

PROPUESTA DE CIELORRASO CONSTITUIDO POR AGLOMERADOS DE CASCARILLA DE ALGODÓN

Piccioni, J.¹, Muñoz, H.J.¹, Sanchez, A.², Grether, R. M.¹, Defagot, C. A.¹, Carrasco, M. F.¹

¹ Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda (CECOVI),
Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Santa Fe, Santa Fe, Argentina

²Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad Nacional del Litoral
(FADU-UNL), Santa Fe, Argentina

E-mail: julieta_piccioni@hotmail.com

RESUMEN

Se propone el empleo de elementos constructivos compuestos por residuos de desmote del algodón, aportando de manera innovadora, una solución viable a la problemática ambiental y a la reducida demanda laboral de este sector agroindustrial y al déficit habitacional existente en la región mediante nuevas tecnologías de reducido costo, rápida ejecución y adecuadas características de aislamiento térmico.

Sobre los aglomerados se evaluó densidad en estabilización (IRAM 9705), resistencia a compresión (IRAM 9541), resistencia a flexión (IRAM 9706) y conductividad térmica por el método de Less y Chorlton. A partir de estos últimos resultados se realizaron cálculos de transmitancia térmica de acuerdo a la norma IRAM 11601. Asimismo, se evaluó la compatibilidad de los aglomerados con diferentes revestimientos y el comportamiento de vinchucas (*Triatoma infestans*).

Se concluye que la incorporación de elementos elaborados con residuos de desmote de algodón permite mejorar el comportamiento de cerramientos horizontales en viviendas sin necesidad de recurrir a materiales de elevado costo.

ABSTRACT

It is proposed the use of building elements composed of cotton gin waste, providing an innovative way, a viable solution to the environmental problems and reduced job demand of the agro-industrial sector and housing shortage in the region through new technologies reduced cost, rapid implementation and appropriate thermal insulation characteristics.

*On the agglomerates there were determined dry density (IRAM 9705), compressive strength (IRAM 9541), flexural strength (IRAM 9706) and thermal conductivity by means of Less and Chorlton method. From these last results thermal transmittance calculations were performed according to IRAM 11601. It was also evaluated the compatibility of agglomerates with different coatings and the behavior of vinchucas (*Triatoma infestans*).*

It is concluded that the incorporation of agglomerates made from cotton gin waste improves the performance of horizontal enclosures in homes without having to resort to high cost materials.

INTRODUCCIÓN

La producción algodonera es una importante actividad productiva en Santa Fe, Chaco, Formosa, Santiago del Estero y Corrientes, con una fuerte concentración geográfica. En la última campaña, se alcanzó aprox. 1.000.000 t de algodón en bruto, dejando atrás 300.000 t (aprox. 1.195.000 m³) de residuos denominados "cascarilla" (30 %) constituidos por fibrilla, cárpelos, materias extrañas, etc., sin destino previsto. Debido al incremento de aplicación de la cosecha mecánica, que mejora la rentabilidad del cultivo, se produce mayor cantidad de residuo de desmote por tonelada de algodón en bruto cosechada.

En muchos casos se opta por calcinar esta cascarilla y, dado que muchas desmotadoras se encuentran en el radio urbano, originan serios problemas de polución, malestares y posibilidad de afecciones respiratorias^[1,2].

Simultáneamente, si bien el censo poblacional de 2001 indicaba un déficit de 200 mil viviendas en la provincia de Santa Fe, se sabe que estos números son mucho mayores en la realidad ya que debe sumarse la consideración de los asentamientos irregulares^[3]. En los departamentos Gral. Obligado, Vera y 9 de Julio entre el 40 y 60 % de los hogares estaban constituidos por casas precarias, casillas, ranchos^[4], donde el empleo de cerramientos exteriores de viviendas (muros y techos) deficientes en cuanto a su aislación térmica, redundan en falta de confort y consumo excesivo de energía, y en épocas invernales puede conducir a condensación superficial e intersticial, generando humedecimiento de la envolvente, propiciando el crecimiento de hongos y el desarrollo de afecciones crónicas (alérgicas y respiratorias).

En los resultados del censo 2010^[5] se indica que en Argentina existe un 26.8 % del total de las viviendas que no cuenta con cielorraso bajo cubiertas constituidas por con cubierta asfáltica, baldosa o losa, pizarra o teja, chapa de metal, chapa de fibrocemento, chapa de cartón, caña, tabla o paja con barro o paja sola. No obstante, en la región de producción algodonera se puede apreciar que estos porcentajes se elevan hasta el 32.0 % para la provincia de Santa Fe, 39.8 % para la provincia de Chaco, 43.6 % para la provincia de Formosa y 47.3 % para la provincia de Santiago del Estero^[5].

Estas situaciones difieren de las recomendaciones para la construcción de viviendas que indican la necesidad de emplear materiales aislantes que reduzcan la transmisión de calor a través de las cubiertas livianas, así como la posibilidad de condensación superficial. Entre otros materiales, se emplean habitualmente aislantes tales como lana de vidrio, poliestireno expandido, espuma de polietileno y poliuretano expandido, todos ellos materiales de elevado costo y cuyas materias primas deben ser importadas desde otros países.

Debe considerarse además la ocurrencia de la enfermedad de Chagas, también llamada tripanosomiasis americana, y que se debe a la infección por el parásito *Trypanosoma cruzi*. Según las estimaciones más recientes, en todo el mundo hay unos 8 millones de personas infectadas por el parásito y en 2008 se registraron 11000 defunciones. Los triatominos viven en viviendas deficientes desde el sur de la Argentina hasta el sur de los Estados Unidos de América, y encuentran un hábitat favorable en grietas de las paredes y techos de casas de construcción deficiente en las zonas rurales y en los barrios de tugurios de la periferia de las ciudades^[6]. Dado que la zona de producción de algodón se encuentra comprendida en la zona de alto y mediano riesgo de afectación por Mal de Chagas, tal como se indica en la figura 1

[7], la inclusión en las viviendas de una estructura de cielorraso se constituiría en una barrera mecánica para prevenir el ataque por la vinchuca y por otra parte, contribuiría a la limpieza de la vivienda.

En este escenario, la posibilidad de desarrollar elementos constructivos innovadores mediante la utilización de residuos de desmote del algodón, permitiría atacar, simultáneamente, la problemática ambiental de este sector agroindustrial y la necesidad de responder con nuevas tecnologías de reducido costo y rápida ejecución al déficit habitacional existente en la región.

La aplicación de tecnologías sencillas para la producción de aglomerados generaría puestos de trabajo con reducida demanda de calificación, ampliando la demanda laboral del sector desmotador, que sólo realiza actividades intensivas durante unos 100 días al año, y contribuiría a mejorar el comportamiento higrotérmico de las viviendas en esta región del país.

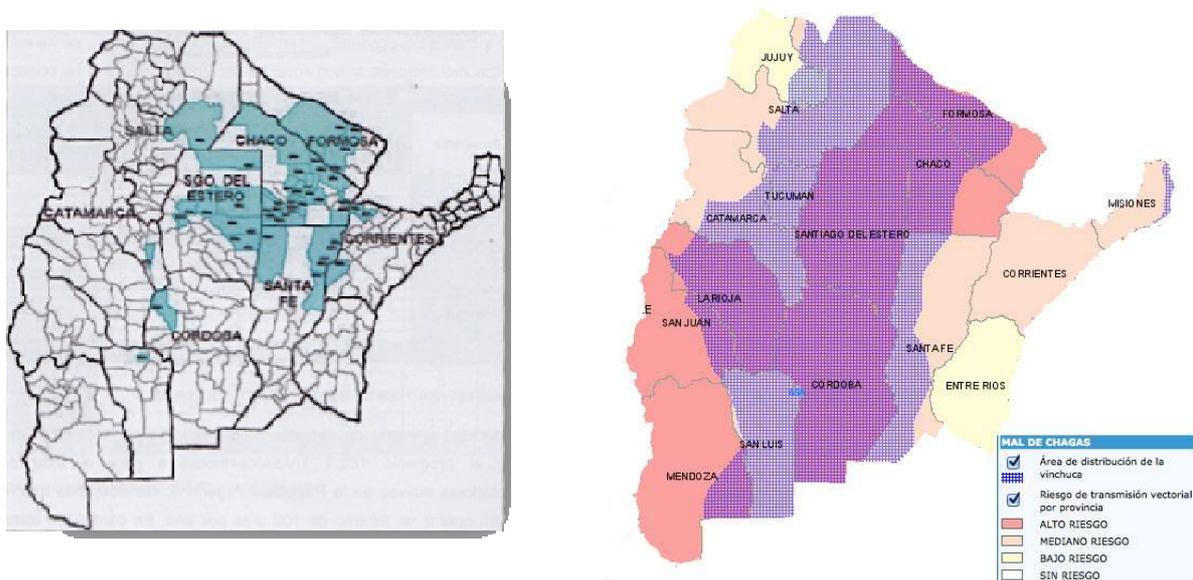


Figura 1: a) Zona de producción aldononera en argentina, b) zona de distribución de vinchuca y de riesgo de transmisión de mal de chagas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales utilizados fueron residuos del proceso de desmote del algodón (cascarilla) (Fig. 2) y cemento portland normal (IRAM 50000:2010), con categoría resistente CP40. Adicionalmente, se empleó para el moldeo de los aglomerados, cloruro de calcio de calidad industrial como aditivo acelerante de los procesos de hidratación (CaCl_2).

Para evaluar las propiedades de los aglomerados se adoptó para el análisis un diseño de experimentos central compuesto centrado [8] (Fig. 3), en el cual las variables principales son la presión de moldeo y la razón cemento/agua.

Para los aglomerados obtenidos, las propiedades evaluadas fueron densidad en estabilización (IRAM 9705), resistencia a compresión (IRAM 9541) y la resistencia a flexión (IRAM 9706). Se determinó la conductividad térmica a partir del método de Less y Chorlton.

Se realizaron cálculos de transmitancia térmica, de acuerdo a la norma IRAM 11601, para diferentes estructuras de cubiertas livianas a fin de comparar la capacidad de aislamiento térmico, para condición de invierno (en la cual el flujo de calor es ascendente) y para condición de verano (en la cual el flujo de calor es descendente). Las estructuras de cubierta consideradas en el análisis son: techo de chapa galvanizada trapezoidal tipo T-98, montada sobre tirantería de madera, en el caso a) no se considera la aplicación de aislación o cielorraso alguno (Fig. 4); en el caso b) se considera la incorporación de un cielorraso de madera machiembreada de 25 mm de espesor, fieltro asfáltico impermeabilizante, bota-aguas, aislación térmica constituida por fieltro de lana de vidrio de 30 mm de espesor (Fig. 5); en el caso c) se considera la incorporación de un cielorraso de madera machiembreada de 25 mm de espesor, fieltro asfáltico impermeabilizante, bota-aguas, aislación térmica constituida por poliuretano expandido proyectado de 30 mm de espesor (Fig. 6) y en el caso d) se considera la incorporación de un cielorraso constituido por placas de aglomerado de cascarilla de 50 mm de espesor atornilladas a los tirantes de madera tratadas en su superficie superior con una pintura impermeabilizante y en la superficie inferior mediante la aplicación de un enlucido de yeso de aproximadamente 5 mm de espesor (Fig. 7).



Figura 2. Residuo del desmote del algodón (cascarilla)

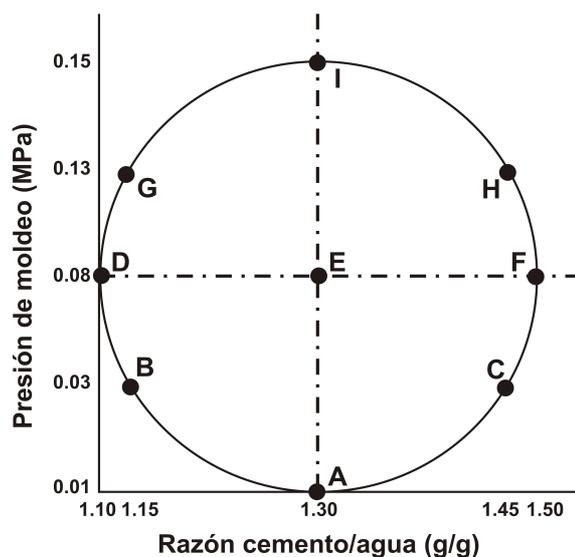


Figura 3. Diseño de experimentos para el análisis de propiedades

La evaluación de la compatibilidad de los aglomerados con aplicación de diferentes revestimientos y el comportamiento de vinchucas (*Triatoma infestans*) se realizó en el Laboratorio del Centro de Referencia de Vectores, Coordinación Nacional de Control de Vectores ubicado en Santa María de Punilla (Córdoba) [9]. Para ello, se armaron refugios con 8 bloques de 5 x 3 x 2 cm de aglomerado de cascarilla sin revestimiento, aglomerado de cascarilla con revestimiento (Fig. 8) y otros materiales de comparación (adobe, ladrillo, cemento y madera de pino pulida, que fueron colocados equidistantes en un círculo de chapa galvanizada (Fig. 9) cubierto posteriormente con un voile.

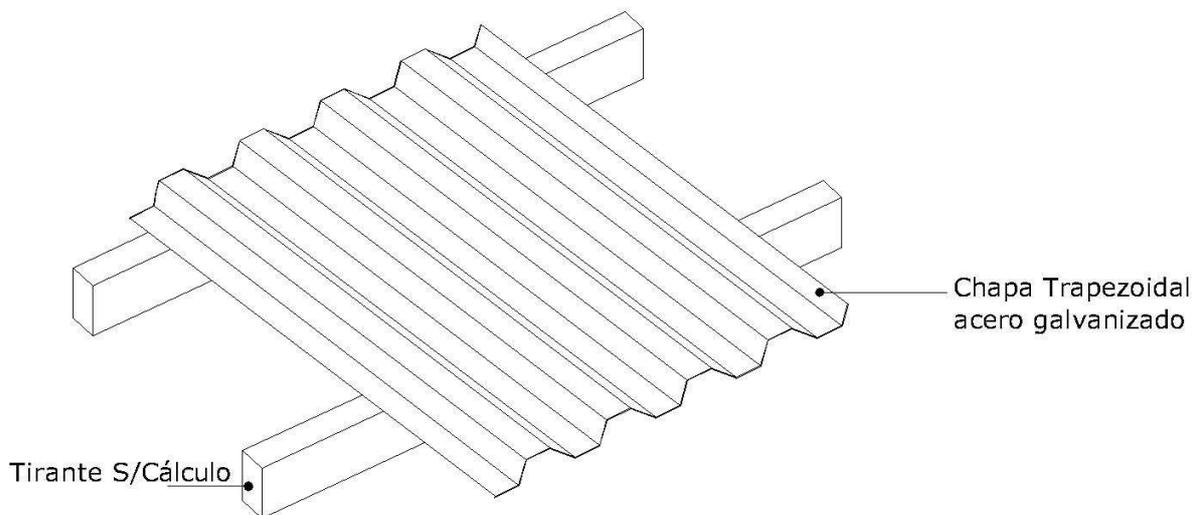


Figura 4: Cubierta de chapa galvanizada trapezoidal tipo T-98, montada sobre tirantería de madera sin aplicación de aislamiento o cielorraso alguno.

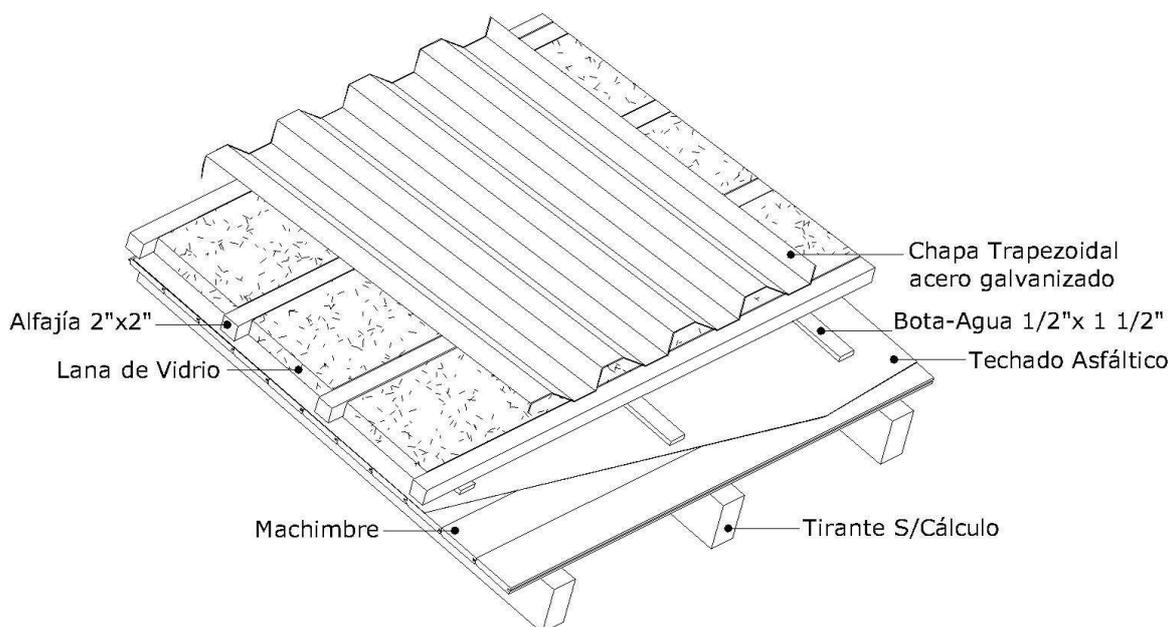


Figura 5: Cubierta de chapa galvanizada trapezoidal tipo T-98, montada sobre tirantería de madera con cielorraso de madera machiembreada de 25 mm de espesor, fieltro asfáltico impermeabilizante, bota-aguas, aislamiento térmico constituida por fieltro de lana de vidrio de 30 mm de espesor.

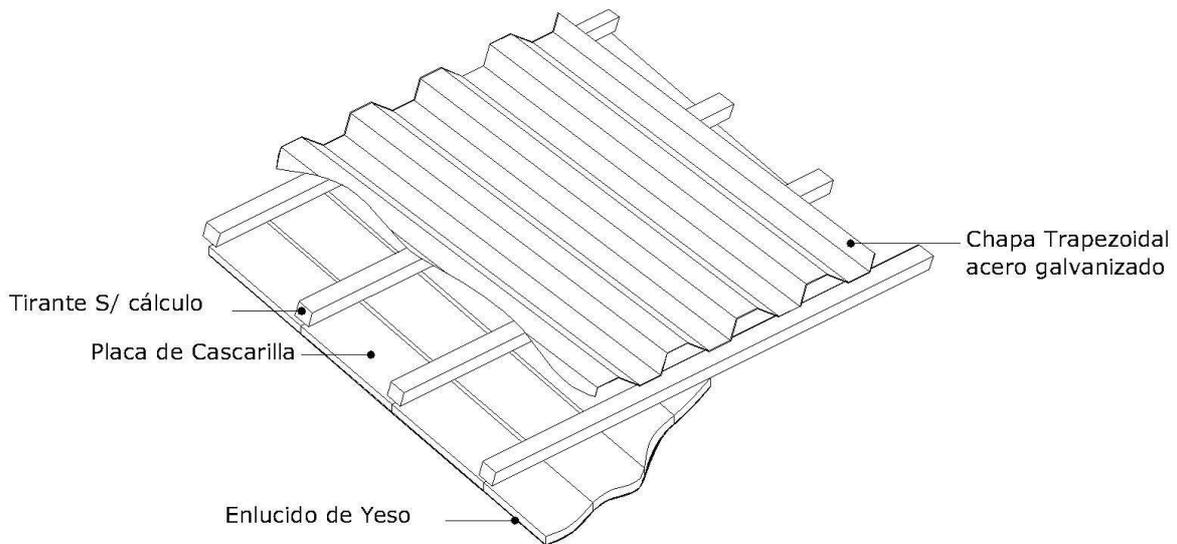


Figura 6. Cubierta de chapa galvanizada trapezoidal tipo T-98, montada sobre tirantería de madera con cielorraso de madera machiembreada de 25 mm de espesor, fieltro asfáltico impermeabilizante, bota-aguas, aislamiento térmico constituido por poliuretano expandido proyectado de 30 mm de espesor.

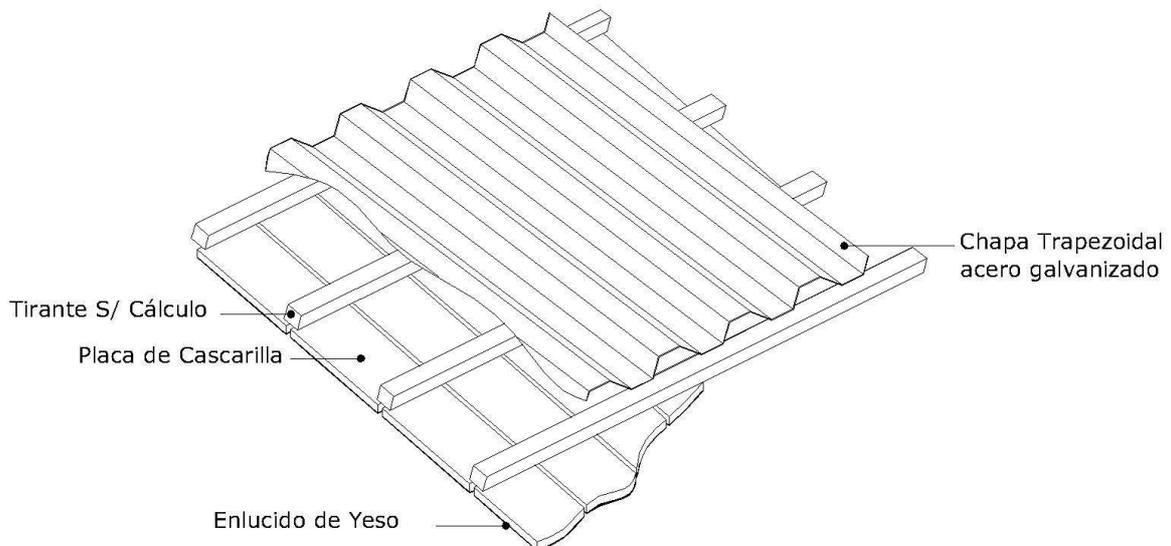


Figura 7. Cubierta de chapa galvanizada trapezoidal tipo T-98, montada sobre tirantería de madera con cielorraso constituido por placas de aglomerado de cascarilla de 50 mm de espesor atornilladas a los tirantes de madera tratadas en su superficie superior con una pintura impermeabilizante y en la superficie inferior mediante la aplicación de un enlucido de yeso de aproximadamente 5 mm de espesor.

Se trabajó con 60 individuos de *Triatoma infestans* sin alimentar: 20 ninfas de cuarto estadio, 20 ninfas de quinto estadio, 20 adultos (10 hembras y 10 machos). Se realizaron 5 réplicas cada una, de una duración de 48 hs. En cada réplica se censaron cada uno de los refugios.

Se realizó una experiencia paralela para observar el comportamiento de ninfas de primer a tercer estadio y hembras en condición de ovoposición. Para ello se armaron refugios de cascarilla de algodón sin revestimiento dentro de cubículos de acrílico de 30 cm x 30 cm y 10 cm de altura, en el que se liberaron 30 ninfas 1º a 3º estadio y 10 adultos hembras, las que se mantuvieron en observación durante 48 hs.



Figura 8. Bloques de aglomerado de cascarilla con revestimiento



Figura 9. Arena de experimentación: cilindro de chapa galvanizada de 1,57 m de diámetro y 0,4 m de alto con la base sellada con barro

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo al diseño de experimentos propuesto, se moldearon paneles de cascarilla de algodón aglomerada con cemento, utilizando razones cemento/agua variables entre 1.1 y 1.5 y presiones de moldeo variables entre 0.01 y 0.15 MPa. En todos los casos, se utilizó una razón agua/cascarilla en peso de 1.3 y un contenido de CaCl_2 de 1 % en peso de cemento, sin preparación previa del residuo para su aglomeración.

A partir de la evaluación de la compatibilidad de los aglomerados con aplicación de diferentes revestimientos y el comportamiento de vinchucas (*Triatoma infestans*) que se realizó en el Laboratorio del Centro de Referencia de Vectores en Santa María de Punilla (Córdoba) ^[9] se concluye que en los refugios de adobe, ladrillo y bloque de hormigón se encontraron mayores porcentajes de Triatominos (26,9 %, 24,48 % y 21,42 % respectivamente). Sin embargo, a pesar de que en los refugios de aglomerado de cascarilla de algodón sin revestimiento y con revestimiento se encontró un porcentaje menor (14,28 % y 9,86 % respectivamente), quedó demostrado que éstos no tendrían efecto de repelencia ni de atracción hacia los insectos. En madera, el porcentaje fue 3,06%, lo que indicaría que este tipo de madera (pino pulido) no constituye un refugio ideal para los Triatominos.

A partir de la experiencia para observar el comportamiento de ninfas de primer a tercer estadio y hembras en condición de ovoposición, se observó que los huevos y las ninfas de primer a tercer estadio se refugian en los huecos del aglomerado de cascarilla de algodón sin revestimiento.

En lo que respecta a las propiedades físicas y mecánicas, se muestran los resultados obtenidos en las figuras 10 a 13. En la figura 10, se muestran las curvas de nivel obtenidas para la densidad en estabilización, alcanzada para un período variable entre los 21 y 28 días de almacenamiento. La densidad final de los aglomerados obtenidos resulta similar a la correspondiente a los aglomerados de partículas de madera tradicionales.

En lo que respecta a la resistencia mecánica de los paneles, en las figuras 11 y 12, se muestran las superficies de respuesta correspondientes a la determinación de resistencia a flexión simple y a compresión paralela al sentido de moldeo. Para los dosajes a los que corresponden los menores niveles de presión de moldeo y de razón c/a , no fue posible obtener resultados de resistencia mecánica, dado que la adhesión entre las partículas no resultó suficiente para soportar los esfuerzos debidos al corte de las muestras. Los valores obtenidos resultan reducidos si se los compara con paneles de lana de madera aglomerada con cemento, si bien los valores informados varían entre límites muy amplios^[10-11].

En ensayos de conductividad térmica se obtuvieron valores cercanos a $0.2 \text{ W/m } ^\circ\text{K}$, lo cual se considera un valor bajo de conductividad y establece buenas posibilidades de aislamiento. En la figura 13 se muestran las curvas de nivel correspondientes a esta propiedad.

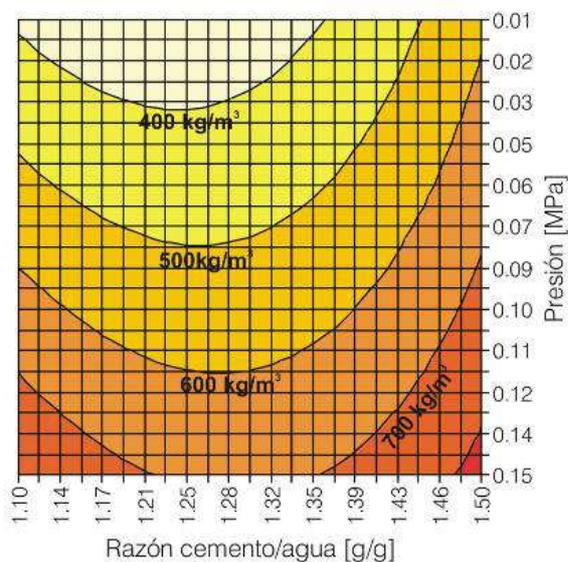


Figura 10. Densidad en estabilización

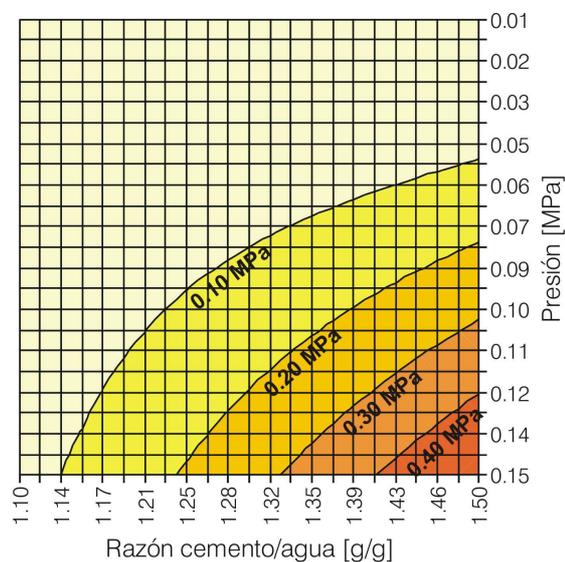


Figura 11. Resistencia a flexión simple

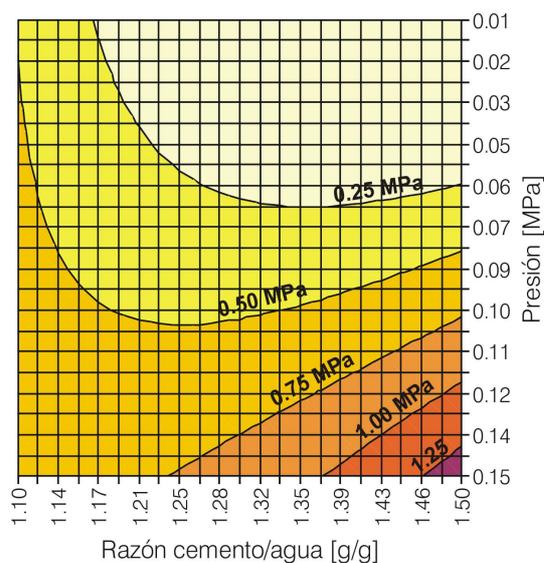


Figura 12. Resistencia a compresión paralela al sentido de moldeo

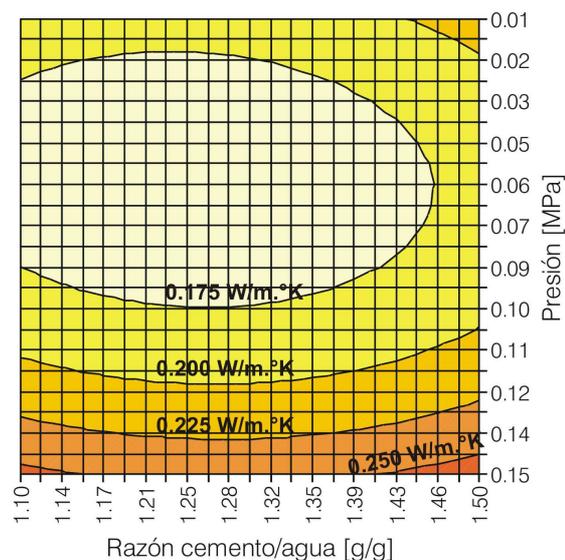


Figura 13. Coeficiente de conductividad térmica

En función de estos resultados se plantea la posibilidad de construir elementos aislantes para cubiertas utilizando bloques de aglomerados de residuo de desmote, en forma de cielorraso de placas aislantes revocadas debajo de las chapas de acero galvanizado. Para evaluar las prestaciones de estos elementos se efectúan comparaciones con cubiertas que no cuentan con aislación térmica y con otras que incorporan aislantes tradicionales (Fig. 4 a 7) a partir de cálculos realizados según la norma IRAM 11601. Estos cálculos están establecidos por los entes de control como indispensables para verificar las condiciones necesarias que tiene que cumplir una vivienda para alcanzar el acondicionamiento higrotérmico apropiado. Para este análisis, la norma IRAM 11605 fija 3 condiciones de confort "A – Recomendado", "B – Medio" y "C – Mínimo", para las cuales corresponden transmitancias térmicas máximas admisibles para cada zona bioambiental.

En estos cálculos, debe considerarse la zona bioambiental correspondiente al emplazamiento de la estructura. De acuerdo a la norma IRAM 11603 la región algodonera se encuentra alcanzada principalmente por las zonas bioambientales "Ia" y "Ib", definidas como muy cálidas. Estas zonas se extienden en el centro este del extremo norte del país, un una entrada al sud-oeste en las zonas bajas de Catamarca y La Rioja, con temperaturas máximas superiores a 34 °C en la época caliente y valores medios superiores a 26 °C. El período invernal es poco significativo, con temperaturas medias durante el mes más frío superiores a los 12 °C.

En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos de transmitancia térmica para las estructuras y materiales considerados y se comparan con los requisitos establecidos por los entes de control y la normativa para las zonas bioambientales Ia y Ib.

Tabla 1- Transmitancias térmicas calculadas ($W/m^2 K$)

| Tipo de cerramiento | Estructura | Transmitancia máx. calculada | Cumple Nivel C? | |
|-----------------------------------|---|----------------------------------|-----------------|---------|
| | | | Invierno | Verano |
| Cerramiento horizontal (cubierta) | Cubierta de chapa sin aislación | 7.14 (invierno) 4.76 (verano) | NO (***) | NO (++) |
| | Cubierta de chapa con aislación de lana de vidrio (30 mm) | 0.82 (invierno) 0.78 (verano) | SI (***) | NO (++) |
| | Cubierta de chapa con aislación poliuretano 30 mm | 0.55 (invierno) 0.53 (verano) | SI (***) | SI (++) |
| | Cubierta de chapa con placa cascarilla (50 mm) revocada | 1.43 (invierno) 0.92 (verano) | NO (***) | NO (++) |

(***) Límite 1.00 ($W/m^2 K$) (++) Límite 0.72 ($W/m^2 K$)

CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos, hasta el presente estado de avance de la investigación, se puede concluir que:

- Es posible conformar elementos constructivos a partir de la aglomeración del residuo del desmote de algodón con el cemento portland, con propiedades físicas y tecnológicas adecuadas, empleando una tecnología sencilla.
- Frente a otros materiales de construcción (adobe, ladrillo y bloque de hormigón), los refugios de aglomerado de cascarilla de algodón con y sin revestimiento son elegidos en menor proporción por las vinchucas, no obstante, dado que los insectos pueden utilizar los huecos del aglomerado para colocar huevos y mantener ninfas, el material deberá utilizarse revestido.
- La incorporación de elementos elaborados con residuos de desmote de algodón permite mejorar el comportamiento de cerramientos horizontales en viviendas sin necesidad de recurrir a materiales de elevado costo. La solución tecnológica propuesta resulta de baja complejidad y reducido costo de producción e instalación, y por lo tanto, adecuada para su aplicación en viviendas económicas. Aplicando estos materiales se alcanza una reducción en la transmitancia térmica del 80 % con respecto a cubiertas sin aislación.
- El empleo de residuos de desmote en la producción de elementos constructivos contribuye a paliar la problemática ambiental de este sector agroindustrial y el déficit habitacional de esta región, a la vez que genera alternativas laborales para la población del noreste argentino.

AGRADECIMIENTOS

La concreción de este trabajo fue posible gracias a la colaboración de la desmotadora de algodón ACRIBA S.A. de Villa Minetti (Santa Fe – Argentina) y al financiamiento de la Secretaría de Estado de Ciencia, Tecnología e Innovación (SECTEI) de la Provincia de Santa Fe.

Se agradece la colaboración de los Sres. Patricia A. Lobbia, Raúl Stariolo, Delmi Canale y Javier Sosa pertenecientes al Centro de Referencia de Vectores, Coordinación Nacional de Vectores de Santa María de Punilla (Córdoba) por la realización del estudio de compatibilidad de los aglomerados con aplicación de diferentes revestimientos y el comportamiento de vinchucas (*Triatoma infestans*).

Referencias

[1] “Emisiones de dioxinas y furanos por quema incontrolada de biomasa” disponible Online en: <http://www.chem.unep.ch/POPs/pdf/cpf/Informe%20Biomasa.pdf> (acceso: 03-03-2012).

[2] “Sin humo en la planta algodonera.” Diario El Liberal. Publicado 25-06-2009.

[3] Diario UNO. Publicado 26-04-2006.

[4] “Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda 2001” disponible Online en: <http://www.santafe.gov.ar/index.php/web/content/view/full/22838> (acceso: 03-03-2012).

[5] “Cuadro V3. Total de país. Viviendas particulares por material predominante de los pisos, según material predominante de la cubierta exterior del techo y presencia de cielorraso. Año 2010” disponible Online en: http://www.censo2010.indec.gov.ar/resultadosdefinitivos_totalpais.asp (acceso: 26-03-13).

[6] “62ª ASAMBLEA MUNDIAL DE LA SALUD A62/17 Punto 12.12 del orden del día provisional 20 de marzo de 2009” disponible Online en: https://www.google.com.ar/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&cad=rja&ved=0C GYQFjAG&url=http%3A%2F%2Fnew.paho.org%2Fhq%2Findex.php%3Foption%3Dcom_doman%26task%3Ddoc_download%26gid%3D15377%26Itemid%3D&ei=W1JPUeu7Gly88wSBmlC4Bg&usq=AFQjCNFM8FMwISeQZ3H8oqKD7IgKfM8G3g&bvm=bv.44158598,d.eWU (acceso: 22-03-2013)

[7] “Mal de chagas” riesgo de transmisión vectorial” disponible Online en: <http://www.mapaeducativo.edu.ar/mapserver/aen/socioterritorial/chagas/index.php> (acceso: 22-03-2013)

[8] Montgomery, D. C.; Runger, G. C., “Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería”, Mc Graw Hill, 1996, p. 787.

[9] “ANÁLISIS DE LA PREFERENCIA DE REFUGIOS DE DIFERENTES MATERIALES POR *Triatoma infestans*” La experiencia se llevó a cabo en el Laboratorio del Centro de Referencia de Vectores, Coordinación Nacional de Control de Vectores, Santa María de Punilla, Córdoba. Trabajo realizado por Patricia A. Lobbia, Raúl Stariolo y Delmi Canale. Fotos y videos Javier Sosa. Centro de Referencia de Vectores, Coordinación Nacional de Vectores, Santa María de Punilla, Córdoba. Diciembre 2012.

[10] Van Elten, G. J., "Production of wood wool cement board and wood strand cement board (Eltoboard) on one plant and applications of the products", 10th Int. Inorganic-Bonded Fiber Composites Conference (2006), p. 1-11.

[11] Frybort, S.; Mauritz, R.; Teischinger, A.; Müller, U., "Cement bonded composites – a mechanical review"; BioResources Vol. 3, N° 2 (2008): pp. 602-626.