

Elaboración de placas de compuesto de fibra cemento aprovechando residuos industriales como cascarilla de arroz y lodos del proceso de fabricación de papel blanco, como material de construcción de bajo costo

CAMUS LOREDO, JORGE*
 VIVAR MORALES, LUIS**
 MARCOS INFANTES GARCÍA**

RECIBIDO: 25/07/14 ACEPTADO: 12/10/14

RESUMEN

En el Perú se generan 140,000 y 13,000 TM/año de cascarilla de arroz y desechos de la Industria papelera respectivamente, sin valor comercial y sin uso industrial. Se determinaron las cenizas del papel empleado ($63.47 \pm 0.805\%$ b.s.) y un análisis químico-proximal de la cascarilla (humedad: 8.51%, cenizas: 20.71%, extracto etéreo: 0.73%, proteína bruta: 1.59%, fibra bruta: 39.75% y carbohidratos: 28.71% b.s.). Se diseñaron formulaciones: cascarilla (5-15%), cemento (30-50%), yeso (15-25%), goma (10%) y lodos de papel (10-20%). Se caracterizaron las placas según: prueba Brinell (dureza, fragilidad y compactación), densidad, capacidad térmica, resistencia al cizallamiento, prueba de extracción de tornillo, resistencia al hielo/deshielo y la prueba de incombustibilidad. 8 de las 31 formulaciones probadas obtuvieron excelentes propiedades físicas y pueden ser empleadas en la construcción de edificaciones. La investigación demuestra la factibilidad de fabricación de placas de fibra cemento de buena calidad, a satisfacción del sector construcción y a bajo costo.

Palabras clave: cascarilla de arroz, placas de fibra-cemento, lodos de papel

PLATEMAKING COMPOSITE FIBER CEMENT
 ADVANTAGE INDUSTRIAL WASTE RICE HULLS AND
 SLUDGE FROM THE MANUFACTURING PROCESS
 OF WHITE PAPER AS A BUILDING MATERIAL
 INEXPENSIVE

ABSTRACT

In Peru generated 140,000 and 13,000 MT / year of rice husks and scrap of paper industry respectively, without commercial value and not industrial use. 8.51%, ash: 20.71%, ether extract 0.73%, protein 1.59%, crude fiber 39.75 ashes of the paper used ($63.47 \pm 0.805\%$ db) and a chemical-proximal of the scale (moisture analysis were determined % and carbohydrates: 28.71% db). Scale (5-15%), cement (30-50%), gypsum (15-25%), rubber (10%) and paper sludge (10-20%) formulations were designed. Plates were characterized by: Brinell test (hardness, brittleness and compaction), density, heat capacity, shear strength, screw pump test, resistance to freeze / thaw and combustibility test. 8 of the 31 formulations tested had excellent physical properties and can be used in building construction. The research demonstrates the feasibility of manufacturing fiber cement board good quality, satisfactory to the construction industry at low cost.

Keywords: rice husks, fiber-cement board, paper sludge

1. INTRODUCCIÓN

El Perú es un país arrocerero por excelencia. El arroz es el primer producto en área sembrada y cosechada, muy por encima del café, papa y maíz amarillo; con 380,000 hectáreas en promedio. Se ha constituido en uno de los componentes esenciales de la canasta básica familiar de los peruanos (INIA, 2014). La producción de arroz en el Perú ha ido incrementándose en los últimos años y lo seguirá haciendo, según la consultora Maximixe las perspectivas de crecimiento para el 2014 son bastante buenas debido a que es un producto de consumo cotidiano y forma parte de la dieta alimenticia de la población.

La cascarilla de arroz, residuo generado durante el pilado, se produce en grandes cantidades (140,000 TM/año) lo que genera un costo de almacenamiento o quema (sobre todo por parte de pequeños productores). La fabricación de papel emite lodos residuales (13,000 TM/año) que no tienen ningún valor comercial, solo son tratados para reducir sus niveles de contaminación. No se da lugar a nuevas tecnologías o nuevas formas de producción, como la fibra-cemento, hechos de cemento y fibras, ya que el mercado está copado de productoras de cemento regular y placas de drywall (que no tienen las propiedades del fibra-cemento). Fibra-cemento es un material de bajo costo, ya que se sustituyen aditivos, por la cascarilla de arroz y fiberclay de lodos de la fabricación de papel, obteniéndose un producto de buena calidad, y que contribuya a la conservación del medio ambiente, valores muy importantes de los mercados actuales.

Además permite disminuir la contaminación debido a que al no incinerar las cascarillas se evita la emisión de gases invernadero y tampoco de metano producto de la fermentación de cascarilla de arroz en el ambiente. Así también mitiga la contaminación de los ríos y cuencas hídricas por disposición en los causes de lodos de desecho del proceso de fabricación de las plantas papeleras.

Existen evidencias de alternativas de utilización de la cascarilla de arroz como el estudio de morteros donde se ha investigado la estabilidad de la cáscara, para ello se determinaron sus características físicas y químicas, estudiándose diversos procesos de "mineralización", recomendando un tratamiento en pasta de cal y solución de silicato de soda. Otras investigaciones

* Bachiller, Facultad de Ingeniería Industrial. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú. E-mail: prodab@yahoo.com

** Ingeniero, Facultad de Ingeniería Industrial. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima,

*** Bachiller, Universidad Agraria La Molina.

revelan las nuevas tecnologías relacionadas con materiales compuestos de fibra de celulosa reforzada de cemento que son tratadas con resinas inorgánicas y/o orgánicas con fibras más higroscópicas, así como tratamientos con otros productos químicos. También se describe cuatro aspectos de la tecnología: el tratamiento de fibras, las formulaciones, los métodos y los productos finales. La tecnología que proporciona ventajosamente materiales de construcción de fibra cemento con deseables características de reducida tasa de absorción de agua y menor permeabilidad. También se investigó productos finales con una mayor resistencia de congelación y descongelación, reducida eflorescencias y mejora de la resistencia UV en comparación con los productos convencionales de fibra de cemento. En algunos casos, las propiedades físicas y mecánicas mejoran.

En la presente investigación se buscó darle un valor a la cascarilla de arroz y a los lodos de papel para así obtener una placa de Fibra-cemento capaz de satisfacer las normas de calidad para materiales de construcción.

El objetivo general consiste en demostrar la factibilidad de producir una placa de fibra cemento utilizando cascarilla de arroz y lodos de la industria papelera, de alta durabilidad, fibra ligera, resistente al calor, altamente económico, de uso común y fácil acceso.

Como objetivos específicos se pueden mencionar:

- Caracterización de la composición química de la cascarilla y lodos.
- Determinación del proceso de fabricación óptimo.
- Determinación de formulaciones de mezclas para fabricación de placas fibra cemento.

La investigación fue auspiciada por el Fincyt (Fondo de Investigación de Ciencia y Tecnología, del Ministerio de la Producción) y contó con el cofinanciamiento de la Empresa Grupo Camposur y la UNMSM, lo cual permitió ejecutar la investigación y la fabricación de placas, a las cuales se le sometió a las pruebas necesarias para demostrar sus características físicas.

La investigación se dividió en 5 etapas, las cuales correspondieron a cada componente.

1. Composición proximal de la materia prima: Cascarilla de arroz:

- Determinación de Humedad según el método AOAC 931.04

- Determinación de Ceniza según el método AOAC 923.05
 - Determinación de Grasa cruda según el método AOAC 920.39
 - Determinación de Fibra según el método AOAC 969.09
 - Determinación de Proteína según el método AOAC 920.87
2. Formulación de mezclas para evaluación de comportamientos físico mecánicos de cada tratamiento para la obtención de una placa de fibra-cemento óptima: se consideró un diseño experimental (DCA) para luego realizar un análisis de varianza a las formulaciones planteadas.
 3. Proceso de fabricación de placa: el cual se propuso con materias primas en estado seco y en estado húmedo, para obtener un tablero/panel de fibra cemento, que consta de cemento, cenizas volátiles, sílice y fibras de celulosa, formada bajo alta presión en placas con superficie de textura integral, cumpliendo con la norma ASTM C 1186 Tipo A Grado II, bordes trabajados para fijación con clavos.
 4. Evaluación de las placas de fibrocemento con respecto a su dureza, fragilidad y compactación, para así poder elegir a las que fueron analizadas con mayor profundidad.
 5. Evaluaciones del producto final: al producto optimizado se le realizaron las siguientes pruebas:
 - Resistencia al cizallamiento: ANSI A118.4 – Unidad de medida PSI
 - Resistencia al sacado del clavo: ASTM C473 - Unidad de medida Libras (0.4" diámetro de cabeza en húmedo o seco)
 - Peso: ASTM C473 – Unidad de medida psf (g x cm cúbico)
 - Resistencia al hielo / deshielo: ASTM C666 modificado sometiendo a un congelamiento de -18 °C y deshielo a temperatura ambiente (25 °C aproximadamente) – Unidad de medida procedimiento B, número de ciclos sin deterioro.
 - Incombustibilidad: ASTM E136 modificada utilizando soplete alimentado con gas propano – Unidad de medida, Pasa / No pasa
 - Características de combustión de la superficie: ASTM E84 modificada utilizando

soplete alimentado con gas propano, Unidad de medida fuego / humo

- Capacidad Térmica: ASTM C518 modificada utilizando soplete alimentado con gas propano y cámara termográfica – Unidad de medida °C/s

Diseño de las mezclas

En el siguiente cuadro se muestran las corridas que se llevaron a cabo en el Diseño de mezclas.

Cuadro 1. Corridas de Diseño de Mezclas (%).

Cáscara de arroz molida					
Muestra	Cemento	Yeso	Lodo	Cascarilla	Goma
1°	50	25	10	5	10
2°	50	15	20	5	10
3°	40	25	20	5	10
4°	30	25	20	15	10
5°	50	15	10	15	10
6°	40	25	10	15	10
7°	40	15	20	15	10
Cáscara de arroz entera					
Muestra	Cemento	Yeso	Lodo	Cascarilla	Goma
1°	50	25	10	5	10
2°	50	15	20	5	10
3°	40	25	20	5	10
4°	30	25	20	15	10
5°	50	15	10	15	10
6°	40	25	10	15	10
7°	40	15	20	15	10
8°	46.43	22.86	12.86	7.86	10
9°	46.43	17.86	17.86	7.86	10
10°	41.43	22.86	17.86	7.86	10
11°	36.43	22.86	17.86	12.86	10
12°	46.43	17.86	12.86	12.86	10
13°	41.43	22.86	12.86	12.86	10
14°	41.43	17.86	17.86	12.86	10
15°	50	20	15	5	10
16°	45	25	15	5	10
17°	50	20	10	10	10
20°	50	15	15	10	10
21°	45	15	20	10	10
24°	40	20	20	10	10

Composición química de Lodos

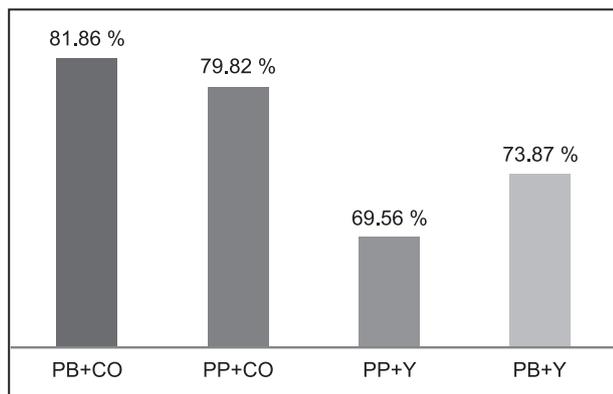
El contenido de cenizas es una prueba que determina la cantidad mineral presente en la muestra deshidratada. Con los resultados obtenidos en las tablas de análisis de resultados de contenidos de cenizas de los lodos se determinó que la muestra de lodos húmedos es la más conveniente para realizar la fabricación del panel de fibra cemento.

Cuadro 2. Contenido de Ceniza del Papel de la PAPELERA CAMPOY S.A.

Ensayo	(g/100 g muestra seca)
Ceniza	63.47 ± 0.805

Según la PAPELERAS CAMPOY S.A. el 80% es carga mineral no metálica "Carbonato de Calcio". Este nivel es adecuado para la aplicación del lodo en la composición de la Fibra-Cemento. Sin embargo, los niveles de ceniza encontrados en el papel de esta empresa fue de 63.47%. No obstante, el contenido de carga mineral no metálica encontrado, beneficia al proceso de fabricación del producto placa fibra-cemento para ser utilizado en la mezcla con el cemento y lograr una alta resistencia al impacto y bajo costo como materia prima ya que se puede utilizar una mayor proporción de lodos con respecto al cemento en la fabricación de las placas sin afectar las propiedades y la calidad de la misma.

Figura 2. Comparación entre los porcentajes de ceniza de las mezclas de lodos.



Composición química de la cascarilla de arroz

En el Cuadro 3 pueden observarse los compuestos mayoritarios encontrados en la cáscara de arroz.

Cuadro 3. Composición proximal de la Cáscara de arroz.

Componente	Porcentaje (b.h.)
Humedad	8.51%
Ceniza	20.71%
Grasa	0.73%
Proteína	1.59%
Fibra	39.75%
Carbohidratos	28.71%

El valor encontrado de ceniza confirma que la cascarilla de arroz tiene un alto contenido de minerales, para alcanzar el objetivo de alta resistencia de la placa de fibra-cemento. Las placas de Fibra-cemento requieren un soporte estructural tipo tejido malla que aglomera en forma uniforme todos los agregados y cargas no metálicas en el producto por lo cual un porcentaje de 39.75% es un valor muy importante como materia prima para el requerimiento de malla que debe tener la placa, por lo tanto este valor encontrado se concluye que la cascarilla de arroz contiene un alto contenido de fibra celulosa que es eficientemente aprovechable para poder desarrollar el producto con las características de resistencia físicas mecánicas que requiere el producto Fibra-cemento.

Otro aspecto importante de la fibra es que reduce la cantidad de cemento en la placa y esto beneficia en costo del producto.

Según Rodríguez (2007), la cascarilla de arroz presenta una cantidad de proteína de 2.4%, grasa 0.55%, fibra 40.2%, ceniza 17.1% y carbohidratos 28%. Estos valores se acercan a los obtenidos en nuestra experiencia.

Asimismo se analizó la densidad de las muestras de cáscara de arroz entera y molida. Con lo cual se obtuvo los resultados estipulados en el Cuadro 5.

Cuadro 4. Densidad de la Cáscara de arroz entera y molida.

Muestra	Densidad (g/cm ³)
Cáscara de arroz entera	0.11 ± 0.01
Cáscara de arroz molida	0.31 ± 0.01

Sivaraja y Kandasamy (2011) probaron la cáscara de arroz entera dentro de la mezcla para concreto. Estos autores determinaron la densidad de la cáscara de arroz, la cual fue de 0.564 g/cm³ en comparación de

la que se obtuvo en nuestra experiencia, la cual fue de 0.11 g/cm^3 . Esta diferencia puede deberse al método empleado. De acuerdo a las pruebas de densidad se concluye que para el proyecto se recomienda utilizar la cascarilla molida ya que al distribuirse en la masa total crea mayor uniformidad sin embargo esta densidad aparente de la cascarilla no es una propiedad intrínseca para el fibrocemento y depende de la forma de compactación para lograr un producto con densidad uniforme en todos sus puntos.

2. RESULTADOS

1. Caracterización de las Placas de Fibra Cemento

A. Evaluación de la Dureza, Fragilidad y Compactación

En el Cuadro 6 se pueden observar los resultados de la prueba de Brinell que definen la dureza de las placas de Fibra-cemento.

Cuadro 5. Resultados de Fuerza de impacto y Dureza de la placas de Fibra-cemento.

Cáscara de arroz molida					
Muestra	Fuerza de Impacto (N)	Dureza Brinell (HB)	Fragilidad	Compactación	Calificación
1°	857.64	0.0647(M)	Alta	Baja	No pasa
2°	2534.48	0.2226 (A)	Baja	Normal	Pasa
3°	2289.72	0.1944 (A)	Baja	Normal	Pasa
4°	829.57	0.0372 (B)	Baja	Normal	No pasa
5°	835.23	0.0287 (B)	Baja	Normal	No pasa
6°	775.32	0.0344 (B)	Al tacto	Baja	No pasa
7°	816.67	0.0265 (B)	Baja	Normal	No pasa
Cáscara de arroz entera					
Muestra	Fuerza de Impacto (N)	Dureza Brinell (HB)	Fragilidad	Compactación	Calificación
1°	3620.69	0.3782 (A)	Alta	Baja	Pasa
2°	2859.92	0.2738 (A)	Baja	Normal	Pasa
3°	1909.09	0.1621 (A)	Baja	Normal	Pasa
4°	832.39	0.0216 (B)	Baja	Baja	No pasa
5°	891.99	0.0232 (B)	Alta	Baja	No pasa
6°	732.80	0.0190 (B)	Alta	Normal	No pasa
7°	1260.72	0.0381 (B)	Al tacto	Baja	No pasa
8°	1644.30	0.1220 (A)	Baja	Normal	Pasa
9°	1189.32	0.0309 (B)	Al tacto	Baja	No pasa
10°	1093.75	0.0561 (B)	Al tacto	Baja	No pasa
11°	750.00	0.0195 (B)	Al tacto	Baja	No pasa
12°	1237.373	0.0645 (M)	Alta	Normal	Pasa
13°	1615.38	0.0933 (M)	Al tacto	Semi-compacta	No pasa
14°	1053.01	0.0342 (B)	Al tacto	Semi-compacta	No pasa
15°	2013.70	0.1769 (A)	Baja	Normal	Pasa
16°	931.56	0.0494 (B)	Media	Semi-compacta	No pasa
17°	823.07	0.0214 (B)	Al tacto	Baja	No pasa
20°	1095.38	0.0561 (B)	Baja	Normal	No pasa
21°	1647.98	0.1399 (A)	Baja	Normal	Pasa
24°	1389.41	0.0721 (M)	Baja	Normal	Pasa

(A): Alta; (M): Media; (B): Baja

Todas las placas fueron caracterizadas previamente con respecto a su dureza, como primer sesgo para su posterior caracterización. Los resultados indican que las muestras con alto valor de dureza fueron: CM-2, CM-3, CE-1, CE-2, CE-3, CE-8, CE-15 y CE-21, la cuales presentan un valor de dureza mayor a 0.1 MB. Para obtener un mayor alcance con respecto a las características de congelación, combustión, densidad, conductividad, entre otras. Se tomaron en cuenta las placas con dureza media (CM-1, CE-12 y CE-24) en la etapa posterior.

B. Caracterización de las muestras con mayor dureza

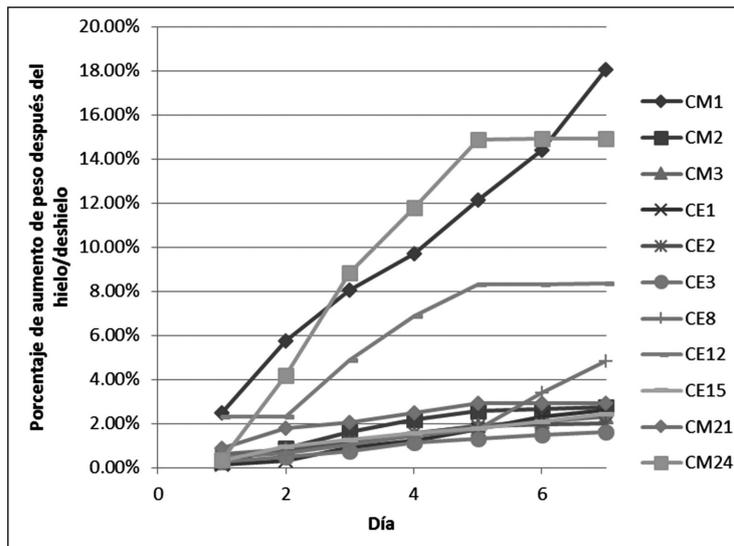
Las densidades encontradas en las placas de fibramento varían entre 0.88 y 1.39 g/cm³. Esto sin considerar si la cascarilla de arroz se encontraba entera o molida. Por lo que se observó que este factor no era significativo dado que las densidades se encontraban indistintamente distribuidas. La fibramento de la empresa Volcan (2013) presenta una densidad de 1.2 g/cm³. Por lo que los valores encontrados son próximos a los estipulados por esta empresa. Así mismo Rústica Internacional menciona que las propiedades físicas del fibramento varían ente 1.5 y 1.8g/cm³. En este caso los valores no se asemejarían debido a que la composición de su producto es a base de arena de cuarzo la cual le brindaría una mayor densidad. La densidad está relacionada con la porosidad, por lo tanto la compactación de la placa. Por lo tanto, la placa CE2 sería la que mayor compactación presenta, siguiéndole la placa CM-1, CE-1 Y CE-8. En referencia a la Conductividad Térmica, se apreció que la conducción de calor en la superficie posterior de la placa, la temperatura

se mantenía constante. Por lo que es un material que no transmite mucho calor. Es decir, en épocas de verano traspasaría el calor y en épocas de invierno lo conservaría. Cabe mencionar que se llevó una de las caras de la placa a temperaturas de 144 – 208 °C (tiempo de calentamiento de 30 segundos) y tiempo de enfriamiento de 90 segundos, momento donde se registró la temperatura final. Respecto a la resistencia al cizallamiento, esta determina la resistencia contra cargas aplicadas perpendicularmente al plano de la placa de fibramento. Como se mencionó anteriormente, Sivaraja y Kandasamy (2011) utilizaron la cáscara de arroz en la fabricación de materiales de concreto. Estos autores emplearon 3 porcentajes de cáscaras (0.5, 1.0 y 1.5%). Evaluaron estos tres tratamientos y obtuvieron una resistencia al cizallamiento de 6.22, 6.26 y 6.68 MPa para las proporciones de 0.5, 1.0 y 1.5% de arroz respectivamente. Al realizar una comparación de estos valores con los del Cuadro 6, la mayor resistencia observada corresponde al tratamiento CM-1, la cual es aproximadamente la mitad de las evaluadas por los autores mencionados. Esta diferencia puede deberse en principio a las formulaciones usadas, ya que los autores utilizaron una baja sustitución de cáscaras (máximo 1.5%). En el presente trabajo, el mínimo nivel trabajado es de 5%. En cuanto a la resistencia a la extracción de tornillos, la NTP 251.073 menciona que el valor mínimo aceptable para la resistencia de un material a la extracción de tornillos es de 356 N. Al comparar este valor con los obtenidos experimentalmente, se puede deducir que las muestras CM-1, CM-3 y CE-2 han superado este parámetro. Vale la pena mencionar que la norma mencionada aplica para tableros de partículas.

Cuadro 6. Resultados de la caracterización de las mejores formulaciones.

Muestra	Densidad (g/cm ³)	Capacidad térmica (°C/s)	Resistencia al Cizallamiento (MPa)	Extracción de tornillo (N/tornillo)	Resistencia al hielo/deshielo	Incombustibilidad	Combustión de superficie (fuego/humo)
CM-1	1,34	1,255	3,14	362,97	Resistente	Pasa	No/No
CM-2	1,05	1,136	1,36	284,49	Resistente	Pasa	No/No
CM-3	1,14	1,556	1,26	470,88	Resistente	Pasa	No/No
CE-1	1,27	1,333	1,16	294,3	Resistente	Pasa	No/No
CE-2	1,39	1,478	1,36	392,4	Resistente	Pasa	No/No
CE-3	1,13	1,067	1,43	274,68	Resistente	Pasa	No/No
CE-8	1,22	1,094	0,94	245,25	No Resistente	Pasa	No/No
CE-12	1,00	1,044	0,87	107,91	Resistente	Pasa	No/No
CE-15	1,11	1,203	1,55	294,3	Resistente	Pasa	No/No
CE-21	1,04	1,289	1,31	235,44	Resistente	Pasa	No/No
CE-24	0,88	1,544	1,39	186,39	Resistente	Pasa	No/No

CM: Cáscara molida, CE: Cáscara entera.

Figura 3. Evolución del porcentaje de aumento del peso después del hielo/deshielo.

Como se puede observar en los resultados la tendencia de absorción de agua, durante la congelación y descongelación de las placas por 7 días, es creciente. Según Rústica Internacional la absorción de agua en el fibrocemento debe ser menor a 40%, por lo que todas las placas cumplirían con tal premisa. Durante las pruebas las muestras con menor contenido de cascarilla tanto molida como entera, presentaron mayor resistencia, sin embargo a partir de un 15% de cascarilla las muestras presentaron menor consistencia y mayor absorción de agua. Se analizaron las muestras bajo combustión, ninguna de las cuales presentó fuego o humo. Por lo tanto los resultados de la prueba de combustibilidad fueron negativas para todas las muestras, pasando esta prueba. Según Rústica Internacional, las placas de fibrocemento deben presentar incombustibilidad, así como resistencia al fuego. Estas propiedades se pudieron observar durante la prueba puesto que después de exponer las placas por 5 minutos a fuego no se encendieron. Según la revista M&M los tableros de fibrocemento, las placas de yeso y los recubrimientos calcáreos que son compuestos utilizados en las formulaciones de todas las placas, son escudo o barrera física contra las llamas. Así mismo clasificación como tipo A1 a los materiales que no son combustibles y como s1 a las que no producen o producen poco humo.

3. CONCLUSIONES

- El lodo seleccionado para elaborar las placas de fibrocemento fue el proveniente de la mezcla de papel blanco y carbonato de calcio, con un contenido de cenizas de 81.86%.
- Las placas CM-2, CM-3, CE-1, CE-2, CE-3, CE-8, CE-15 y CE-21 superaron la prueba de Brinell, por lo que tienen un uso potencial en la Industria de la construcción.
- Las características de las placas mencionadas anteriormente indican que tienen una baja capacidad térmica (ideal para construcción de paredes y techo), excelente resistencia al cizallamiento y a la extracción de tornillo, muy buena resistencia a ciclos de hielo/deshielo, incombustibilidad y no generan presencia de fuego ni humo al ser sometidas a fuego intenso. Todo esto corrobora que este tipo de material se convierta en una gran alternativa para construcciones civiles, ya que se trata de una materia prima segura, manejable, resistente y sobre todo es amigable con el medio ambiente porque recicla la cascarilla de arroz y los lodos de papel, residuos industriales que generan un impacto ambiental negativo cuando no se reutilizan.

4. REFERENCIAS

- [1] KRISHNA, R. (2012). Rice husk ash – an ideal admixture for concrete in aggressive environments. 37th Conference on Our World in Concrete & Structures, Singapore.
- [2] M&M. Materiales. Inflamabilidad y Combustión. Disponible en: http://www.revista-mm.com/ediciones/rev65/materiales_fuego.pdf. Consultado el: 30 de enero del 2014.
- [3] RODRÍGUEZ, M. (2007). Determinación de la Composición Química y Propiedades Físicas y Químicas del Pulido de Arroz (*Oryza sativa* L.). Tesis presentada para optar al grado de Licenciado en Ciencia de los Alimentos. Universidad Austral de Chile.
- [4] QUINCHÍA, A.; VALENCIA, M. Y GIRALDO, J. (2007). Uso de lodos provenientes de la Industria Papelera en la elaboración de paneles prefabricados para la construcción.
- [5] ROMERO, H.; CASATI, M.; GÁLVEZ, J.; MOLERO, M. Y HERNÁNDEZ, G. (2011). Deterioro del hormigón sometido a ciclos de hielo-deshielo en presencia de cloruros. Anales de Mecánica de la Fractura 28, Vol. 2.
- [6] RUSTICA INTERNACIONAL. Viviendas Prefabricadas. Propiedades físicas del fibrocemento. Disponible en: [http://www.viviendasrusticas.com/files/PROPIEDADES%20FISICAS%20DEL%20FIBROCEMENTO\(1\).pdf](http://www.viviendasrusticas.com/files/PROPIEDADES%20FISICAS%20DEL%20FIBROCEMENTO(1).pdf). Consultado el: 20 de febrero del 2014.
- [7] SIVARAJA, M. Y KANDASAMY, S. (2011). Potential reuse of waste rice husk as fibre composites in concrete. Asian Journal of Civil Engineering (building and housing) Vol. 12, No. 2 (2011). Pages 205-217.
- [8] VOLCAN. (2013). Volcán Panel Ranurado. Placa de fibrocemento que asemeja madera machihembrada. Disponible en: http://www.volcan.cl/imagenes/productos/fichas/ficha_volcanpanel_ranurado.pdf. Consultado el: 20 de febrero del 2014.