



DESEMPEÑO TÉRMICO SIMULADO DE UN EDIFICIO CONSTRUIDO CON TIERRA ALIVIANADA ENCOFRADA EN TUCUMÁN

Maria Laura Giovino¹, Gonzalo García Villar², Pablo Dorado³ Guillermo Rolón⁴

¹Instituto de Ciencias de la Tierra. Universidad Nacional de Cuyo. Consejo Nacional de investigaciones científicas y técnicas - CONICET, Argentina, mlgiovino@gmail.com

²Centro Regional de Investigaciones de Arquitectura de Tierra Cruda. Facultad de arquitectura y urbanismo. Universidad Nacional de Tucumán. Consejo Nacional de investigaciones científicas y técnicas CONICET, Argentina, arqgonzalogv@gmail.com

Facultad de Arquitectura y Urbanismo - Universidad Nacional de Tucumán. Consejo Nacional de investigaciones científicas y técnicas CONICET, Argentina, ³pablodoradoctca@gmail.com; ⁴guillerolon02@gmail.com

Palabras clave: arquitectura bioclimática, Energy Plus, simulación térmica, análisis térmico

Resumen

La técnica constructiva tierra alivianada encofrada (TAE) posee un desempeño térmico diferente a otras técnicas constructivas en tierra como la mampostería de adobe, y la tapia. Si bien emplea fibras vegetales como la quincha, la TAE incorpora aún mayor cantidad de esta. En el caso de estudio se utiliza el residuo agrícola de cosecha de la caña de azúcar denominado malhoja, abundante en Tucumán. El presente trabajo es exploratorio y simula el desempeño térmico de un edificio de la Asociación Campesina de Tucumán, proyectado con TAE, el cual se encuentra en construcción. La simulación se realiza para determinar el desempeño térmico del proyecto arquitectónico y evaluar si requiere o no, estrategias proyectuales de diseño bioclimático que puedan implementarse sobre el prototipo. El edificio se sitúa en el departamento Leales, Tucumán, ecorregión del Chaco semiárido y en la zona bioclimática II b, cálida con amplitud térmica menor a 14°C, donde las temperaturas críticas suceden en verano con una media de 24°C y máximas superiores a los 40°C. La metodología se basó en la simulación con el software Energy Plus y Open Studio, de dos alternativas proyectuales del mismo edificio y se compararon con las exigencias de acondicionamiento según la región bioclimática. Los resultados mostraron que el sistema constructivo verifica parcialmente para el mes de enero (mes cálido con temperaturas extremas) por lo que requiere de estrategias bioclimáticas para poder alcanzar niveles de confort permanentes.

1 INTRODUCCIÓN

El desempeño térmico de las edificaciones adquiere relevancia principalmente en lugares con climas hostiles o extremos, como es el caso del verano en algunos sitios de la provincia de Tucumán, Argentina (figura 1). Además, el uso final de los espacios proyectados determina ciertas características de diseño asociadas a necesidades de confort térmico y acondicionamiento. Esta provincia posee una gran diversidad de microclimas debido, principalmente, a la variación de altitud que se produce desde el Sureste, donde se ubican extensas llanuras, hacia el Noroeste donde se alcanzan altitudes superiores a los 3.500 m, donde se encuentra una zona de puna y valles intermedios. El departamento Leales, lugar donde se encuentra en construcción el depósito de alimentos de la sede de la Asociación Campesina de Tucumán (ACT), presenta un clima subtropical con estación seca y temperaturas que superan los 40°C en verano; durante los meses de octubre a marzo predominan las lluvias, que sobrepasan los 1.000 mm anuales¹. Esto plantea la necesidad de generar en el edificio proyectado un diseño bioclimático adecuado en donde, a priori, se considere la necesidad de favorecer la aislación de muros y techos, para resguardar el interior de los espacios de la extrema temperatura y humedad exterior. Por este motivo, para la construcción del depósito de la ACT se optó por utilizar la técnica tierra alivianada encofrada (TAE) como cerramiento de muros y techos, con el objetivo de alcanzar un confort

¹ Servicio Meteorológico Nacional: <https://www.argentina.gob.ar/smn>

térmico para las personas que lo habitarán y una adecuada temperatura y humedad para los alimentos que se depositarán.

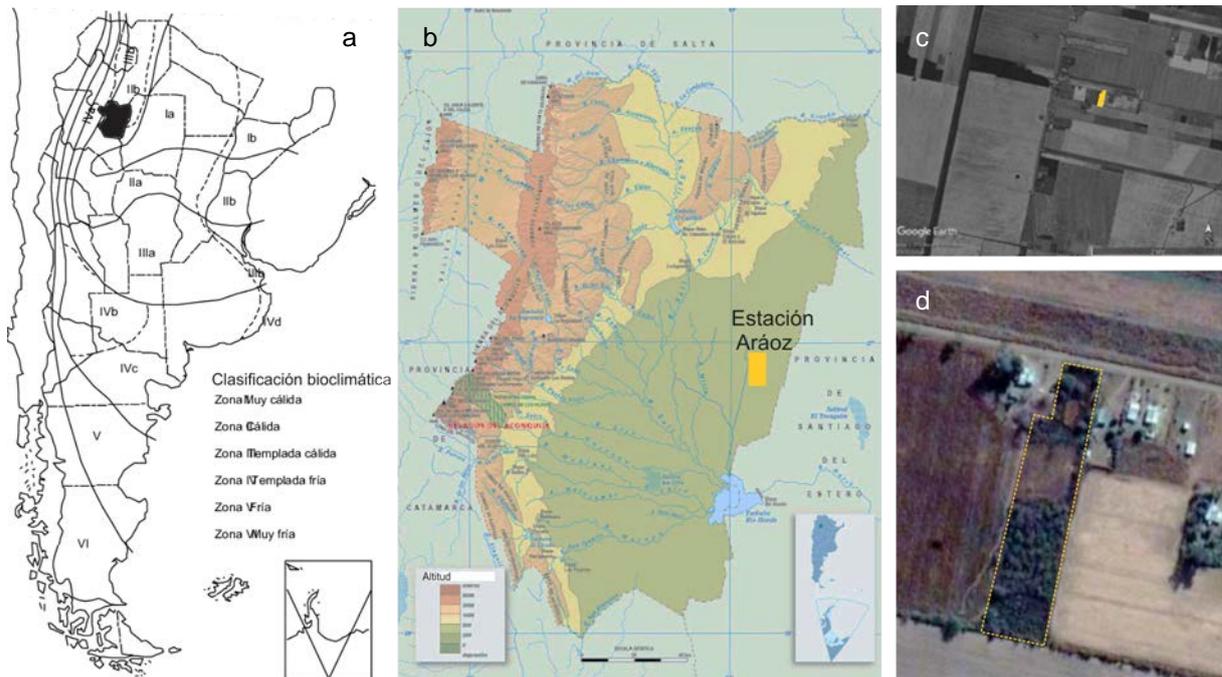


Figura 1. 1a. Mapa de zonas bioambientales R. Argentina; 1b. Localización de la localidad; 1c. Localización terreno sede ACT; 1d. Polígono del terreno. (mapa según Norma IRAM 11.603; mapa de Tucumán de variación de altitud; Red de Información para el Desarrollo Productivo (RIDES); Imágenes satelitales Google Earth²)

Las técnicas constructivas de paredes que emplean la tierra como material principal poseen un eficiente desempeño térmico debido a sus propiedades de inercia térmica y de acumulación de calor. La tierra también puede ser combinada con otros materiales de procedencia vegetal, mineral, e industrializados; justamente la incorporación de material vegetal, pastos y gramíneas, es una de las combinaciones que más se utilizan variando su cantidad. Las técnicas de construcción con tierra se clasifican principalmente en tres grandes grupos: técnicas de entramado (mixtas), monolíticas y mamposterías (Aranda Jiménez; Suárez Domínguez, 2020). La técnica TAE podría incluirse dentro del grupo de técnicas de entramado, debido al alto contenido de material vegetal que se utiliza, al marco de madera propio de los paneles, y la necesidad de contar en el edificio con una estructura resistente (madera, hormigón o metal). Esta técnica, que además de tierra utiliza gran cantidad de material vegetal, se caracteriza por aportar una considerable aislación térmica, lo que la posiciona como una opción para climas tanto fríos como cálidos. Cabe destacar que posee cierta similitud con la técnica constructiva denominada quincha, técnica conocida en la zona de Leales, que también emplea madera y fibra en su composición, motivo por el cual se pensó pertinente y potencialmente aceptable para la construcción de éste espacio. Por otro lado, esta región se caracteriza por la presencia de una densa y heterogénea vegetación y por posibilitar el desarrollo de diversas actividades agrícolas como el cultivo de caña de azúcar. A raíz de esta condición, la disponibilidad de pastos y residuos agrícolas de cosecha (RAC), que pueden emplearse como componentes constructivos, es amplia y diversa. En Tucumán el cultivo de la caña de azúcar es la base agrícola de la actividad económica regional. El RAC, denominado localmente malhoja, presenta un alto potencial energético que actualmente no está totalmente explotado por la dificultad que implica su recolección y la falta de diversificación en las aplicaciones para aprovecharlo. El material vegetal que se utiliza para ejecutar la TAE es variable, pero requiere de disponibilidad en grandes volúmenes; esa es la razón por la que la malhoja se torna atractiva y conveniente

² www.google.com.ar/maps/preview.

como material vegetal a emplearse. A su vez, no se han encontrado registros publicados del uso de este RAC en otros edificios para la región, por lo que resulta novedoso e importante iniciar estudios de las potenciales posibilidades de uso de este material vegetal de amplia difusión en Tucumán.

Para la construcción con TAE (*Leichtlembau* en su término de origen y *light earth*, en inglés) se mezcla una proporción alta de agregados ligeros -generalmente fibras de gramíneas- y tierra en estado líquido. Después de escurrir el agua, esta mezcla se acomoda y apisona manualmente dentro de un encofrado para conformar los muros de los edificios (Wieser et al. 2020). A diferencia del tradicional muro de mampostería de adobe, que posee una densidad aproximada de 1.500 kg/m³, el muro de TAE presenta una densidad de entre 500 y 800 kg/m³ debido a la gran cantidad de material vegetal empleado (Pereira, 2003). Además, al incorporar un alto porcentaje de material vegetal y estos poseen una baja conductividad térmica, proporcionan un buen desempeño térmico (Ortega et al., 2020); asociado a esto Yuste (2014, p.37) menciona que “cuanto más ligero es el material, mayor es el aislamiento térmico, y cuanto mayor es su nivel de humedad, menor es el efecto de aislamiento”. En este sentido, Volhard (2016) considera una conductividad térmica de 0,17 W/m.K para una densidad 600 kg/m³. En el caso de TAE, al realizarse mediante apisonado manual, el producto final posee una baja densidad y por tanto mayor capacidad aislante debido al contenido de aire remanente en el interior de la masa del muro.

Por otro lado, su uso proporciona ventajas económicas al utilizar un recurso de desecho como la malhoja y otros materiales de bajo costo; además brinda la posibilidad de ejecutar los muros sin la necesidad de herramientas o maquinaria especializada (Minke, 2008). En el caso del edificio de la ACT se suma el uso de un RAC abundante en la zona de Leales, y permite el ahorro en materiales industrializados incorporados en el edificio como aislación térmica. Es importante tener en cuenta que un edificio aislado térmicamente reduce los consumos energéticos durante su uso y vida útil para acondicionamiento térmico de refrigeración y calefacción. De esta manera el nivel de aislamiento térmico que proporciona este tipo de muros permitiría sostener la premisa del ahorro energético mencionado.

Una de las metodologías utilizadas en la actualidad con frecuencia para predecir el desempeño térmico y el consumo energético de un edificio (y aplicada en este trabajo) es la simulación de modelos edilicios mediante softwares, constituida en una herramienta de diseño y verificación cada vez más usual a nivel internacional. Si bien el análisis se realiza sobre el edificio en sí y no específicamente sobre el comportamiento detallado del muro, se puede realizar el análisis de un edificio con una envolvente con la técnica TAE. Los resultados permitirán plantear estrategias de diseño bioclimático y generar las modificaciones necesarias en el diseño de las futuras construcciones que incluye el proyecto integral de toda la sede.

1.1 Objetivo

Analizar el desempeño térmico del edificio de la Sede de la Asociación Campesina de Tucumán resuelto con la técnica constructiva TAE mediante una simulación por modelización. Se espera que los resultados permitan corroborar la hipótesis acerca de las ventajas térmicas de los sistemas constructivos livianos (a partir de recursos naturales como la tierra y las fibras vegetales como la malhoja) frente a condiciones de extremo calor.

1.2 Contextualización social del proyecto

La ACT está conformada por campesinos del sector Este de la provincia de Tucumán, ubicados en los departamentos Leales y Burreyacú. Se constituyeron en comitentes del proyecto en desarrollo y en su dinámica de posicionamiento político de defensa de los pequeños productores agropecuarios también toman en cuenta el uso de recursos locales como lógica de desarrollo. En octubre de 2019 solicitaron asesoramiento al grupo Mejora del Hábitat Participativo (MHaPa) para realizar el proyecto arquitectónico de este edificio. Alcanzado este diseño, se consiguió financiamiento para comenzar la construcción de la primera parte del conjunto la cual consiste en una garita de seguridad y un depósito de

alimentos. Para definir el proyecto y ajustar aspectos constructivos el equipo de MHaPa planteó la necesidad de definir el sistema constructivo. En su momento se propusieron sistemas con distintos materiales como ladrillos cerámicos macizos, huecos y bloques de hormigón; sin embargo, debido al recuerdo y valoración sobre el uso de la quincha que, a raíz de distintos procesos sociales y económicos más amplios, ya no se emplea regularmente, se propuso la TAE como un sistema constructivo posible. Luego de un debate sobre las posibilidades reales de implementación entre integrantes del MHaPa y la ACT se resolvió su implementación con un sistema estructural de hormigón armado.

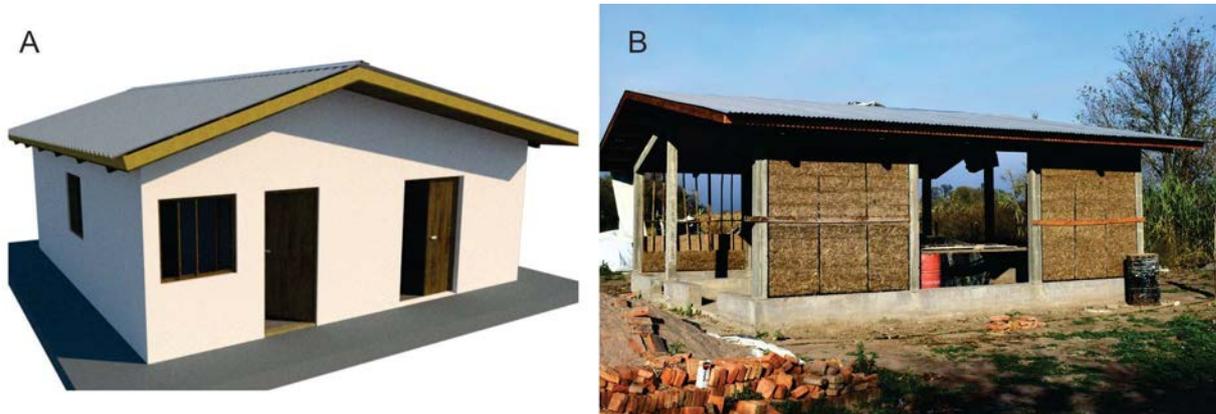


Figura 2. A) modelo 3d del edificio destinado al depósito de alimentos; B) estado de avance de la obra a marzo de 2021

1.3 Caracterización climática de la implantación del edificio y aspectos arquitectónicos del edificio

El edificio se sitúa en el departamento Leales, Tucumán (-27.11830 S, -64.92061 O) a 350 msnm. Corresponde a la ecorregión del Chaco semiárido y en la zona bioclimática II b, cálida, la cual se caracteriza por presentar una amplitud térmica menor a 14°C, y las temperaturas críticas suceden en verano (diciembre a marzo) con una media de 24°C y máximas superiores a los 40°C (IRAM 11603, 2011). El edificio que se analiza forma parte de un conjunto más amplio que es la sede social de la ACT. Este sector incluye un depósito de alimentos y un espacio de garita de seguridad con oficina y baño (figura 2).

Constructivamente el edificio se resolvió de la siguiente manera: Los muros exteriores e interiores se construyeron con el mismo sistema constructivo, cuentan con un bastidor de pino obra de 1" x 6" cada 0,80 m aproximadamente en horizontal y vertical, y se colocaron cañas tacuara (*Guadua chacoensis*) perpendiculares en el sector interno de cada panel de malhoja para rigidizar. Estos bastidores se rellenaron con malhoja y tierra alcanzando un espesor de 16 cm, cubierto de 1,5 cm de revoque de tierra, interior y exterior; por lo que el espesor final del muro fue de 19 cm. El techo es de chapa sinusoidal calibre n°25 (e=0.5mm); debajo de la chapa se colocó una aislación térmica de bloques de malhoja encofrada de 13 cm de espesor, colocados sobre un entablonado de madera de 2,5 cm. El piso se conforma con un contrapiso (e=10cm), una carpeta cementicia (e=3 cm) y finalmente un piso cerámico (e=2 cm). La estructura de todo el edificio es de vigas, columnas y bases de hormigón armado, como se observa en la figura 2a. La estructura del techo se compone por vigas principales de doble perfil "C" de 12 cm de altura y vigas secundarias de madera (e=6"). Sobre estas se colocaron clavaderas de madera (e=2"). Los aventanamientos aún no están colocados, para la simulación se consideró una carpintería con DVH, relleno de aire con 0,013 para un vidrio de 6.

2 METODOLOGÍA

Este trabajo pretende brindar los aportes de un modelo de simulación para un edificio que está en proceso de construcción de manera de verificar su desempeño térmico a priori. Posteriormente y con el presente análisis se busca proponer estrategias de mejoras. Una

vez que esté construido el edificio se monitoreará tanto para evaluar el desempeño real de los muros como el del edificio. Por lo tanto, para la primera parte que corresponde a este trabajo se realizó una simulación del desempeño térmico a partir del uso del programa EnergyPlus 9.2, el cual es elaborado por el departamento de energía de EE. UU. El modelado de la caracterización geométrica del edificio se realizó en SketchUp 2019 y la extensión con el plugin Openstudio 2.9.

En primer lugar, para definir aspectos cualitativos y para caracterizar el proyecto, se lo ubicó geográficamente, describiendo las características climáticas de la zona y las características constructivas del proyecto arquitectónico. Luego se elaboró la planimetría y se realizaron renders en. Además, se elaboraron mapas y gráficos para la descripción de su localización. La segunda fase se enfocó en los aspectos cuantitativos; se realizó una evaluación mediante simulación del desempeño térmico del proyecto del edificio. Los datos de las propiedades térmicas de los materiales se obtuvieron de la bibliografía específica (Wieser et al., 2020). Finalmente, se ensayó el desempeño del edificio sin ocupantes, por lo que no se consideraron sistemas de enfriamiento en verano. Los resultados obtenidos se visualizaron en el graficador "DViewer".

2.1 Simulación higrotérmica

Se realizó la simulación del edificio para un período anual, considerando las características de los muros descritas anteriormente. Para poder realizar la simulación es necesario contar con siguientes datos: las características geométricas para modelar el 3D en SketchUp, las características de sus componentes constructivos respecto de las propiedades térmicas y dimensiones, las condiciones meteorológicas y las cargas internas de acuerdo con horarios, uso, ocupación e infiltraciones. De acuerdo con las características constructivas del edificio se realizó el modelo y la caracterización geométrica. Se asignaron tres zonas térmicas de acuerdo con la geometría del edificio y a su uso: el depósito, la oficina y el baño.

Para la simulación se situó el edificio en Tucumán con los datos climáticos del aeropuerto "Tucumán Matienzo Intl AP" cuya Latitud es -26.841 S, Longitud igual a -65.105 O, a una elevación de 455.7 m (Time Zone: -4).

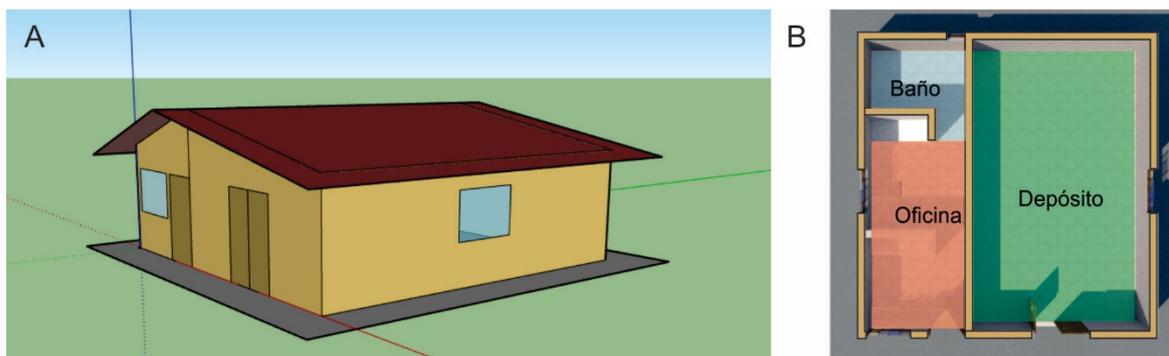


Figura 3. A) modelado 3D del edificio y asignación de las características de los cerramientos;
B) planta

Las propiedades térmicas de los materiales, especialmente de la TAE, se obtuvieron de antecedentes de trabajos anteriores como se mencionó anteriormente. En la tabla 1 se observan los valores adoptados. Las propiedades térmicas de los demás materiales constructivos se obtuvieron de bibliografía específica (IRAM 11601, 2002). Con esta información fueron establecidos en el software los parámetros y características de los materiales. Se asignó a cada superficie del modelo el material de construcción establecido (figura 3A). El techo, al igual que los muros externos e internos, emplearon la TAE, pero en este caso como elemento de aislamiento térmico y moldeados como bloques que luego se fueron colocando manualmente en su posición durante el armado del cielorraso. Para el cálculo se le asignaron las características de la tabla correspondiente al muro TAE, pero con el espesor correspondiente.

Los datos empleados para la simulación de los muros de tierra alivianada son los que corresponden a la tabla 1.

Tabla 1. Propiedades de los materiales del muro (Volhard, 2016)

Características	TAE	Revoque de tierra
Espesor	16 cm	15 cm
Conductividad	0,17 W/m.K	0.5 W/m.K
Densidad	600 kg/m ³	1500 kg/m ³
Calor específico	1050 J/kg.K	900 J/kg.K

De acuerdo con el uso y ocupación del edificio, al tratarse de un depósito de alimentos se consideró la simulación sin ocupación, por lo cual se desprecia la ganancia por persona, por iluminación, y el uso de calefacción y refrigeración, de manera de evaluar solo el desempeño térmico de la tierra alivianada encofrada. Sin embargo, se considera un número de renovaciones de aire: se adoptó 1 por hora para verano y 0,2 para invierno. La infiltración se mantuvo constante de un cambio de aire por hora.

Para verano se consideró una ventilación nocturna en el periodo desde el primero de diciembre al 28 de febrero. Para el resto del año no se consideró la ventilación nocturna. Estos parámetros se establecieron mediante un *Schedule*. Las ventanas exteriores se consideraron completamente abiertas (*multiplier fraction=1*) durante las noches de verano, y la ventilación se permite cuando la temperatura interior supera los 25°C y la diferencia entre la temperatura interior y exterior es superior a 2°C (Mercado et al., 2015).

3 RESULTADOS

3.1 Análisis del desempeño higrotérmico

A partir de los resultados obtenidos (figuras 4 al 9), se analiza el desempeño higrotérmico en verano. Se consideró el mes de enero por presentar la situación más extrema y desfavorable. En verano se observa que las temperaturas exteriores durante el mes de enero llegan a una máxima de 38°C el día 31 y una mínima de 17°C el día 24 (figura 5); mientras que la temperatura media mensual es de 25,5°C. Las temperaturas máximas se detectan a partir del mediodía entre las 14:00 y las 16:00 h mientras que las temperaturas mínimas suceden en la madrugada entre las 5:00 y 7:00 h. La amplitud térmica diaria varía entre 13°C, la máxima detectada el día 27, y 3°C la menor observada en el día 1; siendo 8°C la amplitud térmica habitual en toda la serie.

Las temperaturas interiores son diferentes según el local considerado, resultando el baño con las temperaturas más altas durante toda la serie y el depósito con temperaturas menores. La diferencia en la orientación entre locales, sus dimensiones y el volumen de aire, inciden sobre las condiciones que definen la temperatura interior de cada local. El baño tiene un volumen de 21,4 m³ y capta la radiación solar del Oeste, el depósito tiene un volumen de 108 m³ ubicado al Norte y la oficina orientada al Este tiene un volumen de 42,8 m³. En la figura 4 se muestra la incidencia de la radiación solar sobre la superficie de los muros de cada local. Se observa que las orientaciones al Este y al Oeste captan mayor radiación solar que la fachada norte y la sur, siendo la fachada sur la de menor captación. Este desempeño se relaciona a la latitud por lo cual, al estar más cerca del ecuador, menor es la incidencia sobre las fachadas norte y mayor será para las fachadas este y oeste.

De esta manera resultan temperaturas interiores que llegan hasta 10°C de diferencia respecto al exterior en ciertos momentos, mientras que en otros son coincidentes. Por lo tanto, en relación de las temperaturas interiores con las exteriores se pueden detectar

distintos desempeños. Durante el período del mes de enero se pueden identificar tres situaciones:

- 1- Las temperaturas interiores son menores que las temperaturas exteriores, coinciden con los momentos de lluvia;
- 2- Las temperaturas interiores superan las temperaturas exteriores;
- 3- Las temperaturas interiores son menores o coinciden con las exteriores.

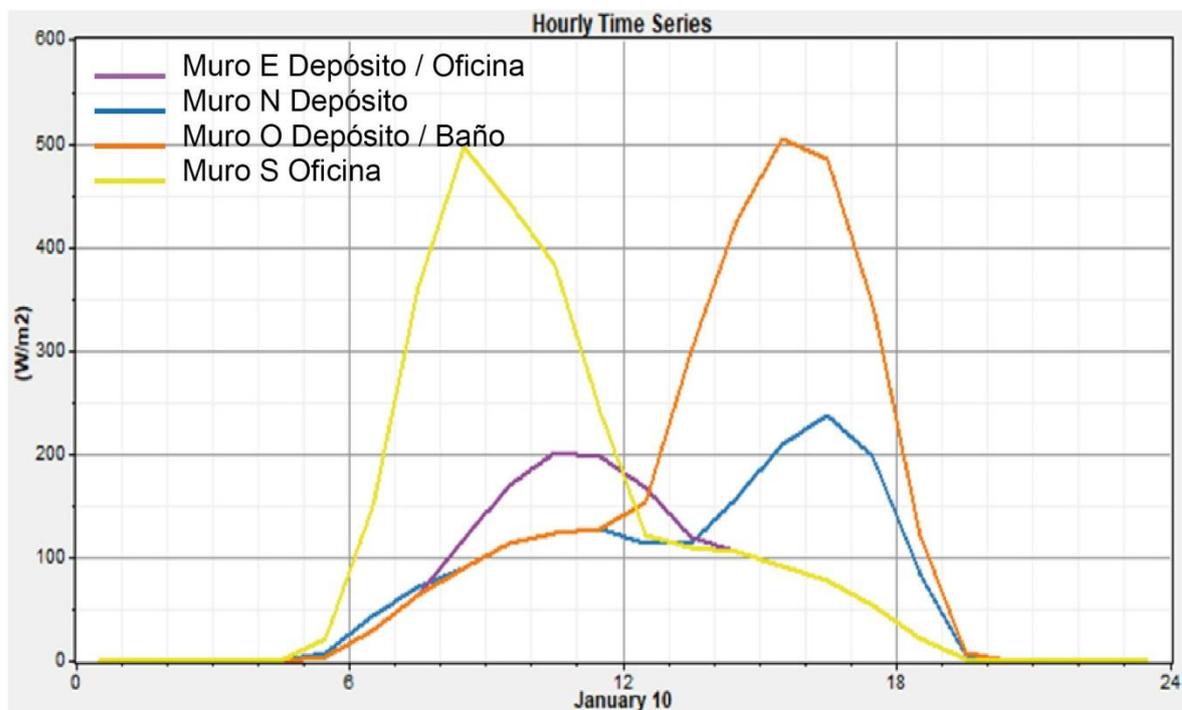


Figura 4. Influencia de la radiación solar sobre cada muro

- *Las temperaturas interiores son menores que las temperaturas exteriores, coincide con los momentos de lluvia*

En este caso se observa que las temperaturas interiores además de ser menores respecto de la temperatura exterior, disminuye su oscilación diaria a 2°C en promedio, es decir que mantiene una temperatura interior casi constante, con muy poca variabilidad. Por lo cual es despreciable el valor de temperaturas máximas y mínimas, las cuales llegan a 22°C y 19°C. Estos valores están dentro de los valores aceptables de confort térmico. En esta situación no es necesario agregar sistemas de refrigeración. Al analizar la humedad relativa interior se detecta que coincide la disminución de la oscilación de las temperaturas interiores siendo menor a las temperaturas exteriores, cuando los valores de humedad relativa son altos, entre 80% y 100%. Este desempeño se observa entre los días 1 a 6, 11 y 12, 18, 19, 21, 23 y 24, lo cual representa 42% (13 días) del período estudiado (figura 5). Esta situación supone que los valores altos de humedad relativa coinciden con los momentos de lluvia. Es decir, en la situación de alta humedad relativa la temperatura interior se mantiene en los rangos de confort.

En el día 6 se ejemplifica esta situación y se observa en la figura 6 que el depósito reduce 11°C respecto de la temperatura exterior, siendo 20°C en el interior y 31°C en el exterior. Así mismo el depósito presenta 2°C menos que la oficina y el baño, las cuales ambas se comportan de la misma manera con iguales valores de temperaturas interior.

- *Las temperaturas interiores superan las temperaturas exteriores*

Durante este período se observa una situación desfavorable en la cual las temperaturas interiores son mayores que las temperaturas altas en el exterior. Se detecta para los días

desde el 7 al 10, del 13 al 17, del 24 al 28, lo cual representa el 45% del total de la serie (14 días). En esta situación la diferencia de temperatura interior alcanza 6°C más que el exterior. En los días más desfavorables de la serie, días 9 y 14, se observa 33°C en el exterior y 39°C en el interior, particularmente en el baño (figura 7), el cual tiene la situación más desfavorable para verano siendo el ambiente con mayor acumulación de calor. En el depósito se registra una temperatura máxima de 35,5°C, es decir 2,5°C mayor que el exterior. Mientras que la oficina registra 36,5°C de temperatura máxima. Al disminuir la temperatura exterior, también disminuye de forma proporcional la temperatura interior manteniéndose aún con valores más altos durante todas las horas del día.

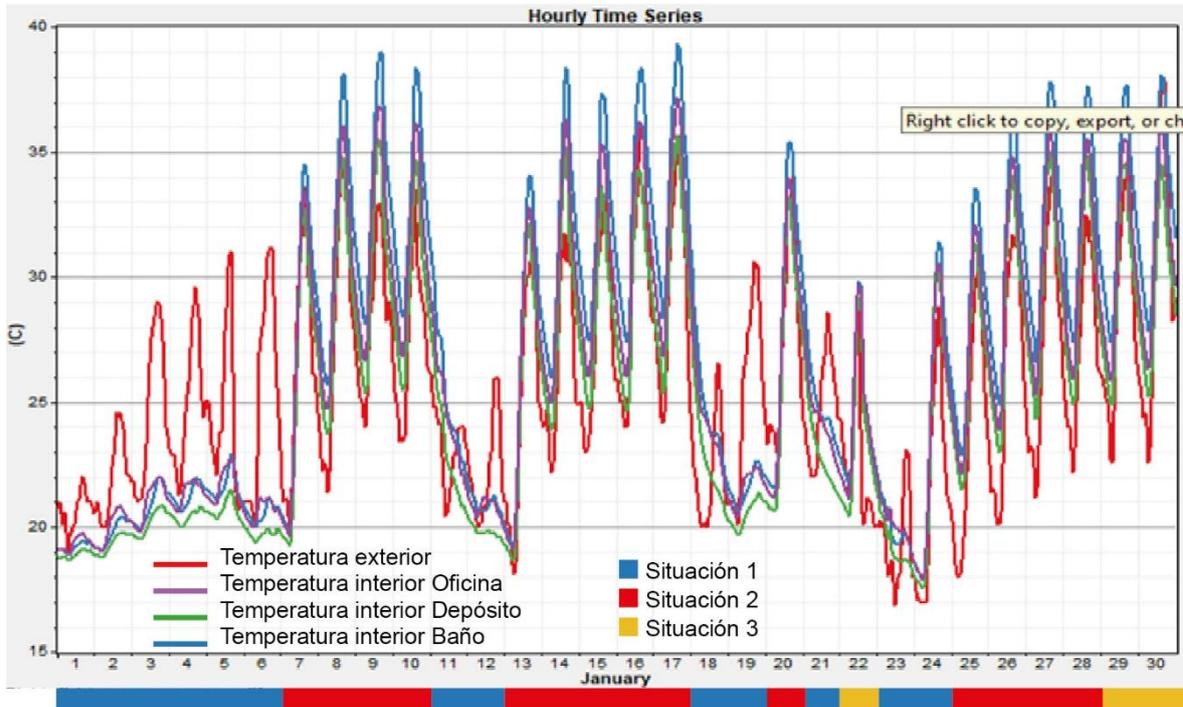


Figura 5. Curvas resultantes de las temperaturas simuladas del edificio en el mes de enero

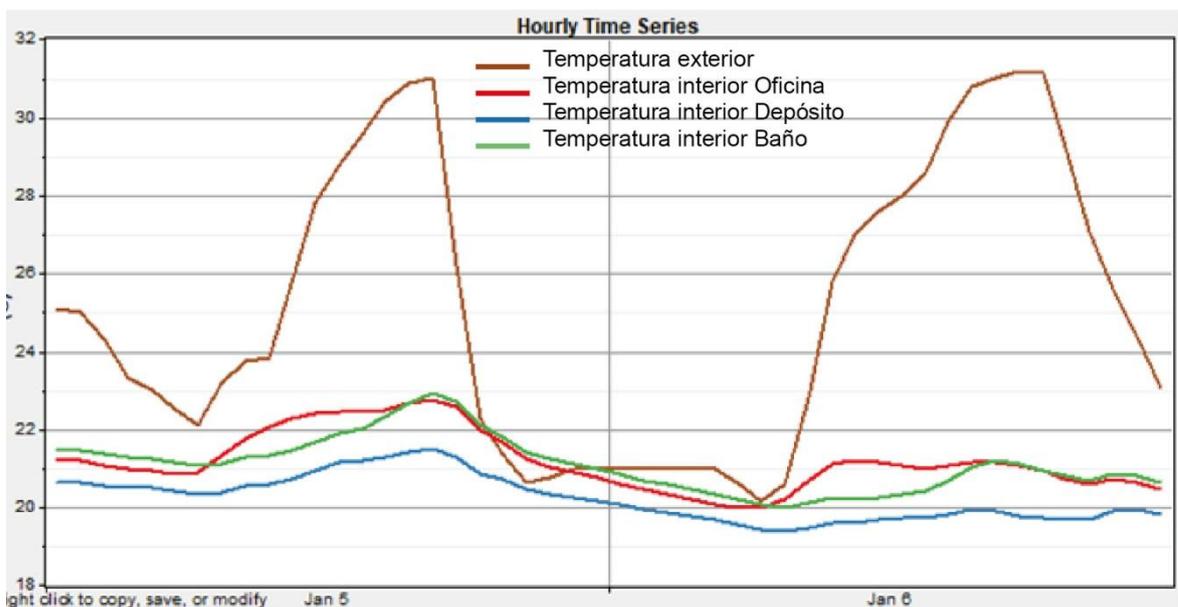


Figura 6. Curvas resultantes de las temperaturas simuladas del edificio para los días 5 y 6 de enero

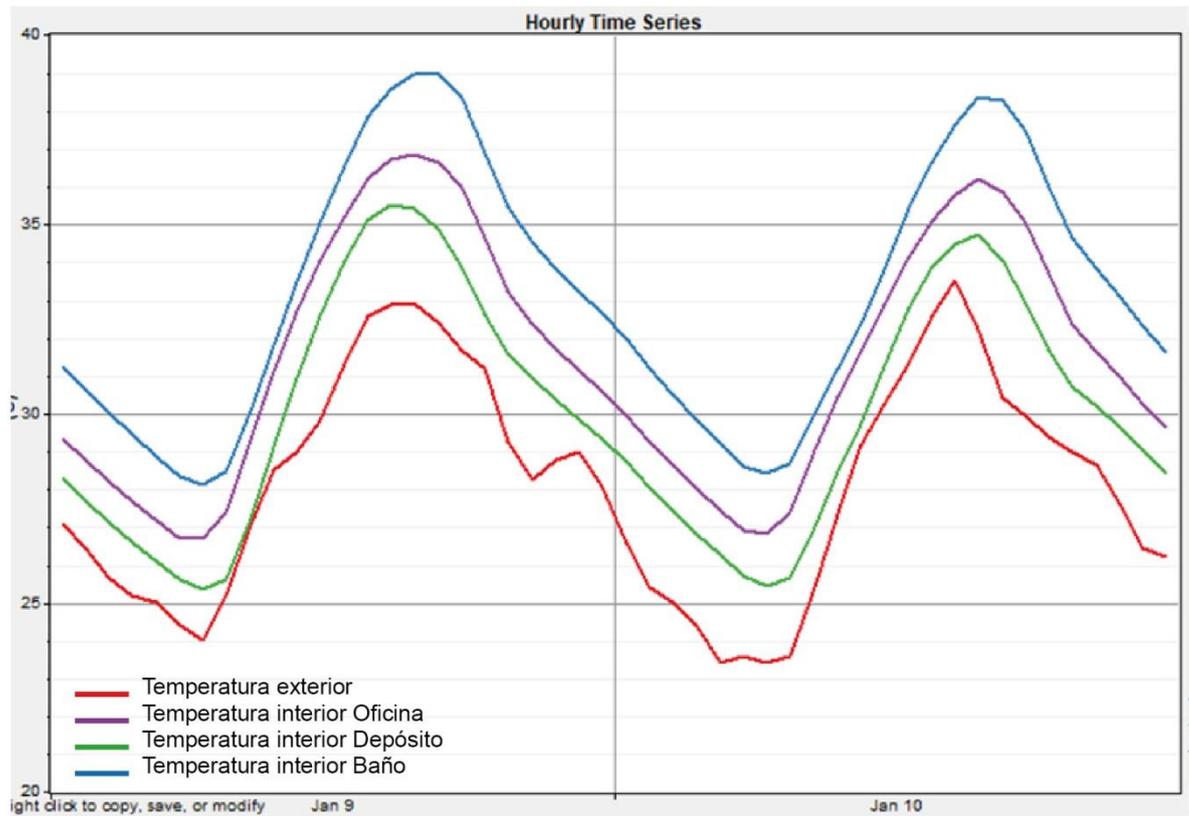


Figura 7. Curvas resultantes de las temperaturas simuladas del edificio para los días 9 10 de enero

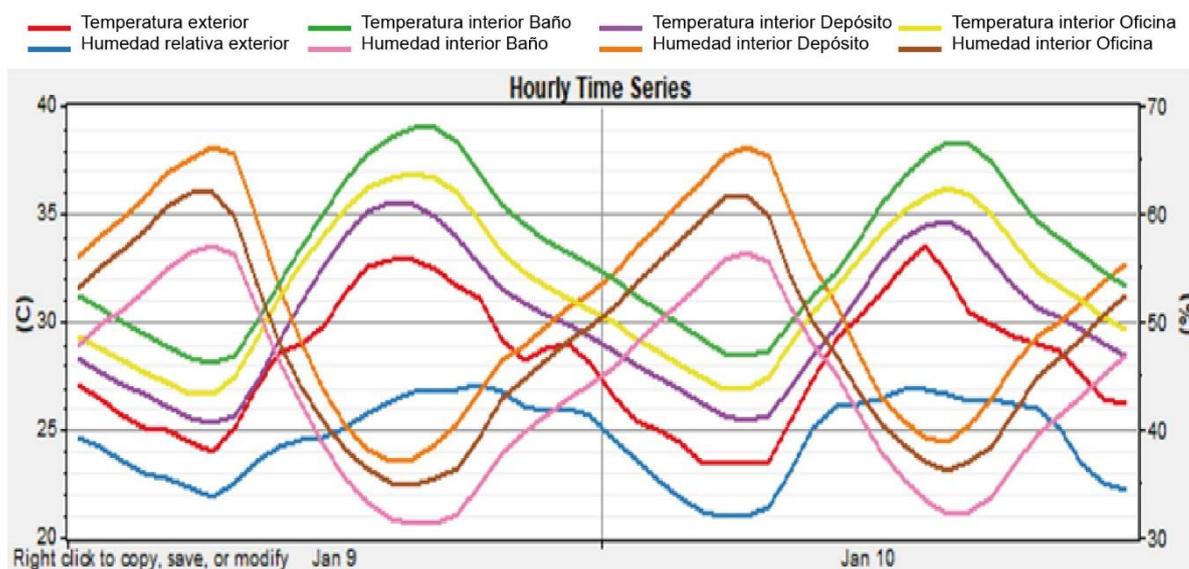


Figura 8. Curvas de humedad relativa y temperatura

- Las temperaturas interiores son menores o coincidentes con las exteriores

En la tercera situación se logra verificar una amortiguación de la temperatura exterior en el interior. En este caso se observa que las curvas interiores están por debajo de las exteriores con una diferencia de 3,5°C para el depósito (figura 9), 2°C para la oficina mientras que el baño alcanza la misma temperatura que en el ambiente exterior cuando estas son máximas. Sin embargo, esta situación sucede solo en el 13% respecto del total de la serie, a saber, los días 22, 29, 30 y 31. Así mismo, la temperatura interior máxima del depósito es 34,5°C, de la oficina 36°C y del baño 38°C con lo cual los valores interiores no alcanzan los valores de confort térmico requeridos. En este sentido habría que complementar con otras estrategias de acondicionamiento pasivo o refrigerar el ambiente.

No se observa un retardo entre las temperaturas interiores respecto de las exteriores. La oscilación entre la temperatura máxima y mínima es de 6°C, siendo la mínima un valor por encima de la máxima requerida para una situación de confort como se observa en el depósito con una temperatura mínima de 26°C. Las temperaturas máximas en el interior suceden al igual que en la situación 2, entre las 14:00 h y 16:00 h y las mínimas entre las 5:00 h y 7:00 h.

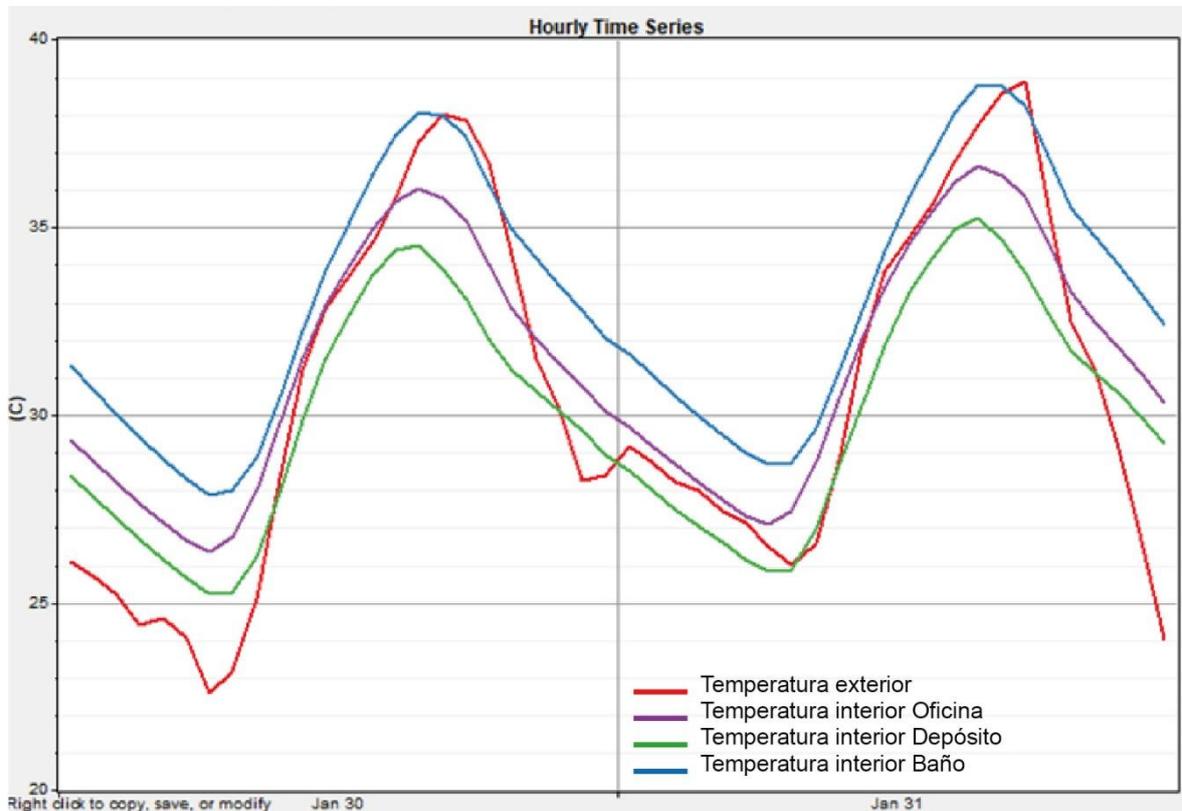


Figura 9. Curvas resultantes de las temperaturas simuladas del edificio para los días 30 y 31 de enero

En este caso se observa que, en verano, la simulación se muestra como una “caja estanca” por lo cual los espacios acumulan calor siendo en el interior con 6 °C más que en el exterior para los ambientes que dan al Oeste. De este modo se presenta una situación fuera de los rangos de confort. La mayor acumulación de calor se observa en el espacio al oeste, el baño.

4 CONSIDERACIONES FINALES

La utilización de herramientas de simulación permite realizar un análisis a priori de desempeño higrotérmico del edificio y testear si se verifican con las condiciones de confort. En caso de no verificarlo, habilita a proponer estrategias complementarias de mejora bioclimática como sería para este caso presentado con la técnica tierra alivianada encofrada.

De acuerdo con los resultados obtenidos de las simulaciones higrotérmicas realizadas para el periodo más desfavorable (verano) se puede señalar que en los casos de días de lluvia las temperaturas interiores se acercan a los rangos de confort. Sin embargo, para los días típicos soleados en Tucumán, las temperaturas interiores son iguales a las exteriores o mayores. La diferencia de las dimensiones de los locales, volumen de aire y orientación por local influye en las temperaturas interiores. Con lo cual el local con menor volumen de aire y orientado al Oeste, el baño, es el que presenta la situación más desfavorable, mientras que el depósito si bien no logra llegar a los rangos confort térmico en el ambiente interior logra reducir su temperatura respecto del exterior en 17 de los 31 días considerados para enero.

Por lo tanto, el empleo de la técnica TAE para el acondicionamiento térmico pasivo considerado para muros y techos en las condiciones climáticas extremas del verano tucumano requiere sistemas complementarios para finalmente alcanzar las condiciones de confort debido a que no es suficiente para alcanzar el nivel de confort higrotérmico interior. Si bien la envolvente tiene gran influencia en el desempeño térmico del edificio, no determina *per se* una mejora global. Para el caso de clima subtropical con lluvias, se deben complementar las estrategias que permitan que el edificio disipe el calor acumulado mediante, por ejemplo, ventilación cruzada, protecciones solares que restrinjan la ganancia solar, aumentar el número de renovaciones de aire, favorecer la ventilación nocturna, forestación lateral del edificio, entre otras posibles estrategias. Incluso, se podría introducir un extractor para lograr mayor movimiento de aire que permita bajar la temperatura interior de los espacios.

Respecto de la construcción tradicional, la TAE, aun cuando el acondicionamiento térmico interior supera los niveles de confort requeridos, si aporta un margen importante de cobertura que redundaría en un empleo más acotado de sistemas de refrigeración mecánica en caso de emplearse, y sigue presentando ventajas debido al uso de un desecho, un recurso local disponible, de bajo costo y sin emisiones de contaminación a la atmósfera. Además de permitir la autogestión por parte de la Asociación Campesina de Tucumán que han proyectado y construido con esta técnica el edificio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aranda Jiménez, Y.; Suárez Domínguez, E. J. (2020). Tierra vertida. Una técnica olvidada. Ciudad de México: Colofón; Universidad Autónoma de Tamaulipas.
- IRAM 11601 (2002). Acondicionamiento térmico de edificios Clasificación bioambiental de la República Argentina. Argentina: Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- IRAM 11603 (2011). Acondicionamiento térmico de edificios Clasificación bioambiental de la República Argentina. Argentina: Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- Mercado M. V., Barea G., Esteves A. (2015). Auditoría y simulación energética en la ciudad de Mendoza, Argentina: análisis del comportamiento térmico de una vivienda unifamiliar de diseño pasivo y consumo energético anual. Asociación Argentina de Energía Solar; Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente; 3; 11-2015; 147-158. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/42643>
- Minke, G. (2008). Manual de construcción en tierra (3ª edición en castellano). Editorial Fin de Siglo. 222 p.
- Ortega, M.; Garzón, B.; Fernández, A. (2020). Monitoreo y simulación térmica de una vivienda PRO.CRE.AR en tierra en el Gran San Miguel de Tucumán. Acta de la XLII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente (ASADES), Vol. 7, pp. 01.267-01.275, 2019. Impreso en la Argentina. ISBN 978-987-29873-1-2
- Pereira Gigogne, H. (2003). Uso de la técnica mixta tierra aligerada (*Leichtlembau*) en Chile. En: Técnicas mixtas de construcción con tierra. Proyecto XIV.6 PROTERRA/HABYTED/ CYTED. p.51-64.
- Volhard (2016). Construire en terre allégée. Francia: Actes Sud/Craterre.
- 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/ReArq.2020.2633>
- Yuste, B. (2014). Arquitectura en tierra. Caracterización de los tipos edificatorios (Tesis de Máster de Arquitectura, Energía y Medio Ambiente). Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña. Recuperado de: https://www.aie.webs.upc.edu/maema/wp-content/uploads/2016/07/26-BeatrizYuste-Miguel-Arquitectura-de-tierra_COMPLETO.pdf

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Asociación Campesina de Tucumán por brindar el espacio para el desarrollo del proyecto.

AUTORES

Maria Laura Giovino, Arquitecta (FADU-UBA- 2012), doctoranda en Ciencias, área Energías Renovables (UNSa), Becaria doctoral de CONICET. Magíster en energía, ecología y sociedad (Université Paris-Diderot, 2015-2016), con formación en la licenciatura en Artes Visuales (UNA). Se especializó en arquitectura sustentable en Bordeaux (ENSAPBx, 2011-2012). Se desempeñó para trabajos ambientales en la selva Amazónica, en trabajos de arquitectura en tierra y análisis energético en Paris (LIED), Marruecos y Argentina. En Indonesia (ISISurakarta) ha desarrollado proyectos artísticos de arte y sustentabilidad.

Gonzalo García Villar, Arquitecto, doctorando en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la UNT. Becario doctoral de CONICET con lugar de trabajo en CRIATiC. Diseñador en permacultura por el Instituto Argentino de Permacultura. Diseñador, director y constructor de diversas obras de arquitectura de tierra y bioclimáticas. Miembro de la red argentina PROTIERRA.

Pablo Dorado, arquitecto recibido en 2015 en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional de Tucumán. Actualmente se encuentra cursando el Doctorado en Arquitectura de la misma Universidad con el apoyo de una beca doctoral CONICET (2017-2022).

Guillermo Rolón, Doctor por la Universidad de Buenos Aires con especialidad en arqueología, Master en restauración y gestión integral del patrimonio construido, Arquitecto, Investigador Adjunto del CONICET e investigador adscripto del CRIATiC; Integrante del programa de extensión universitaria MHaPa (Mejoramiento del Hábitat participativo), miembro de la Red Iberoamericana PROTERRA, miembro de la red argentina PROTIERRA.