipo de fibra y la cercanía con bosques productivos permanentes. Además, se dispone de una serie de fichas relacionadas con el mapa, para que se pueda evaluar la conveniencia del uso de un recurso en base a su proximidad y a las características del mismo.

4.4 Posibilidad de difusión según los conocimientos constructivos locales

En el Perú persiste una tradición constructiva milenaria y una vasta difusión de arquitecturas históricas y vernáculos, desde las primeras civilizaciones, pasando por la época colonial, hasta la actualidad (Blondet et al., 2011). El mismo autor, señala que el uso de las técnicas tradicionales sigue vigente, aunque se nota un menor cuidado en las construcciones nuevas (muros esbeltos, imitación de configuración de viviendas de otro material) que las hacen más vulnerables antes los terremotos.

En la actualidad el adobe y la tapia siguen siendo, a nivel nacional, el segundo material más utilizado en las paredes exteriores de las viviendas particulares, con 2 millones 148 mil 494, lo que representa al 27,9% del total de viviendas (INEI, 2017).

Tabla 1. Viviendas particulares con ocupantes presentes según material predominante en las paredes exteriores. Comparación entre censos (INEI, 2017)

Material predominante en las paredes exteriores	Censo 1993	Censo 2007	Censo 2017	Variación intercensal (2007-2017)		Incremento anual	Tasa de crecimiento promedio anual
				Absoluto	%		
Total	4 427 517	6 400 131	7 698 900	1 298 769	20,3	129 877	1,9
Ladrillo o bloque de cemento	1 581 355	2 991 627	4 298 274	1 306 647	43,7	130 665	3,7
Piedra o sillar con cal o cemento	54 247	33 939	43 170	9 231	27,2	923	2,4
Adobe o tapia	1 917 885	2 229 715	2 148 494	- 81 221	-3,6	- 8 122	-0,4
Madera (pona, tornillo etc.)	310 379	617 742	727 778	110 036	17,8	11 004	1,7
Quincha (caña con barro)	207 543	183 862	164 538	- 19 324	-10,5	- 1 932	-1,1
Piedra con barro	136 964	106 823	77 593	- 29 230	-27,4	- 2 923	-3,1
Triplay, calamina, estera y otro	219 144	236 423	239 053	2 630	1,1	263	0,1

Por otro lado, se observa que las viviendas de quincha (caña con barro), durante el periodo intercensal, tienen una variación negativa (-10,5%), mientras que se aprecia un aumento de las viviendas de madera (+1,7%). A pesar de esta disminución cuantitativa a nivel nacional, es todavía posible rescatar conocimientos constructivos locales sobre la construcción con tierra, muchas veces descartados por temas económicos.

Gracias a experiencias de intercambio con maestros tapialeros locales en Tarma, se ha comprobado que es posible rescatar las técnicas tradicionales, mejorar las prácticas constructivas locales para que se respete la normativa vigente e insertar nuevas técnicas (tabiques livianos de madera y cerramiento de tierra alivianada en húmedo). En este proceso el aporte de la academia resulta ser determinante: supone un proceso de investigación largo, atento a los actores locales, capaces de negociaciones y que raramente es posible en el momento de elegir la técnica de construcción u organizar la obra (Rodríguez-Larraín et al., 2015).

Por ello, la presencia de maestros de la construcción previamente formados o portadores de conocimientos locales puede ser un factor que lleve a optar por una de las técnicas de construcción en tierra. Técnicas innovadoras o poco conocidas pueden ser rechazadas inicialmente por los maestros; en estos casos es importante informar sobre la técnica y capacitar a los actores involucrados en la obra.

4.5 Posibilidades de aplicación de la técnica

La técnica constructiva mixta de madera y tierra alivianada podría utilizarse en los siguientes ámbitos: vivienda particular, programas de vivienda de interés social, segundos pisos de casas en adobe o tapial en zonas sísmicas 3 y 4. Asimismo, podrían contemplarse los edificios especiales y equipamientos como escuelas, bibliotecas, etc. y los módulos de vivienda temporal post-desastre. En estos casos el sistema mixto propuesto puede brindar una opción constructiva válida en términos de simplicidad constructiva, reducción de tiempos de obra y aislamiento térmico.

4.6 Consideraciones sobre la aplicación del método propuesto

Se presenta un ejemplo de aplicación en las seis ciudades representativas en diferentes zonas climáticas, consideradas en el estudio del desempeño térmico (Wieser; Onnis; Meli, 2020). Se cruzan los datos representados en los mapas y los valores considerados en el estudio, sobre el porcentaje de confort térmico con muros de tierra alivianada de 800 kg/m², con diferentes espesores.

Tabla 2: Comparación entre seis ciudades representativas

Ciudad	Ilo	Tacna	Moquegua	Arequipa	Cusco	Juliaca
Altitud (m)	22	469	1517	2520	3249	3826
Fibras	larga	larga	larga y corta	larga	larga	larga
Técnicas locales	quincha + adobe o tapial	quincha	adobe o tapia + quincha	adobe o tapia + quincha	adobe o tapia	adobe o tapia
Zona climática	subtropical litoral	desértica	continental templada	continental fría	continental fría	continental muy fría
Zona sísmica	4	4	4	3	2	3
2 pisos adobe	no	no	no	no	si	no
2 pisos técnica mixta	si	si	si	si	si	si
adobe + técnica mixta	si	no	si	si	si	si
% de confort térmico con e=12 cm	82%	93%	95%	79%	63%	65%
% de confort térmico con e=22 cm	94%	100%	100%	99%	92%	94%

La tabla 2 permite hacer unas primeras consideraciones para construcciones de dos pisos:

- Para el caso de la ciudad de Ilo, donde la técnica local más difundida es la quincha, y se encuentran fibras largas, el sistema propuesto puede encontrar su difusión como técnica alternativa de prestación térmica mayor respecto a la quincha tradicional por la presencia en el cerramiento de las fibras (Wieser; Onnis; Meli, 2018 a). Espesores mayores en los muros garantizan una ulterior mejora en el desempeño de los cerramientos.
- Las mismas consideraciones pueden ser válidas para el caso de Tacna, donde a diferencia del anterior caso, la mejora en el desempeño no justifica el aumento de espesor y por ende de costos. En una ciudad como Moquegua, donde la técnica más difundida es el adobe o el tapial el sistema propuesto se introduce para cumplir con la nueva zonificación de la Norma E.030, pudiendo mantenerse en este caso muros con espesores de 12 cm. Lo mismo vale para la ciudad de Arequipa donde, por razones climáticas, se sugieren espesores no inferiores a 22 cm.
- En la ciudad de Cusco el sistema propuesto para construcciones de dos pisos podría no ser viable, por la posibilidad de construir dos pisos de adobe o tapial, y por ser la técnica mixta no difundida en la zona. Queda factible, por la presencia de recursos, que el sistema pueda ser introducido como una alternativa con mejor desempeño térmico, optando por muros de 22 cm. Por último, en el caso de Juliaca se considera la introducción del sistema factible y viable, considerando que el desempeño térmico alcanzado por el sistema propuesto con muros de 22 cm logra superar a la del adobe o del tapial.

5 CONCLUSIONES

El presente estudio aborda, de forma cualitativa, las posibilidades de difusión de la técnica mixta propuesta, basándose en múltiples variables que podrían influir en el empleo de la técnica.

Si consider el sistema mixto como punto de partida, este podría variar su espesor según la zona climática; la composición de la mezcla podría ajustarse a la fibra disponible; la disponibilidad de cierta fibra podría determinar la posibilidad de elaborar elementos secos de baja densidad (fibra de gramíneas) o elementos de mediana densidad (viruta, cascarilla de arroz). Asimismo, de comprobarse la disponibilidad de nuevas fibras, se podrían impulsar nuevas investigaciones sobre dichos materiales.

Se considera que el método puede utilizarse de manera más amplia, considerando otras técnicas constructivas en tierra, dado que permite visualizar de manera conjunta las principales variables involucradas en el proceso de elección de una solución técnica pertinente y sostenible.

Queda pendiente un mayor estudio del método, con casos reales y diferentes niveles de aproximación al lugar. A un nivel más cercano, de contexto, podría ser útil considerar otros factores como el mapa de suelos para ver la capacidad portante del suelo o mapas de riesgo como inundaciones o fuertes lluvias que permitan determinar la elección de una plataforma elevada o de cierto tipo de techo.

En la fase de diseño y urbanización de la obra, no se podrá prescindir de un estudio de los materiales locales, porque como recuerda Cuitiño-Rosales et al. (2020), la respuesta de la tierra como material de construcción depende en gran parte de la muestra de suelo utilizada para la elaboración del elemento constructivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Becerra Orihuela, G.L.F. (2019). Diseño y construcción prefabricada con madera y tierra: ensayo estático de carga lateral cíclica en un sistema mixto de madera y tierra alivianada. Tesis de grado. Perú: Facultad de Ingeniería Civil, PUCP. Disponible en: <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/15280>

Blondet, M; Vargas, J.; Tarque, N. Iwaki, C. (2011). Construcción sismorresistente en tierra: la gran experiencia contemporánea de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Informes de la Construcción, vol. 63,523, 41-50.

Chávez Porras, Á., Rodríguez González, A. (2016). Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica. Academia Y Virtualidad, 9(2), 90–107 <https://doi.org/10.18359/ravi.2004>

Cuitiño-Rosales, M.G.; Rotondaro, R.; Esteves, A. (2020), Análisis comparativo de aspectos térmicos y resistencias mecánicas de los materiales y los elementos de la construcción con tierra. Revista de arquitectura (Bogotá), 22 (1). 138-151. DOI: 10.14718/REVARQ.2020.2348

INEI (2007), Censos nacionales 2007: XI de Población y VI de Vivienda. Lima: Instituto Nacional de Estadística e Informática. Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitaes/Est/Lib1136/libro.pdf

INEI (2017), Censos Nacionales 2017: XII de Población y VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas. <https://censo2017.inei.gob.pe/publicaciones/>

INEI-MINAGRI (2012), Resultados definitivos, IV Censo Nacional Agropecuario 2012. Disponible en <http://proyectos.inei.gob.pe/web/DocumentosPublicos/ResultadosFinalesIVCENAGRO.pdf>

Norma E-030 Diseño sismorresistente. Ministerio de Vivienda, construcción y saneamiento. Disponible en:

<http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/SeminarioN/2.%20Norma%20E.030%20Dise%C3%B1o%20Sismorresistente.pdf>

Meli, G.; Onnis, S.; Wieser, M. (2019), Introducción en el contexto peruano de un nuevo sistema constructivo con madera y tierra alivianada. 19º SIACOT: Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra. Memorias... San Salvador, El Salvador: FUNDASAL/ PROTERRA Disponible en: <https://arquitectura.pucp.edu.pe/investigacion/centro-de-documentacion/introduccion-en-el-contexto-peruano-de-un-nuevo-sistema-constructivo-con-madera-y-tierra-alivianada/>

Norma E.010 (2006). Madera. Perú: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Disponible en: https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/02_E/RNE2006_E_010.pdf

Norma E.030 (2016). Diseño sismorresistente. Perú: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Disponible en: <https://museos.cultura.pe/sites/default/files/item/archivo/Norma%20t%C3%A9cnica%20E.030%20Dise%C3%B1o%20sismorresistente.pdf>

Norma E.080 (2017). Diseño y construcción con tierra reforzada. Perú: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Disponible en: https://procurement-notices.undp.org/view_file.cfm?doc_id=109376

Norma EM.110 (2014). Confort térmico y lumínico con eficiencia energética. Perú: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/munisantamariadelmar/informes-publicaciones/2619729-em-110-confort-termico-y-luminico-con-eficiencia-energetica>

Rodríguez-Larraín, S.; Vargas Neumann, J.; Onnis, S; Correa, R. (2015). Knowledge exchange for innovation in the vernacular rammed earth technique, Perú. In: Mileto, Vegas, García Soriano y Cristini (Eds), *Earthen Architecture: Past, Present and Future*. London: Taylor & Francis Group, p. 323-326.

SERFOR (2016). Primer informe parcial del inventario nacional forestal y de fauna silvestre. Lima: Ministerio de Agricultura y Riego, Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre.

SIEA (2017). Sistema Integrado de Estadística Agraria. Anuario estadístico de la producción agrícola y ganadera 2016. Perú: Ministerio de Agricultura y Riego.

Volhard, F. (2016). *Light earth building*. Basel: Birkhauser

Wieser, M.; Onnis, S.; Meli, G. (2018 a), Conductividad térmica de la tierra alivianada con fibras naturales en paneles de quinchá. 18º Seminario Iberoamericano de arquitectura y construcción con tierra. Guatemala, USAC-CII; PROTERRA Disponible en: <http://files.pucp.edu.pe/facultad/arquitectura/2019/11/27173426/2018-SIACOT-Wieser-Onnis-Meli.pdf>

Wieser, M.; Onnis, S.; Meli, G.; Marinelli, P.; Becerra, G.; Juillerat, V.; Loayza, S. (2018 b). Hito 1: Informe sobre sistemas constructivos de madera y cerramiento de tierra. Lima, Perú. Proyecto de investigación aplicada en construcción y saneamiento – SENCICO 110-2107. Informe interno no publicado.

Wieser, M.; Onnis, S.; Meli, G. (2020). Desempeño térmico de cerramientos de tierra alivianada. Posibilidades de aplicación en el territorio peruano. *Revista de Arquitectura* (Bogotá), 22(1), 164-174. <https://doi.org/10.14718/RevArq.2020.2633>

AGRADECIMIENTOS

Se quiere agradecer a Sencico, Fondecyt por darnos la posibilidad de desarrollar la presente investigación. Un agradecimiento especial a todos los que han participado activamente en la primera parte de la investigación: Julio Vargas Neumann, Germán Becerra, Paolo Marinelli, Silvana Loayza León, Vincent Juillerat. Un agradecimiento especial al Centro de Investigación de la Arquitectura y la Ciudad del Departamento de Arquitectura PUCP, y en particular la geógrafa Tania Herrera Romero del LAB-CIAC.

AUTORES

Giuseppina Meli, arquitecta, docente e investigadora en la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). Miembro del grupo Centro Tierra-PUCP; especializada en el Politécnico de Turín en "Hábitat, Tecnologías y Desarrollo".

Silvia Onnis, arquitecta, docente e investigadora en la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP); miembro fundador del grupo Centro Tierra-PUCP; fundadora de la asociación Manos a la Tierra, Currículo completo en: <https://www.linkedin.com/in/silvia-onnis-b9745049>

Martín Wieser, doctor en energías y medio ambiente en arquitectura, magister en desarrollo internacional, arquitecto; docente e investigador del Departamento de Arquitectura y Urbanismo de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP); consultor en temas de climatización e iluminación natural en edificios.