

DESEMPEÑO TÉRMICO DE VIVIENDAS CONSTRUIDAS CON QUINCHA

John Martin Evans, Silvia de Schiller, Lucía Garzón

RESUMEN

Este trabajo presenta una evaluación del desempeño térmico de construcción con tierra en general y en quincha en particular, en climas donde es posible lograr confort con acondicionamiento natural o con limitada calefacción artificial. Para ejemplificar y verificar el desempeño térmico, se presenta el estudio de una casa construida en quincha cerca de Bogotá, Colombia, en clima ecuatorial de altura, con temperaturas que varían entre fría y confortable y limitada variación entre distintos meses del año. Inicialmente se realizó la evaluación teórica del desempeño de muros de quincha con el cálculo de transmitancia e inercia térmica de muros de quincha y techos con caña, aislación térmica de carbón vegetal, capa de barro e impermeabilización. Se compararon los resultados con valores recomendados en la literatura. Se explica la metodología empleada en la realización de la auditoría térmica, el proceso de medición, colocación de sensores y la obtención y procesamiento de datos. Las mediciones en la casa de quincha indican la diferencia lograda entre la temperatura interior y exterior, en distintas ubicaciones de la casa. Se enfatiza la capacidad de la construcción en lograr el aumento de la temperatura media interior y de moderar la variación de temperatura interior. Los resultados indican un comportamiento térmico favorable, comparable con otras construcciones convencionales, aunque las temperaturas interiores promedio son inferiores a los niveles deseables. Se identifican posibles alternativas para mejorar el desempeño térmico y las condiciones de bienestar de los ocupantes.

Palabras claves: quincha, desempeño térmico, amplitud térmica, auditorías, mediciones.

INTRODUCCIÓN

Con la utilización de tierra como material de construcción, se presentan dos características térmicas importantes: 1. conductividad térmica relativamente baja comparada con otros elementos de mampostería convencional y 2. capacidad térmica similar a construcciones alternativas. La densidad de adobes, de aproximadamente $1,500 \text{ kg/m}^3$, y $1,900 \text{ kg/m}^3$ para tierra compactada y suelo cemento con 5 a 10 % de cemento (Evans, 2005), es fundamental para determinar las variables térmicas de conductividad, capacidad térmica y la velocidad de transmitir ondas de calor a través del material. Estas características son importantes para asegurar la conservación de calor en el interior de edificios con tierra en climas con bajas temperaturas, el control de la variación de temperatura interior y el retraso térmico de los picos de temperatura exterior, relevante en climas de baja humedad y gran amplitud térmica interior.

La conductividad térmica de construcción con tierra fue analizada en un trabajo anterior (Evans, 2005), obteniendo un valor de aproximadamente $0,6 \text{ m}^2\text{K/W}$ para adobe y $0,9$ para tapial compactado con suelo cemento.

La conductividad térmica de materiales alternativos es:

- 0,81 m²K/W: ladrillos cerámicos macizos, bloques de hormigón convencional,
- 0,12 m²K/W: bloques de hormigón celular curado en autoclave (HCCA), bloques de cerámicos huecos y distintos tipos de piedra.

Los muros de materiales de alta conductividad requieren mayor espesor para lograr las mismas características aislantes. Por ejemplo, un muro de adobe de 25 cm de espesor logra una demora de 6 a 8 horas en la transferencia de calor al interior, evitando el impacto directo de los picos de calor después de mediodía y de las temperaturas mínimas que ocurren antes del amanecer.

Con estos valores, la construcción con tierra ofrece interesantes características térmicas para una amplia gama de condiciones climáticas, siempre que se adopten espesores adecuados de los elementos constructivos.

La construcción con quincha, también bahareque o bajareque, logra características sismo-resistentes por dos condiciones básicas: incorpora una estructura interior de bambú o madera, y reduce el espesor y peso de los muros. Sin embargo, el menor espesor de estos muros presenta la desventaja de aumentar su transmitancia térmica y disminuir el retraso térmico.

Los techos tradicionales de tierra, frecuentemente contruidos con una estructura de madera y una capa de bambú, caña o entramado de hojas de palmera, tienen también capas de escaso espesor de barro para reducir el peso y el peligro de derrumbe en caso de sismos.

En este trabajo se analizan las características térmicas de muros de quincha y techos de barro sobre estructuras de madera, a fin de verificar su comportamiento térmico y la capacidad de ofrecer buenas condiciones de habitabilidad. En las siguientes secciones se presenta el análisis de las características térmicas de ambos componentes, con estudios teóricos y mediciones registradas en una vivienda de quincha (Garzón, 2012) construida cerca de Bogotá, Colombia.

ANÁLISIS DE CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS

Muros: En general, los muros de quincha tienen un espesor de 10 a 15 cm, con dos capas exteriores de revoque de barro sobre un armazón de madera o bambú, aunque en algunos casos, se utiliza doble armazón con cámara de aire interior o revoques más gruesos para lograr menor transmitancia térmica, similar a muros de mampostería portante. El típico muro de 10 a 15 cm de espesor logra una transmitancia térmica similar a una pared de ladrillo macizo revocado de 300 mm o una pared de adobe de 250 mm, adecuada para muchas condiciones climáticas, pero con limitada resistencia al paso de calor en climas fríos. El peso reducido es otra ventaja, pero la limitada inercia térmica produce un retraso térmico de solo 3 horas.

El bambú tiene las ventajas de una mayor resistencia a ataques de insectos, carcoma o putrefacción, y mayor flexibilidad en caso de movimientos sísmicos y menor peso. La capa de caña y las cámaras de aire formadas en el centro de la pared aportan la mayor parte de la resistencia al paso de calor, según Tabla 1, que indica la transmitancia térmica.

Tabla 1. Características térmicas, muro de quincha.

Capa	Espesor m	Conductividad W/mK	Resistencia m ² K/W	Transmitancia W/m ² K
Exterior				0,13
Terminación, tierra con cal	0,010	0,72		0,01
Tierra con paja	0,055	0,68		0,08
Caña y cámaras de aire	0,020	0,08		0,25
Tierra con paja	0,055	0,68		0,08
Terminación, tierra con cal	0,010	0,72		0,01
Exterior				0,03
TOTAL	0,150		0,59	1,69

Techo: El techo tradicional de tierra, con una capa de barro sobre un capa de bambú, caña o hojas de palmera logra una transmitancia térmica de aproximadamente 2-3 W/m²K, un valor muy alto para techos, tanto en climas fríos como cálidos. El retraso térmico es también limitado, con un valor de solo 2 a 3 horas.

Una solución interesante, adoptada en la casa construida en Subachoque, es el uso de carbón vegetal como capa aislante en el techo, lo cual permite lograr una transmitancia térmica de 0,83 W/m²K, mucho mejor que el techo tradicional de barro.

Tabla 2. Construcción del techo.

Capa	Espesor, m	Conductividad	Resistencia	Transmitancia
Exterior	-		0,04	
Impermeabilización	0,001	-	0	
Tierra con cal	0,025	0,72	0,03	
Carbón vegetal, suelto y seco	0,05	0,05	0,91	
Film de plástico	0,0005	-	0,01	
Caña	0,025	0,2	0,04	
Interior			0,17	
TOTAL	0,10		1,20	0,83

Cabe aclarar que estas estimaciones de características térmicas son aproximadas, debido a la dificultad de verificar el espesor de cada capa, la variación de conductividad de materiales naturales y la resistencia de las posibles cámaras de aire formadas durante la construcción.

En la próxima sección se presenta la metodología de medición de las condiciones térmicas en vivienda con acondicionamiento natural, con técnicas de procesamiento de datos y análisis de los resultados, a fin de verificar el desempeño térmico de construcciones con muros de quincha, presentando después los resultados de las mediciones.

AUDITORIA TÉRMICA

Para las mediciones de temperatura, humedad y disponibilidad de radiación solar, se utilizaron registradores automáticos de pequeño tamaño, ubicados en distintos espacios y en el exterior. En el caso presentado, se emplearon sensores tipo Hobo, fabricado por Onset Computer Corporation (2012), data-loggers de tamaño reducido, que miden y almacenan los datos de temperatura en intervalos pre-programados. Los modelos U10 y U12 permiten programar el inicio de los registros con el modo gatillo, ‘trigger start’, en el momento de ubicar los sensores. Con la capacidad de estos instrumentos se logran registros continuos durante un mínimo de 18 días con intervalos de 15 minutos.

La medición de la **temperatura exterior** debe ofrecer seguridad para los instrumentos, protección de la radiación solar directa y de la lluvia, con buena exposición a la temperatura del aire exterior. En este caso, un alero proporcionó la protección adecuada.

La óptima manera de registrar la **temperatura interior** es suspender el sensor en el centro del espacio a 1,50 m de altura (de Schiller, 2004). Esta posición permite medir la temperatura del aire a la altura de los ocupantes, incluir parcialmente la influencia de la temperatura media radiante de todas las superficies del espacio y evitar posibles impactos de la inercia térmica que suelen ocurrir cuando el sensor se encuentra ubicado cerca de materiales de gran capacidad térmica. En la práctica, especialmente en viviendas y edificios ocupados, es necesario colocar los sensores sobre los muros aproximadamente a 1,50 m de altura, siendo aconsejable medir también la temperatura a la altura del techo para registrar la estratificación de aire y el efecto de la radiación solar transmitida a través del techo.

MEDICIONES DE TEMPERATURA

A fin de explicitar el procedimiento de medición, se muestra la ubicación de los Hobos instalados en la casa de quincha racionalizada (Garzón, 2012) en la Tabla 3. Los sensores se programaron de modo de iniciar los registros al momento de su colocación. El modelo U12 mide temperatura, humedad y niveles de luz. Si bien esta última medición es indirecta, por la ubicación bajo el alero, permite detectar horas nocturnas y horas con sol o cielo nublado.

La humedad absoluta exterior también permite detectar horas con muy alta humedad relativa, pudiendo coincidir con lluvias, especialmente en combinación con la disminución de temperatura. El intervalo de tiempo entre mediciones es de 15 minutos, muy adecuado para evaluar el comportamiento térmico de la vivienda.

Tabla 3. Sensores automáticos.

N°	Tipo	N° Serie	Figura	Ubicación
05	U10	9882299	1	Techo estar: Sobre viga del techo en estar-comedor
02	U10	9882289	2	Techo dorm: Techo del dormitorio con entrepiso
01	U10	9882297	3	Dorm 1: Sobre llave de luz en dormitorio 1
10	U10	9882300	4	Piso Estar: Bajo el asiento en el estar
11	U10	9769015	5	Dorm 2: Dormitorio con entrepiso, altura 1 m aprox
15	U12	2393868	6	Exterior: Sobre madera alero de entrada.



Figura 1. Ubicación del HOBO 05, sobre la viga de la cumbra a 2 cm del techo.



Figura 2. Ubicación del Hobo 02, sobre una viga en el dormitorio con entrepiso.



Figura 3. Ubicación del Hobo 01, sobre la pared interior a una altura de 1,20 m.



Figura 4. Ubicación del Hobo 10, bajo el asiento aprox. a 15 cm del piso.



Figura 5. Ubicación del Hobo 11, en el dormitorio 2, a 1,20 m de altura.



Figura 6. Ubicación del Hobo 15, sobre una viga, bajo el alero de la entrada.



Figura 7. Casa de quincha racionalizada, vista de la fachada oeste (Garzón, 2012).

Durante las mediciones, la temperatura exterior oscilaba entre un máximo de 20° a 24° C y un mínimo de 8° a 11° C, aunque en un día con bajas temperaturas y sin sol, la temperatura máxima solamente alcanzó 12°C. A fin de realizar un análisis del comportamiento térmico de la vivienda, se seleccionó una serie de 10 días con temperaturas similares y se obtuvo un valor promedio para cada periodo de 15 minutos.

La Tabla 4 y la Figura 8 presentan una síntesis de este resultado, con valores de la temperatura media exterior, que oscila entre 10° y 18° C (amplitud = 8 grados) durante el periodo de la medición. Las temperaturas a nivel del techo tienen un valor promedio de 16,4-16,8°, las temperaturas más altas registradas, con importante amplitud térmica, entre 6 a 8 grados. Las temperaturas interiores a nivel de los ocupantes presentan una variación diaria de temperatura entre 1 y 2 grados, mientras la temperatura media es de 15° a 16° C.

Tabla 4: Análisis de temperaturas promedio

Variable	Exterior alero	Dorm 3 altura=1m	Dorm 3 techo	Estar, Piso	Estar Techo	Dorm 1 Altura=1m
Temperatura máxima	17,9	16,4	19,8	15,9	21,2	17,0
Temperatura mínima	9,9	14,1	13,7	14,8	13,5	15,0
Temperatura promedio	13,1	15,3	16,4	15,4	16,8	16,1
Amplitud térmica	8,0	2,3	6,1	1,1	7,7	2,0

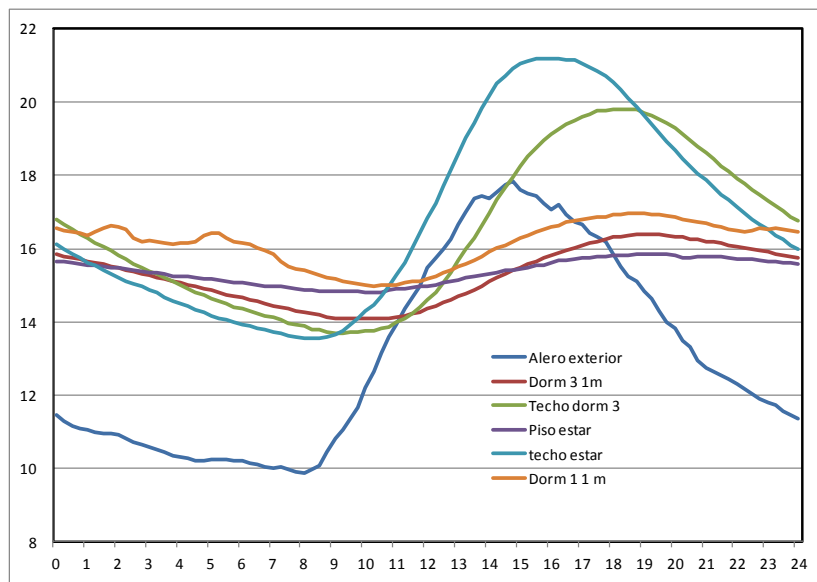


Figura 8. Temperatura en el interior de la vivienda, valor promedio cada 15 minutos.

A continuación se presenta un análisis de situaciones específicas:

- la diferencia entre un dormitorio ocupado y sin ocupar, y
- la variación de temperatura según altura en el estar, indicando el grado de estratificación en distintos sectores del espacio.

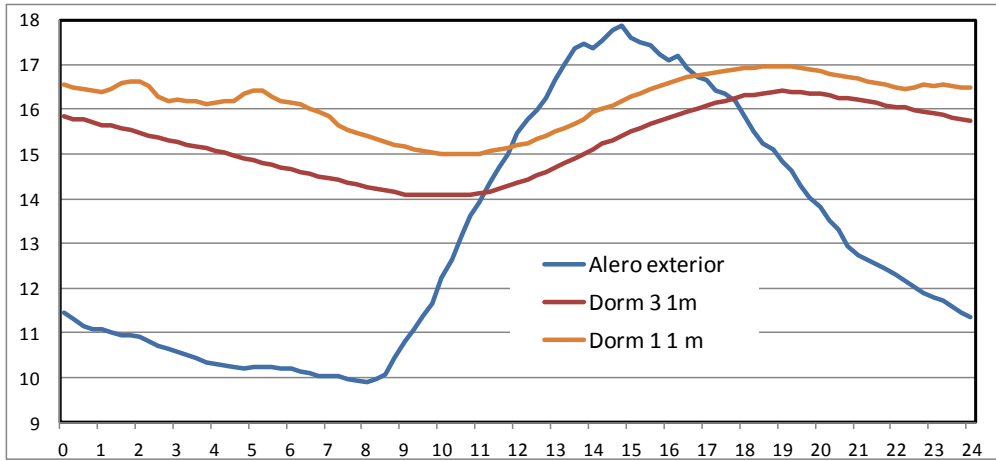


Figura 9. Mediciones en dormitorios 1 y 2, comparadas con la temperatura exterior.

El dormitorio ocupado (Dorm 1) es 1 a 2 grados más cálido que el dormitorio sin ocupar (Dorm 2), Figura 9. El grado de aislamiento que ofrece la casa permite aumentar la temperatura interior respecto a la temperatura exterior con una diferencia máxima de 8 grados a la mañana, aunque después del mediodía es más cálido en el exterior que en el interior. Con mejor aislamiento térmico se puede aumentar la temperatura interior unos grados más cerca de la zona de confort.

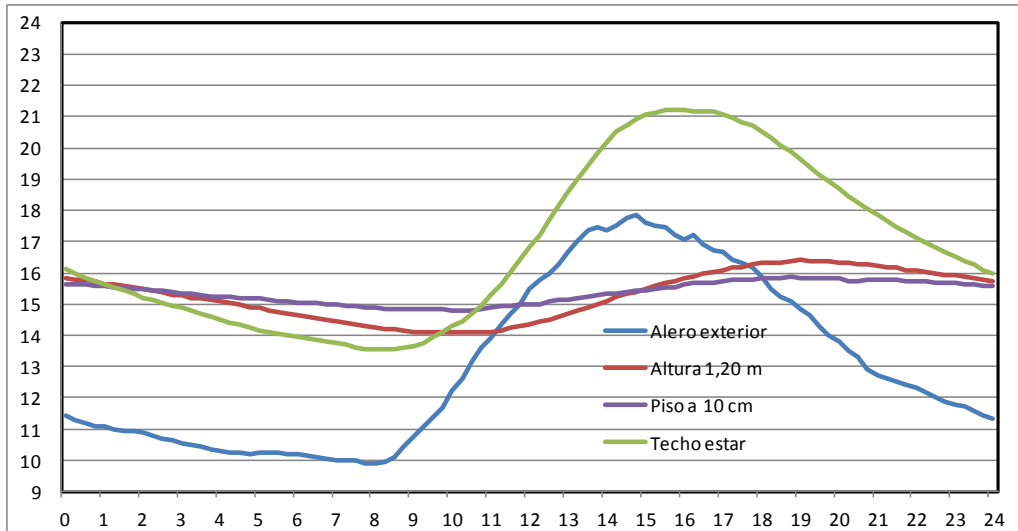


Figura 10. Variación de temperatura horaria, según altura, mediciones en el estar.

La temperatura en el techo alcanza su pico máximo a las 16 horas, 2 horas después del pico de temperatura exterior, y 4 horas después de la radiación solar máxima sobre el techo, siendo consistente con el retraso térmico de 3 horas estimado en la sección anterior. La temperatura del techo indica una importante transmisión de calor. Las temperaturas a nivel de los ocupantes oscilan entre 14° y 17°C, variación limitada pero con valores inferiores a los requeridos para confort en un estar donde se recomienda lograr una temperatura mínima de 18° C. Las mediciones cercanas al piso tienen menor variación, resultado de la importante inercia térmica del piso.

ANÁLISIS DE TEMPERATURAS INTERIORES

La Figura 11 presenta una síntesis de las mediciones realizadas, con el grafico que indica las temperaturas medias y la variación media de temperatura en cada punto. Se pueden comparar estas temperaturas con las combinaciones que ofrecen confort, según indica el triangulo con línea roja (Evans, 2007).

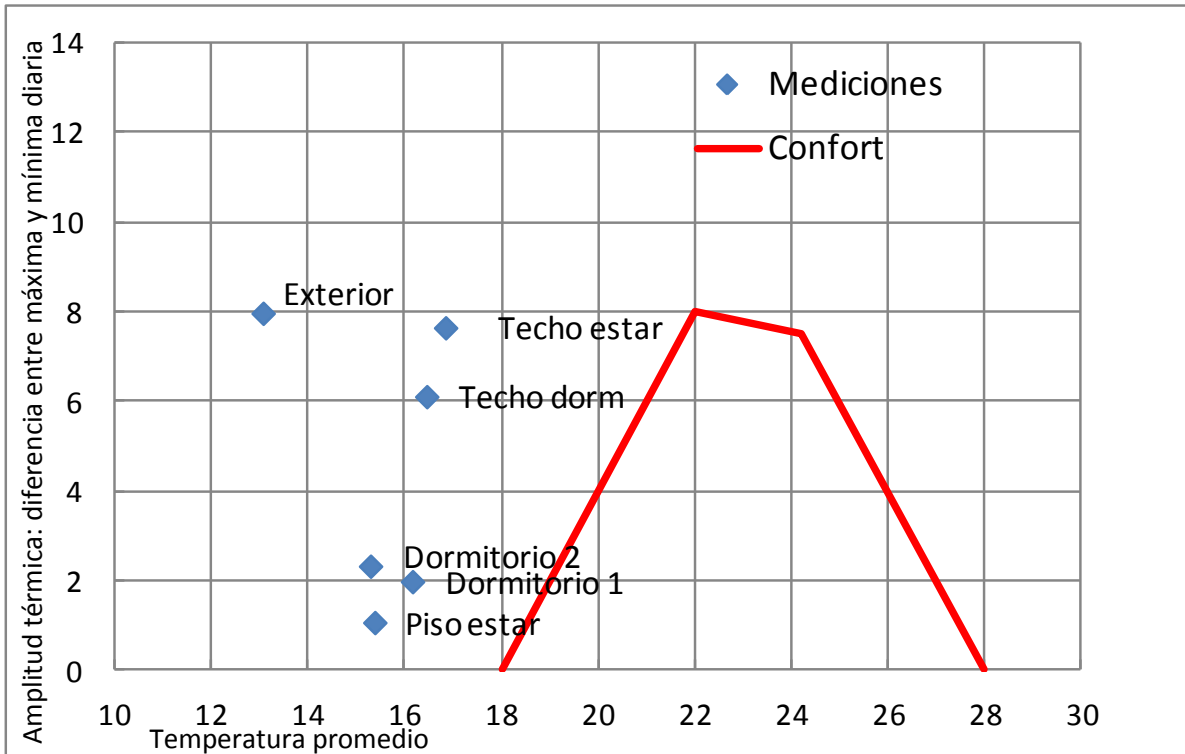


Figura 11. El Triángulo de Confort (Evans, 2007) con las mediciones registradas.

CONCLUSIONES

El proceso de acondicionamiento natural, registrado en la casa de quincha, logra un aumento de la temperatura interior de 3 a 4 grados, con limitadas ganancias internas y reducidas ganancias solares. Sin embargo, las temperaturas interiores de la vivienda de quincha son todavía inferiores a los niveles recomendados de confort, considerando un valor mínimo de 18° C para actividades sedentarias, y alrededor de 20° C promedio para condiciones de variaciones limitadas de temperatura. Por otro lado, es muy bueno el control de la variación diaria de temperatura, con valores entre 1 a 2 grados, demostrando que la construcción liviana de quincha es apta para lograr dicho control.

El mejoramiento de la conservación de calor y el control del ingreso de radiación solar a través del techo requeriría modificar las características aislantes adoptando las siguientes medidas:

- Colores claros en las terminaciones del techo
- Mayor espesor de la capa aislante del techo, 10 cm en vez de 5 cm
- Incorporación de una cámara de aire o material aislante en muros

Las simulaciones térmicas indican que estas medidas, complementadas con el control de las infiltraciones de aire, pueden reducir las pérdidas de calor en un 50 %, aumentando la temperatura interior promedio en 6 grados para alcanzar una temperatura media de 17° C, cercana al límite mínimo de confort. Con mayor captación de energía solar en ventanas orientadas al Este y Oeste se puede aumentar aún más la temperatura interior.

Este trabajo demuestra que las técnicas de evaluación de desempeño térmico y el método de análisis empleado contribuyen a identificar las mejoras necesarias a realizar en el diseño y el manejo de las características de los componentes constructivos. Los resultados indican además el potencial que presenta la quincha como material de construcción al modificar las condiciones térmicas interiores, similares o mejores a las construcciones convencionales. También sugiere que una mejora de sus características térmicas puede lograr condiciones interiores más cercanas a los niveles recomendados de confort, en pos del mejoramiento de las condiciones de habitabilidad con bajo impacto ambiental y demanda energética.

REFERENCIAS

- de Schiller, S. (2004) *Sustentabilidad en vivienda social. Desarrollo y aplicación de un método de evaluación* Actas, NUTAU, Universidade do Sao Paulo, Sao Paulo.
- de Schiller, S., Evans, J. M., Patrone, J. C., Compagnoni, A. M., Donzelli, L., (2007). *Auditorías bioclimáticas en vivienda de interés social*, en Goncalves y Camelo, Editores, Los Edificios en el Futuro, Estrategias Bioclimáticas y Sustentabilidad, Red Latinoamericana para el Uso de Energías Renovables y Diseño Bioclimático en Viviendas y Edificios de Interés Social (405RT0271), Programa CYTED 2007, pp 151-160, INETI, Lisboa. ISBN 978-972-676-209-6.
- Evans, J. M. (2004) *Construcción con tierra, un aporte a la habitabilidad*, 1er Seminario Construcción con tierra, FADU-UBA, Buenos Aires. ISSN 1669-8932.
- Evans, J. M. (2007), *Los Triángulos de Confort en el diagnóstico bioclimático de viviendas*, en Goncalves y Camelo, Editores, Los Edificios en el Futuro, Estrategias Bioclimáticas y Sustentabilidad, Red Latinoamericana para el Uso de Energías Renovables y Diseño Bioclimático en Viviendas y Edificios de Interés Social (405RT0271), Programa CYTED 2007, pp 161-172, INETI, Lisboa. ISBN 978-972-676-209-6.
- Garzón, L. (2012). *Casa prior: dos casos de construcción con tierra como material sostenible*, Construcción con tierra, CIHE-FADU-UBA, Buenos Aires. ISSN 1669-8932.
- Onset Computer Corporation (2012), Onset HOBO Data Loggers: Product Catalogue, Onset, Bourne MA.