

Uso de subproductos agrícolas en la obtención de materiales aislantes: determinación de la conductividad térmica

Perales-Alcacio J.L.A^a.; Vilchiz-Bravo, L.E^b.; Magaña-Zaldivar, J.B^a.

^aIngeniería en Energías Renovables. Instituto Tecnológico Superior de Motul

^bFacultad de Ingeniería Química. Universidad Autónoma de Yucatán

adrian.perales@itsmotul.edu.mx

Recibido: 10 de noviembre de 2018

Autorizado: 5 de diciembre de 2018

RESUMEN

El efecto que causa el uso indiscriminado de recursos materiales sobre el medio ambiente es incuestionable. Algunas regiones del estado de Yucatán cuya principal actividad económica es la agricultura, de ahí se generan productos secundarios que se consideran como desechos, tal es el caso de las fibras y el bagazo de distintas especies vegetales. Bajo este esquema, en este trabajo se presenta una revisión de la aplicación de este tipo de materiales y el potencial que tiene el desarrollo de un nuevo material aislante elaborado con desechos agrícolas de la región. La caracterización que se propone de estos materiales es la determinación de su conductividad térmica (k), siendo éste un aspecto fundamental de la batería de caracterización básica que se realiza a los mismos. Básicamente, se recolecta el desecho agrícola *in situ* para mediante mezclado mecánico y moldeado, obtener un material aislante de dimensiones que se adaptan al dispositivo de medición de flujo de calor. Se hicieron pruebas preliminares para determinar la conductividad térmica del material desarrollado tomando de referencia la k de la madera y del poliuretano, (0.026 y 0.1514 W/m °C). Lo anterior resulto en dos materiales de formulación diferente con baja conductividad térmica con respecto a los aislantes de referencia. El enfoque de fabricación de nuevos materiales ecológicos trae consigo un impacto positivo en dos vertientes; por un lado la reutilización de desechos vegetales y por el otro, se pretende ofrecer una opción de generación valor agregado para algunos procesos agrícolas que son parte importante de la economía de la región.

Palabras clave: Materiales ecológicos, sub-producto agrícolas, conductividad térmica.

ABSTRACT

It is well known that indiscriminate use of material resources cause some damages over environment. Some communities of Yucatán State whose principal economic activity is focused in the agriculture, generating byproducts that are considered as waste, for example bagasse and fibers from several vegetable species. In this sense, the present work is an attempt to show some applications of this kind of materials and its potential in the improvement as thermal insulating material made from regional agricultural residues. Fundamentally thermal conductivity (k) determination of at least two experimental materials is the main purpose. To summarize obtaining process agricultural by product is collected *in situ* and then by means of mechanical stirring mixing and following moulding process is obtained an insulating material with making sure that its dimensions be suitable to heat flow measuring device. Preliminary tests was made to determinate k in experimental material obtained take in account conventional synthetic insulating materials as polyurethane and pine wood with k of 0.026 and 0.1514 W/m °C, respectively. The latter lead to achieve two materials with low thermal conductivity regarding model synthetic materials, both possess different by product mass proportion. Perspective in the obtention of new "green" insulating materials allows undergo two fundamental

aspects, by one hand reuse of vegetal waste and for another hand, reactivate regional economy through standing out added value to agricultural process in accordance with community progress.

Key words: Ecological materiales, agricultural waste, termal conductivity.

1. INTRODUCCIÓN

No se entendería el desarrollo tecnológico, industrial y económico durante el siglo XX y el presente, sin ligarlo a la utilización de energía proveniente principalmente de recursos fósiles. Por otro lado, el uso de dichas fuentes de energía trae consigo el deterioro del medio ambiente, ya sea en el subsuelo, los mantos acuíferos, y el aire que respiramos (Abas et al., 2015) (Al-Mulali et al., 2015) (Asdrubali et al., 2015). Muchos de los productos que se utilizan para facilitar la vida del ser humano llevan consigo esa huella energética que implica las desventajas ya planteadas en cuanto al uso de combustibles fósiles, entre ellos los materiales aislantes sintéticos más comunes como el poliuretano (PUR) y el poliestireno expandido (EPS) (Bribián et al., 2011) (Asdrubali et al., 2015). Los procesos que experimentan transferencia de calor utilizan diversos materiales que de acuerdo a sus propiedades fisicoquímicas se clasifican como conductores, semiconductores y aislantes de acuerdo a sus propiedades térmicas, en el sentido de si son buenos o malos conductores de calor siendo el parámetro fundamental conductividad térmica (k). En particular, los materiales para aislamiento térmico se aplican principalmente en sistemas en los que se requiere minimizar las pérdidas de calor, para ello se utilizan materiales de baja k de acuerdo al principio de transferencia de calor por conducción que rige la ley de Fourier.

Tomar en cuenta la clasificación de los materiales aislantes es importante, ya que la selección de los mismos depende de varios factores como las legislaciones locales de cada país así como el costo del material, el cual está supeditado a su disponibilidad e inmediatez para adquirirlo ya que en países en vías de desarrollo la mayoría de los aislantes son importados, lo cual eleva considerablemente su costo, entre otras desventajas (Papadopoulos et al., 2005). Los materiales aislantes se pueden clasificar de acuerdo a algunas de sus propiedades, por ejemplo; el *aislamiento reflectivo* se relaciona con superficies de baja emisividad que pueden reflejar la radiación proveniente del sol; la *masa de aislamiento* se refiere al espesor del aislamiento utilizado, ya que el espesor de éste es inversamente proporcional a la tasa de transferencia de calor (Aditya et al., 2017) tomando en cuenta la Ley de Fourier de la transferencia de calor por conducción (Incropera); aunque también la densidad del material se correlaciona con el desempeño del material como aislante térmico. En este sentido, la clasificación fundamental de los materiales aislantes es la que se enfoca a su composición de acuerdo la estructuras química y física que poseen, entendiéndose que a partir de ello es como se puede establecer el que un material sea considerado conductor o aislante térmico, lo cual se puede observar en la figura 1 (Papadopoulos et al., 2005) (Aditya et al., 2017). Sin embargo, hasta la fecha de esa importante aportación, no se consideraban la diversidad subproductos forestales o agrícolas disponibles y que eran inutilizados, ni los materiales compuestos que se han desarrollado hasta el presente con polímeros sintéticos como fase continua y residuos como fibras vegetales o bagazo como refuerzo o fase dispersa, y enfatizar la importancia económica que representa integrar dichos recursos orgánicos residuales en algún proceso productivo, en este caso los materiales aislantes.

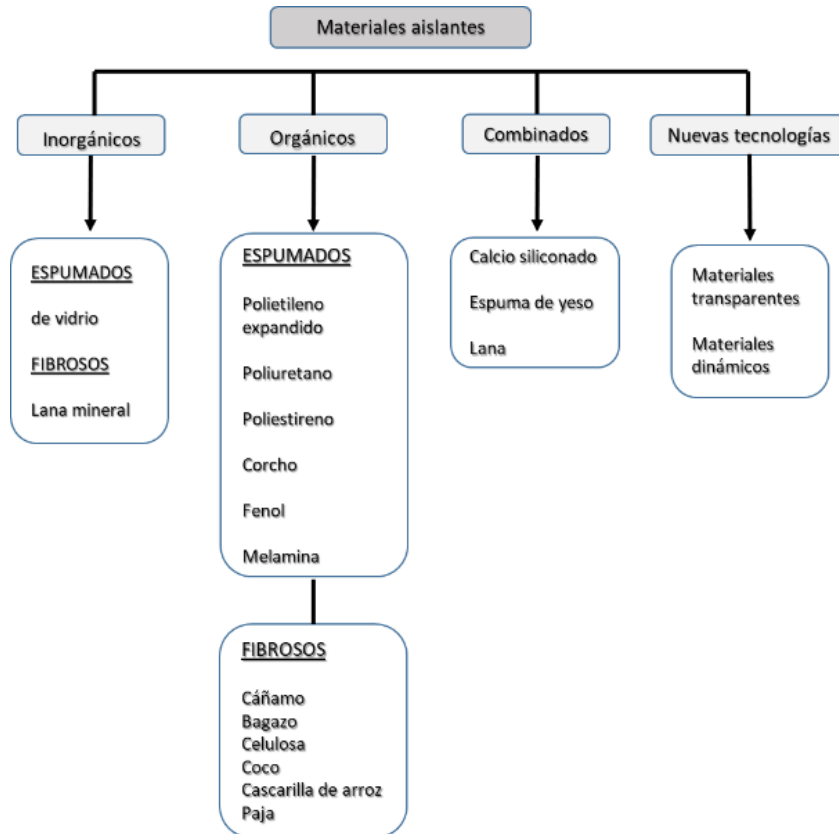


Figura. 1 Clasificación de los materiales aislantes más comunes (Papadopoulos, 2006)

Las desventajas de la utilización de materiales sintéticos cuya extracción o procesamiento implica un elevado gasto de energía, descritas anteriormente, conduce a la necesidad de proponer nuevas alternativas de la llamada “construcción verde” (Green building) ha volteado el enfoque del desarrollo de materiales aislantes al uso de materiales provenientes de recursos renovables que tienen la ventaja de proporcionar ligereza a los materiales y aprovechar su característica de biodegradable para diseñar materiales compuestos aplicados a una nueva generación de sistemas de aislamiento térmico (Korjenic et al., 2011) (Binici et al., 2014) (Panyakaew., 2017). Para lograr lo anterior, una alternativa es el empleo de la biomasa proveniente de residuos de las actividades agrícolas, los cuales son fuentes biológicas renovables que pueden ser considerados como materia prima para la obtención de materiales o biocombustibles (Cardoen et al., 2015). Por definición, un residuo es una sustancia u objeto que no tiene valor a largo plazo y debe ser desechado eventualmente, mientras que un subproducto se considera como la sustancia u objeto que resulta de un proceso de producción y que no el resultado principal del mismo; por lo tanto la biomasa es un residuo vegetal que proviene de la cosecha o procesamiento de fuentes agrícolas o forestales y puede ser utilizado sin perder de vista que debe cumplir con ciertas funciones dentro del nuevo material; debe ser ligero para disminuir la densidad, debido a que ésta se ha relacionado inversamente con la variación de k de los materiales (Väisänen et al., 2016).

Bioeconomía

El proceso en el cual se emplean desechos o subproductos de fuentes renovables para la obtención de productos de valor agregado se conoce como Bioeconomía (Fuentes et al., 2017). Esta rama de la economía que se relaciona con sectores como el académico o el legislativo debido a su relación con el manejo integral de residuos, políticas regionales ambientales e industriales, que conllevan a la obtención, procesamiento y reutilización de recursos forestales y agrícolas, entre otros; además, la Bioeconomía está considerada como el aspecto socioeconómico que limita el empleo de recursos naturales sin provocar un efecto adverso en los ecosistemas asegurando la sustentabilidad de este marco productivo (Vargas et al., 2017) (Fuentes et al., 2017). Se consideran productos de la bioeconomía a los bioplásticos o biocombustibles que se obtienen a partir de bagazo de caña de azúcar, fibras de agave, soya, o fibras de cáscara de coco, por mencionar algunos (Brambila et al., 2013).

Desechos vegetales empleados en aislantes térmicos

En este contexto, se ha hecho investigación sobre materiales “bio-based” (compuestos de productos biológicos o naturales) utilizados como aislantes térmicos en distintas aplicaciones industriales. De estas últimas las que más se han desarrollado en años recientes son las aplicaciones materiales aislantes para el análisis de la eficiencia energética en edificaciones y otras aplicaciones en sistemas de energía renovable. El aislamiento térmico aplicado en edificaciones está considerada como una técnica de simple adaptación al sistema térmico y altamente eficiente (Saleh et al., 2006) (Papadopoulos et al., 2005) (Aditya et al., 2017) (Panyakaew., 2017), por ello el uso de materiales aislantes se ha incrementado debido a que pueden contribuir a disminuir el consumo energético no solo en edificaciones sino también en otros sistemas térmicos como los colectores solares (Ihaddadene et al., 2018).

Lo anterior no es más que una oportunidad de utilizar los desechos de origen vegetal en la fabricación de materiales aislantes marcando así una tendencia en la incorporación de este tipo de biomasa aprovechando sus ventajas, entre ellas su bajo costo, disponibilidad y bajo impacto al medio ambiente; y proponiendo alternativas para subsanar sus desventajas, como la tendencia a absorber humedad y al ataque de microorganismos (Korjenic et al., 2011). El interés sobre esta línea de investigación ha ido incrementando, prueba de ello son los estudios que se han llevado a cabo en años recientes. Se han obtenido tabloncillos de aislante para analizar el efecto de la absorción de humedad sobre la conductividad térmica usando palma datilera (Boukhattem et al., 2017) o cascara de coco y bagazo (Panyakaew., 2017); en ambos estudios se establece el decremento de la conductividad térmica en relación a la adición de fibra o bagazo, demostrando también que la afinidad a la humedad de los materiales orgánicos aumenta la conductividad térmica aunque la mantiene dentro del intervalo de un buen aislante térmico. Por otro lado Korjenic et al., realizaron una importante contribución al tema del aislamiento térmico haciendo una evaluación de diferentes fibras como jute, lino, y cáñamo, estableciendo tres aspectos principales: la porosidad en materiales aislantes de origen vegetal tiene una importante influencia sobre el comportamiento térmico y la absorción de humedad que experimentan; la baja resistencia al fuego representa una desventaja para estos materiales, sin embargo esto puede resolverse con la incorporación de aditivos especiales que retardan la iniciación de la flama. Además, refuerza el planteamiento de otros trabajos en el sentido de que se determina que la conductividad térmica varía proporcionalmente en la misma dirección de acuerdo con el contenido de humedad.

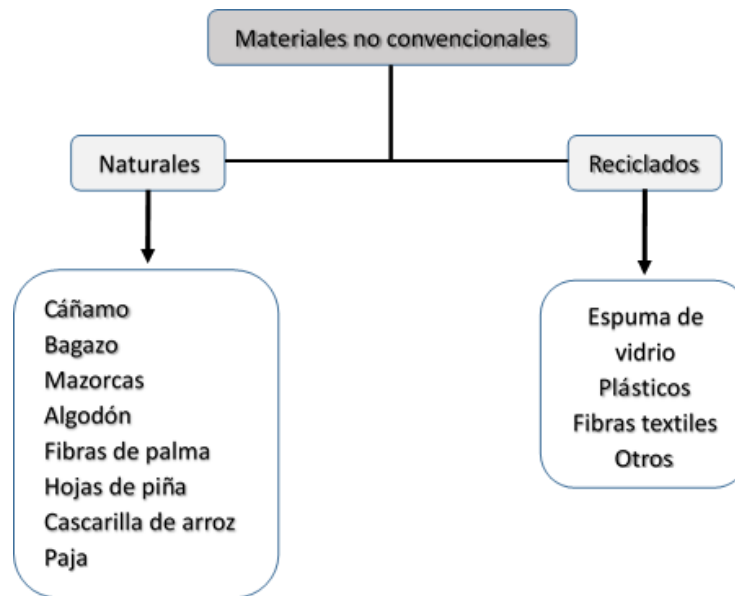


Figura 2. Clasificación de los materiales aislantes no convencionales (Asdrubali et al, 2015)

Se ha propuesto el uso de subproductos de la agricultura para la elaboración de materiales con propiedades de aislantes térmicos y acústicos, planteando una clasificación general en función de su origen natural o sintético (reciclado) de la materia prima; esto se resume en la figura 2. En resumen, resalta en la mayoría de las investigaciones relacionados al tema, carecen de datos sobre parámetros fundamentales como el calor específico; y enfatiza la importancia de ampliar estos estudios para poder aprovechar los recursos naturales disponibles como una forma de reactivar la economía y por otro lado como una vía factible para la disminución de los efectos que causan al medio ambiente los procesos para fabricar materiales convencionales para aislamiento (Asdrubali et al., 2015). Liuzzi et al., establecen que la desventaja de los materiales aislantes de base vegetal es su durabilidad, la cual está relacionada con su afinidad por absorber humedad. El incremento en la tasa de absorción de humedad propicia el crecimiento de microorganismos, además de estar relacionado con el incremento de la conductividad térmica como ya se ha resaltado en esta revisión.

La relación de la conductividad térmica (k) con la orientación de las fibras, en este caso tallos de paja, es un interesante estudio en el que se demuestra que la orientación de los tallos de forma perpendicular al flujo de calor minimiza k , mientras que la orientación paralela la incrementa. En adición, en el trabajo referido se reportan datos que indican la dependencia de la densidad del material aislante con la conductividad térmica; se determina que al duplicar la densidad se observa que la k aumenta aproximadamente en 1.5 veces (Véjeliené et al., 2011). La más reciente y completa revisión de literatura clasifica los materiales aislantes en cuatro categorías de acuerdo al origen de las materias primas: a) particularmente los de origen inorgánico como piedras, escoria del proceso de extracción de minerales, fibra de vidrio, entre otros; b) los que provienen de la industria petroquímica, generalmente polímeros como poliestireno, polietileno, poliuretano, por ejemplo; c) los subproductos o residuos agrícolas o forestales como cascarilla de arroz, paja, bagazo, por mencionar algunos y d) los que su origen son los metales principalmente (Liu et al., 2017). Se considera que la primera publicación que se puede rastrear fue en 1974, aunque existen etapas hasta 1998 y en que no hubo

aportaciones es este tema, al menos que estén registradas, hasta su repunte y consolidación a partir de 2003 con cuatro publicaciones y el punto máximo alcanzado en 2014 con 23; considerando hasta abril de 2016 (Liu et al., 2017). Datos sobresalientes son los que se proporcionan en relación al tipo más común de residuo agrícola o forestal que se selecciona para su investigación; siendo el cáñamo, el maíz, el coco, la madera; mientras que el sisal, piña, bambú, junco, reciben menos atención que los anteriores (Liu et al., 2017).

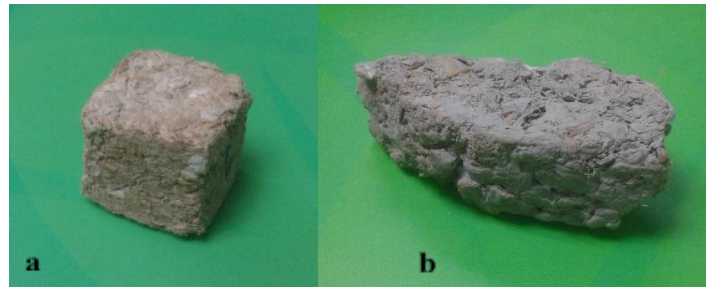


Figura 3. a) Probeta para determinar conductividad térmica, b) sección de panel de material aislante.

En el estado de Yucatán, este equipo de investigadores se ha enfocado al estudio de algunos residuos de las actividades agrícolas de la región, aprovechado la gran diversidad de recursos naturales que caracteriza a esta región del país. En un trabajo previo se determinó la conductividad térmica de un material aislante denominado BP-16, que se muestra en la figura 3, cuyos resultados preliminares fueron comparados con la madera y el poliestireno expandido, obteniéndose un valor de $k = 0.0628$ W/m °C (Perales, et al., 2017), lo cual demuestra que la propuesta planteada puede continuar ampliando su caracterización de acuerdo a la información que ya se ha analizado en el presente trabajo. De esta forma, la meta de este trabajo es aprovechar este recurso natural que se presenta en la región de Motul Yucatán, generar a partir de ello nuevos materiales aislantes como un avance al trabajo preliminar que se ha realizado cuya ventaja competitiva se establece primero, en ofrecer un desempeño térmico similar o mejor que los aislantes convencionales; y en otro sentido potenciar el desarrollo económico local generando valor agregado a los desechos agrícolas.

2. METODOLOGÍA

Las fibras (1) se obtienen como subproducto de una fábrica desfibrador de la región. Esas fibras se encuentran con aproximadamente un 40% de humedad directo del proceso. A comparación de nuestro estudio anterior, en este caso las fibras se secaron durante 24 h expuestas al sol. Las fibras (2) se obtienen como desechos sólidos del ITS-Motul. Las muestras de prueba para determinar la conductividad térmica se elaboraron utilizando las relaciones en masa que se indican en la tabla 1. Como vehículo de mezclado se empleó agua en relación 1:1 de acuerdo a la masa que se mide de las respectivas fibras. El proceso de mezclado se realizó en un recipiente de metálico durante un minuto para todas las muestras, utilizando un agitador mecánico. Posteriormente se pesaron 5 g de la mezcla y se pusieron en un molde metálico teniendo la precaución de no comprimir el material, sino solo asegurarse de que rellene todo el molde. Las muestras fueron etiquetadas como MA-1 y MA-2. El proceso generalizado se exhibe en la figura 3.

Tabla 1. Matriz de concentraciones de fibras utilizadas en las muestras MA-1 y MA-2

MA-1		
Nivel	Fibra 1 (g)	Fibra 2 (g)
Bajo	X	
Alto		X
MA-2		
Nivel	Fibra 1	Fibra 2
Bajo		X
Alto	X	

La caracterización térmica se llevó a cabo en un calorímetro experimental y el programa de adquisición de datos Labview™; empleándose una configuración que permitiera determinar el flujo de calor unidireccional en estado estacionario, lo cual se puede apreciar en la figura 4. A partir del flujo de calor que atraviesa una superficie plana se determina k , para lo cual se utiliza la ecuación 1 que refiere a la ley de Fourier de la conducción de calor. Siendo A, el área por donde pasará el flujo de calor Q a través de la muestra de geometría regular cuyo espesor es Δx y ΔT es el gradiente de temperatura entre T_1 corresponde al extremo x_1 así como T_2 a x_2 . Tómese en cuenta que para que se efectúe la transferencia de calor debe cumplirse que $T_1 > T_2$, de acuerdo a la segunda ley de la termodinámica lo cual permite explicar el signo negativo en la ecuación 1,

$$Q = -k A \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad \text{ecuación 1}$$

por lo tanto se puede calcular la conductividad térmica con la ecuación 2 ya que se puede controlar el flujo de calor con una fuente de poder, el área de la superficie perpendicular a Q es conocida, así como el espesor de la muestra experimental, mientras que las temperaturas de entrada y de salida se determinan mediante sensores.

$$k = - \frac{Q \Delta x}{A \Delta T} \quad \text{ecuación 2}$$



Figura 3. Diagrama de flujo del proceso de obtención de material aislante experimental

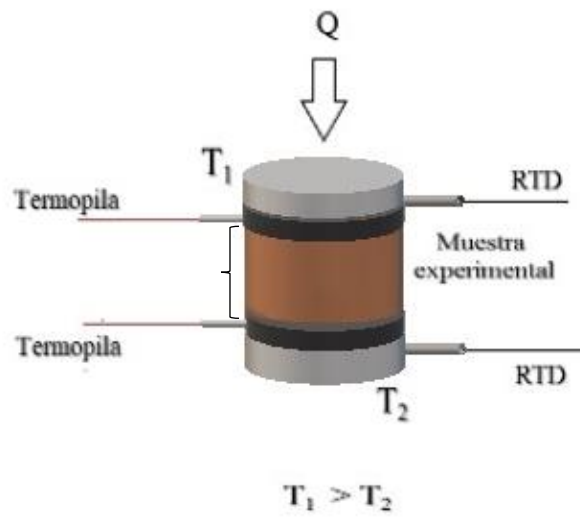


Figura 4. Configuración para la inducción del flujo de calor en la determinación de la conductividad térmica

3. RESULTADOS

En la tabla 1 se pueden observar los valores promedio de conductividad térmica que se obtuvieron de dos muestras de material aislante experimental, encontrándose que ambos materiales poseen baja conductividad térmica en comparación con la muestra de madera. El análisis preliminar de los materiales aislantes desarrollados en este trabajo se obtuvo las conductividades térmicas de dos muestras de diferente composición másica de fibras, además de realizar el mismo tipo de medición a una muestra de madera como material de referencia. El gradiente de temperatura que produce el flujo de calor suministrado de forma unidireccional a la muestra experimental sirve para llevar a cabo los cálculos para determinar la conductividad térmica utilizando la ley de Fourier de la conducción de calor por conducción; resultados que se muestran en la tabla 2. Los resultados obtenidos en las muestras experimentales tienen sentido de acuerdo a otros estudios previos, en los que se destaca la correlación de la k con la densidad del material (Véjeliené et al., 2011), lo cual se observa también en las muestras MA-1 y MA-2.

Tabla 1. Conductividad térmica en materiales experimentales y en madera de pino

Material	Conductividad térmica experimental ($W/m^{\circ}C$)
MA-1	0.0115
MA-2	0.0282
Madera	0.0102

4. DISCUSIÓN

Los desechos vegetales tanto de origen agrícola como forestales, representan una opción para obtener materiales con propiedades aislantes de bajo costo, debido a las bajas densidad y conductividad térmica que poseen como propiedades principales. Se ha comprobado que los materiales que se están desarrollando mediante este trabajo claramente son candidatos que deben ser objeto de estudios adicionales para complementar su caracterización tanto fisicoquímica como mecánica.

Parte fundamental de la motivación de este estudio es el aprovechamiento de recursos vegetales que son subproducto de la actividad agrícola del estado de Yucatán, en donde se estima que este desecho se produce en cantidades que se aproximan a las 35 toneladas al año, y que no son aprovechadas, al menos en un proceso establecido y planeado para su ejecución y generación de beneficios ambientales y económicos.

A pesar de los resultados alentadores, no se debe soslayar que es indispensable repetir este trabajo en el marco de un análisis estadístico que proporcione información con mayor certeza, y que a partir de ello se pueda escalar este producto a nivel de prototipo, analizado el desempeño térmico del mismo en el proceso en el cual se requiera un sistema de aislamiento térmico, como pueden ser los colectores solares o paneles para construcción.

5. CONCLUSIONES

Nótese que mientras que en la figura 1 se indica que los recursos agrícolas y forestales se señalan como “comunes”, en la figura 2 se menciona que ese tipo de materiales se les considera “no convencionales”. Esto permite entender que el tema es un campo aun poco explorado y que queda ahí la posibilidad de seguir agregando conocimiento para que finalmente se logre una conversión sobre las principales características de las materias primas y las propiedades térmicas y mecánicas intrínsecas al desempeño de los materiales aislantes renovables, y que signifique una tendencia viable para suplir algunos aislantes térmicos que se consumen de forma cotidiana. En este sentido, los materiales propuestos son representados una opción viable para suplir en cierta medida la producción de aislantes térmicos por los métodos convencionales, los cuales como se mencionó, conllevan un elevado consumo energético y el implícito impacto negativo al medio ambiente.

Por lo que respecta al desarrollo o enriquecimiento de la tecnología propuesta, posteriormente se debe correlacionar la conductividad térmica del material experimental con otros parámetros como la densidad y la absorción de agua; sin perder de vista que este material aislante se debe formular tomando en cuenta que son propensos al crecimiento de microorganismos que podrían afectarlos estructuralmente ya que son elaborados con materias primas de origen vegetal.

REFERENCIAS

- Abas N., Kalair A., Khan N., Review of Fossil Fuels and Future Energy Technologies, *Futures* (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.futures.2015.03.003>
- Aditya, L., Mahlia, T. M. I., Rismanchi, B., Ng, H. M., Hasan, M. H., Metselaar, H. S. C., & Aditiya, H. B. (2017). A review on insulation materials for energy conservation in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 1352-1365.
- Al-Ajlan, S. A. (2006). Measurements of thermal properties of insulation materials by using transient plane source technique. *Applied thermal engineering*, 26(17-18), 2184-2191.
- Al-Mulali U, Ozturk I, The effect of energy consumption, urbanization, trade openness, industrial output, and the political stability on the environmental degradation in the MENA (Middle East and North African) region, *Energy* (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2015.03.004>
- Asdrubali, F., D'Alessandro, F., & Schiavoni, S. (2015). A review of unconventional sustainable building insulation materials. *Sustainable Materials and Technologies*, 4, 1-17.
- Binici, H., Eken, M., Dolaz, M., Aksogan, O., & Kara, M. (2014). An environmentally friendly thermal insulation material from sunflower stalk, textile waste and stubble fibres. *Construction and Building materials*, 51, 24-33.
- Boukhattem, L., Boumhaout, M., Hamdi, H., Benhamou, B., & Nouh, F. A. (2017). Moisture content influence on the thermal conductivity of insulating building materials made from date palm fibers mesh. *Construction and Building Materials*, 148, 811-823.

- Brambila-Paz, José de J., Martínez-Damián, Miguel Á., Rojas-Rojas, María M., Pérez-Cerecedo, Verónica. (2013) La bioeconomía, las biorefinerías y las opciones reales: el caso del bioetanol y el azúcar. *Agrociencia* [en línea] 2013, 47 (Sin mes) Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30226978007> ISSN 1405-3195
- Bribián, I. Z., Capilla, A. V., & Usón, A. A. (2011). Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. *Building and Environment*, 46(5), 1133-1140.
- Cardoen, D., Joshi, P., Diels, L., Sarma, P. M., & Pant, D. (2015). Agriculture biomass in India: Part 1. Estimation and characterization. *Resources, Conservation and Recycling*, 102, 39-48.
- Fuentes-Saguar, P. D., Mainar-Causapé, A. J., & Ferrari, E. (2017). The role of bioeconomy sectors and natural resources in EU economies: A social accounting matrix-based analysis approach. *Sustainability*, 9(12), 2383.
- Hernández, J. G. V., Pallagst, K., & Hammer, P. (2017). Bio economy's institutional and policy framework for the sustainable development of nature's ecosystems. *Atlantic Review of Economics: Revista Atlántica de Economía*, 2(1), 1.
- Ihaddadene, N., Ihaddadene, R., & Betka, A. (2018). Experimental investigation of Using a Novel insulation Material on the Functioning of a Solar Thermal Collector. *Journal of Solar Energy Engineering*, 140(6), 061001.
- Korjenic, A., Petráněk, V., Zach, J., & Hroudová, J. (2011). Development and performance evaluation of natural thermal-insulation materials composed of renewable resources. *Energy and Buildings*, 43(9), 2518-2523.
- Liu, L., Li, H., Lazzaretto, A., Manente, G., Tong, C., Liu, Q., & Li, N. (2017). The development history and prospects of biomass-based insulation materials for buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 912-932.
- Liuzzi, S., Sanarica, S., & Stefanizzi, P. (2017). Use of agro-wastes in building materials in the Mediterranean area: a review. *Energy Procedia*, 126, 242-249.
- Panyakaew, S., & Fotios, S. (2011). New thermal insulation boards made from coconut husk and bagasse. *Energy and buildings*, 43(7), 1732-1739.
- Papadopoulos, A. M. (2005). State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments. *Energy and Buildings*, 37(1), 77-86.
- Perales, J.L.A., Vilchiz, L.E., Magaña, J.B. (2017) Determinación de la conductividad térmica de un material aislante elaborado a partir de residuos sólidos y fibras vegetales para su potencial aplicación en eficiencia energética. *Memorias del XXXVIII Encuentro Nacional de la AMIDIQ*

Sachin Yadav, G. G., & Bhatnagar, R. (2015). A review on composition and properties of bagasse fibers. *Cellulose*, 45, 55.

Väisänen, T., Haapala, A., Lappalainen, R., & Tomppo, L. (2016). Utilization of agricultural and forest industry waste and residues in natural fiber-polymer composites: A review. *Waste Management*, 54, 62-73.

Vėjelienė, J., Gailius, A., Vėjelis, S., Vaitkus, S., & Balčiūnas, G. (2011). Development of thermal insulation from local agricultural waste.