Mortero de arcilla modificada sin cocer con rastrojo de maíz para vivienda rural de El Fuerte Sinaloa

Modified uncooked clay mortar with maize stubble for rural housing of El Fuerte Sinaloa municipality

Juárez-Soto Renato Vladimir
Universidad Autónoma Intercultural de Sinaloa, Unidad Los Mochis, Posgrado en Ciencias en Desarrollo Sustentable de los Recursos Naturales, México
rjuarez1081@hotmail.com, 6671853659

Lara-Ponce Estuardo
Universidad Autónoma Intercultural de Sinaloa, Unidad Los Mochis, Posgrado en Ciencias en Desarrollo Sustentable de los Recursos Naturales, México
elara@uais.edu.mx, 6681046589

Alvarado-Fierro Olimpia
Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ingeniería Culiacán, Departamento de Laboratorios, México
oaf@uas.edu.mx

Lora-Urías Carlos Hernán
Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ingeniería Culiacán, Departamento de Laboratorios, México
carlora@uas.edu.mx

Ungsson-Nieblas Manuel de Jesús
Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ingeniería Mochis, Posgrado en Ciencias de la Ingeniería, México
manuel_ungsson@hotmail.com

Almaral-Sánchez Jorge Luis
Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ingeniería Mochis, Posgrado en Ciencias de la Ingeniería, México
jalmaral@uas.edu.mx, 6681374871

Resumen

Se elaboró un mortero de arcilla modificada (AM) con 5% de cemento y 5% de cal, en peso, adicionado con rastrojo de maíz, en polvo (RP) y con tamaño máximo de 3 mm (R3), en 1-5 %, en peso respecto a la AM, como material para construcción de vivienda en el municipio de El Fuerte, Sinaloa. Los resultados determinaron que la resistencia a la compresión (f´c) para la muestra de referencia fue de 18 kg/cm^2 y disminuyó inversamente con el incremento de rastrojo de maíz. Con adición de RP en 1 %, 3 % y 5 %, la f´c fue 8.6, 2.5 y 2.1 kg/cm^2, respectivamente y con adición de R3 en 1 %, 3 % y 5%, de 6.5, 2 y 1.2 kg/cm^2, respectivamente. En la morfología por SEM, se obervó la formación de productos de hidratación del cemento y cal y rastrojo de maíz.

Palabras claves: vivienda rural; sustentabilidad; mortero-arcilla; cemento-cal-rastrojo de maíz.

Abstract

A modified clay mortar (AM) was prepared with 5% cement and 5% lime, by weight, added with maize stubble, powder (RP) and with a maximum size of 3 mm (R3), in 1-5. %, in weight with respect to the MA, as material for housing construction in the municipality of El Fuerte, Sinaloa. The results determined that the compressive strength (f'c) for the reference sample was 18 kg / cm^2 and decreased inversely with the increase of maize stubble. With addition of RP in 1%, 3% and 5%, the f'c was 8.6, 2.5 and 2.1 kg/cm^2, respectively and with addition of R3 in 1%, 3% and 5%, of 6.5, 2 and 1.2 kg/cm^2, respectively. In the morphology by SEM, the formation of hydration products of cement and lime and corn stubble was observed.

Keywords: rural housing; sustainability; mortar-clay; cement-lime; maize stubble.

Introducción

El municipio de El Fuerte, se ubica al norte del estado de Sinaloa, México, cubre el 7.49 % de la superficie del estado, tiene 390 localidades y una población de 97,536 habitantes (Lara et al., 2016). En México, a mediados del siglo XX hasta hoy en día, la construcción de nuevas viviendas, corresponden en gran medida a las condiciones económicas de la población, que usualmente son de interés social, son grandes consumidoras de energía y demandan un sistema de climatización artificial para poder hacerlas confortables. Generalmente estas viviendas utilizan materiales que en su producción generan grandes cantidades de dióxido de carbono (CO_2) (Zayas, 2013), como el cemento, que por cada tonelada producido se libera a la atmosfera alrededor de una tonelada de CO_2, 7% globales (Mehta, P. 2004). La vivienda puede ser construida en serie con sistemas prefabricados, con

el objetivo de cubrir las necesidades prioritarias de habitación de la población que la demanda, por tanto, la calidad de vida es enteramente sacrificada (Rojo, 2008). Una vivienda sustentable es la que busca aprovechar los recursos naturales para minimizar el impacto ambiental de la construcción sobre el ambiente natural y los habitantes, son económicamente viables, eficientes en energía, agua, con manejo adecuado de los residuos y en elección de materiales para su construcción; promueven la salud de sus habitantes, preservan el hábitat y ecosistemas, impulsan la comunidad, son de mayor calidad y su operación es menos costosa (Paz et al., 2015). Además, debe satisfacer las necesidades de la población sin explotar los recursos naturales o contaminar el medio ambiente, utilizando materiales locales y diseños apropiados a las condiciones del clima y cultura de la región, para desarrollar una construcción funcional, bella y sustentable. Es preferible utilizar materiales naturales de la región, como la tierra, la piedra, el bambú, el carrizo y la paja (Comisión Nacional Forestal, 2008). A partir de este análisis, se destaca la necesidad de desarrollar técnicas y materiales de construcción integrales que garanticen la seguridad estructural y un desarrollo urbano sostenible (Carrillo, J, y Alcocer, S.M., 2012). Por ello y considerando los efectos del cambio climático sobre el planeta, varias investigaciones se enfocan en obtener materiales para construcción que generen menos contaminantes en su propia elaboración, con mejores funciones y cualidades (Akadiri P.O., 2012).

Se han utilizado productos agrícolas para la construcción sustentable y como adición en la elaboración de morteros de arcilla-cal-cemento, tales como el bagazo de caña de azúcar, arroz y trigo, paja y cáscara, residuos de verduras, productos alimenticios, té, producción de aceite, fibra de yute, cáscara de cacahuete, residuos de madera, cáscara de coco, tallo de algodón, entre otros (Madurwar, Ralegaonkar y Mandavgane, 2013). Se estudió el comportamiento mecánico y físico del concreto con reemplazo de ceniza de bagazo de caña de azúcar por arena, en 0%, 10%, 20%, 30% y 40% en volumen, se concluye que, la fracción fina de agregado puede ser reemplazada por ceniza de bagazo de caña en 10-20% en volumen sin una considerable pérdida de trabajabilidad y propiedades de esfuerzo (Modani, P.O. y Vyawahareb, M.R., 2013). Se realizó un análisis del efecto de la ceniza fina de bagazo de caña (SCBA por sus siglas en inglés) con tamaño menor a 45 micras, y su efecto en el manejo de la mezcla y la resistencia a la compresión de morteros. Los resultados obtenidos indican que la sustitución de clinker con 20% de SCBA es apropiado para la producción a escala de laboratorio y con una relación agua/cemento de 0.735 se obtiene el adecuado manejo en sus mezclas realizadas (Muangtong *et al* 2013). Se utilizó la hoja de maíz como posible fuente de material puzolánico en sustitución parcial del cemento Portland a emplear en las obras de construcción para la elaboración de morteros y concretos, evaluando las características físicas y químicas del material, así como algunas de sus propiedades principales desde el punto de vista constructivo, entre las que destacan la resistencia a la compresión y la durabilidad, concluyendo que el material en estudio posee

grandes potencialidades de ser empleado con estos fines, en reemplazos no mayores del 20% de cemento (Águila y Sosa, 2005). Se estudió el efecto de adicionar ceniza de mazorca de maíz en sustitución del cemento en mortero de arcilla-cemento-ceniza de mazorca de maíz, dando como resultado que el reemplazo de 20% de cemento por ceniza en la mezcla mejora la absorción de agua y la durabilidad de las muestras, mientras que no hay una diferencia significativa entre la resistencia del mortero producido con 0.0 y 20.0%. A su vez, la arcilla se estabiliza dando mayor resistencia, menor conductividad térmica y menor absorción de agua que la tierra estabilizada con cemento simple (Adesanya, 1996). Existe un interés creciente en materiales de construcción de arcilla sin cocer, de buen comportamiento físico del material, y con respecto a un diseño ecológico, consciente de la necesidad de ahorro de energía y del desarrollo sostenible, que cumpla con todos los requisitos de resistencia y capacidad de servicio para la transmisión o valor térmico (Oti, Kinuthia y Bai, 2010). Se elaboraron ladrillos con arcilla (de Oxford, Inglaterra) sin cocer, estabilizada con escoria de alto horno granulada (EAHG), combinados con cemento Portland o cal, los resultados mostraron que la resistencia a la compresión de los ladrillos producidos utilizando arcilla estabilizada con cal fue mayor que los adicionados con cemento (Oti y Kinuthia, 2012). Se incorporaron residuos de la industria minera-metalúrgica en la producción de ladrillo de arcilla-cal a temperatura ambiente, de la región de Brasil (Estados de Sao Pablo, Minas Gerais, Río de Janeiro y Espíritu Santo); fue utilizado una parte de aglomerado por 10 partes de arcilla para ladrillo y a ésta mezcla se le adicionó 25%, 50% y 75% de escoria de la fabricación de aleaciones Fe-Si-Mn o polvo de esteatita, reemplazando parte de la cal; los resultados demostraron que ambos reemplazos (esteatita y escoria de Fe-Si-Mn) tienen composiciones químicas útiles para actividades puzolánicas y sus resistencias a compresión a 28 y 60 días de curado, estuvieron dentro de las especificaciones estándar (>2.0 MPa) (Ferreira W.L., Reis E.L. y Lima R.M.F., 2015).

Este trabajo de investigación se considera oportuno debido a que actualmente en el municipio de El Fuerte, Sinaloa; no se tienen diseños de vivienda construidos con materiales ecológicos, donde la generalidad de estos materiales de construcción, sean materiales de desecho o de residuos agrícolas.

Materiales y métodos

Materias primas

El experimento se realizó en el laboratorio de construcción de la Facultad de Ingeniería Culiacán y Mochis de la UAS, donde se efectuaron las mediciones y análisis para determinar las propiedades mecánicas de los materiales en estudio, bajo principios de calidad y confiabilidad. Los materiales utilizados para generar el mortero compuesto de arcilla, cal, cemento y rastrojo de maíz, fueron: arcilla natural de una ladrillera, cemento

gris tipo Portland compuesto 30-R, cal hidráulica natural y rastrojo de maíz en pacas, cosechado de predios agrícolas del valle el Fuerte; se adicionó a la mezcla agua de la red potable de la ciudad de Los Mochis, Sinaloa (Figura 1).

Figura 1. Materiales utilizados para generar el mortero arcilla-cal-cemento-rastrojo de maíz: a) Arcilla, b) Cemento Portland, c) Cal hidráulica y d) Paca de rastrojo de maíz.

Equipo

El equipo utilizado para moler el rastrojo de maíz y obtener partículas de tamaño máximo de 3 mm, fue una picadora de forraje eléctrico, modelo PD6 COMPACT MIX, con motor de 2 HP y motor eléctrico monofásico de 220 Volts (Figura 2).

Figura 2. Picadora de forraje eléctrico utilizado para obtener rastrojo en tamaño de 3 mm.

El equipo utilizado para moler el rastrojo de maíz y obtener polvo, fue una picadora de forraje eléctrico, modelo St-200, con motor eléctrico de 6.5 HP (Figura 3).

Figura 3. Picadora de forraje eléctrico utilizado para obtener rastrojo de maíz en polvo.

La resistencia a la compresión se realizó mediante una prensa universal de pruebas mecánicas, marca ELE international, con velocidad de carga de 60 kg/s. Previamente, se midió con un calibrador vernier analógico cada una de las aristas de los cubos de muestra y se tomó como dato el promedio.

La morfología se analizó mediante el microscopio electrónico de barrido Jeol JSM-5800LV.

Desarrollo del experimento

1. Procedimiento para la obtención del rastrojo de maíz molido

Se hicieron dos tipos de materiales mediante un proceso de molienda y trituración. La primera consistió en la obtención de rastrojo de maíz con tamaño de 3 mm (R3), en la que se utilizó la picadora de forraje eléctrico, introduciendo el tallo, olotes y hojas y moliéndose en tamaño de 3 mm, lo cual consigue por la potencia y cribas que tiene acopladas el molino. La producción del material utilizado fue de 10 kg de rastrojo por hora. Para la segunda obtención del rastrojo de maíz en polvo (RP), se utilizó la picadora de forraje eléctrico, en la que se introdujo el material obtenido de (R3), el rendimiento fue de 3 kg/hora. Estos agregados se adicionaron a las mezclas de mortero elaboradas con arcilla, cal y cemento (R) en proporciones de 1%, 3% y 5% respecto al peso total de la arcilla.

2. Elaboración de las mezclas

El siguiente paso consistió en el diseño de mezclas del mortero arcilla-cal-cemento rastrojo de maíz. Los tratamientos empleados se presentan en la Tabla 1. Las claves significan: R, muestra de referencia elaborada con arcilla-cemento-cal, sin adición de ningún compuesto de rastrojo (RP o R3); R31, que es el R3 con adición de 1% de rastrojo respecto al peso de la arcilla; RP1, que consistió en RP con adición de 1% de rastrojo; y en el resto de las muestras varío en la adición del porcentaje de rastrojo empleado (3 % y 5 %).

Tabla 1. Diseño de mezclas del mortero arcilla-cal-cemento- rastrojo de maíz

DISEÑO DE MEZCLA CON RASTROJO DE 3 MM Y RASTROJO EN POLVO						
CLAVE	PROPORCION	ARCILLA (gr)	CAL (gr)	CEMENTO (gr)	RASTROJO (gr)	AGUA (ml)
R	0%	850	42.5	42.5	-	240
R31, RP1	1%	841.59	42	42	8.5	240
R33, RP3	3%	825.25	41.25	41.26	24.75	260
R35, RP5	5%	809.53	40.48	40.48	40.48	340

3. Elaboración del mortero arcilla-cal-cemento-rastrojo de maíz

El proceso de mezclado y elaboración del mortero arcilla, cal, cemento y rastrojo de maíz (Figura 4) se describe a continuación: a) se pesó la materia prima; b) se mezcló el material manualmente en las proporciones deseadas con arcilla en estado seco por 5 min; c) se añadió agua a la mezcla seca, agitando por un tiempo de 15 a 30 min; d) Vertido de la mezcla en moldes de 5 x 5 x 5 cm, lubricados con aceite a temperatura ambiente; e) se elaboraron tres especímenes por cada proporción; y f) se desmoldaron a las 24 horas y se cubrieron con plástico para que conservaran humedad.

Figura 4. Proceso de mezclado y elaboración del mortero arcilla-cal-cemento-rastrojo de maíz.

Discusión y análisis de resultados

Resistencia a compresión

Los resultados de la resistencia a la compresión de las muestras de mortero ensayados con tiempo de endurecimiento a los 28 días de acuerdo a la norma C-486-ONNCCE-2014 (Pérez, A. 2015), se presentan en la Tabla 2. Se observa que la resistencia a la compresión para la muestra de referencia (R) es de 18 kg/cm^2, valor menor a 40 Kg/cm^2, que recomienda la misma norma para el mortero de arcilla cocido para uso estructural. El siguiente valor es el referido con adición de 1 % de rastrojo en polvo (RP1), se encontró que la resistencia a la compresión disminuye a 8.6 kg/cm^2 y con adición de 3% de rastrojo en polvo, a 2.5 kg/cm^2. El mismo comportamiento se tiene con la adición de rastrojo con tamaño máximo de 3 mm a 1 %, 3 % y 5 %, obteniendo resistencia a la compresión de 6.5, 2 y 1.2 kg/cm^2, respectivamente.

Tabla 2. Resultados de la resistencia a la compresión de las muestras de mortero ensayados con tiempo de endurecimiento a los 28 días

Clave	**Resistencia compresión (Kg/cm^2)**
R	18
RP1	8.6
RP3	2.5
RP5	2.1
R31	6.5
R33	2.0
R35	1.2

En la Figura 5, se muestra gráficamente la resistencia a la compresión referida, de los modelos con adición de rastrojo en polvo (RP1, RP3 y RP5), contra los que se les adicionó rastrojo con tamaño máximo de 3 mm (R31, R33 y R35). Se observa que en los tres casos, la resistencia a la compresión es menor cuando se utiliza rastrojo con tamaño máximo de 3 mm, RP1 presenta 8.65 kg/cm^2 de resistencia a la compresión, mientras que R31, 6.5 kg/cm^2, RP3; 2.5 kg/cm^2, mientras R33, 2 kg/cm^2; RP5, 2.1 kg/cm^2 y R35, 1.2 kg/cm^2

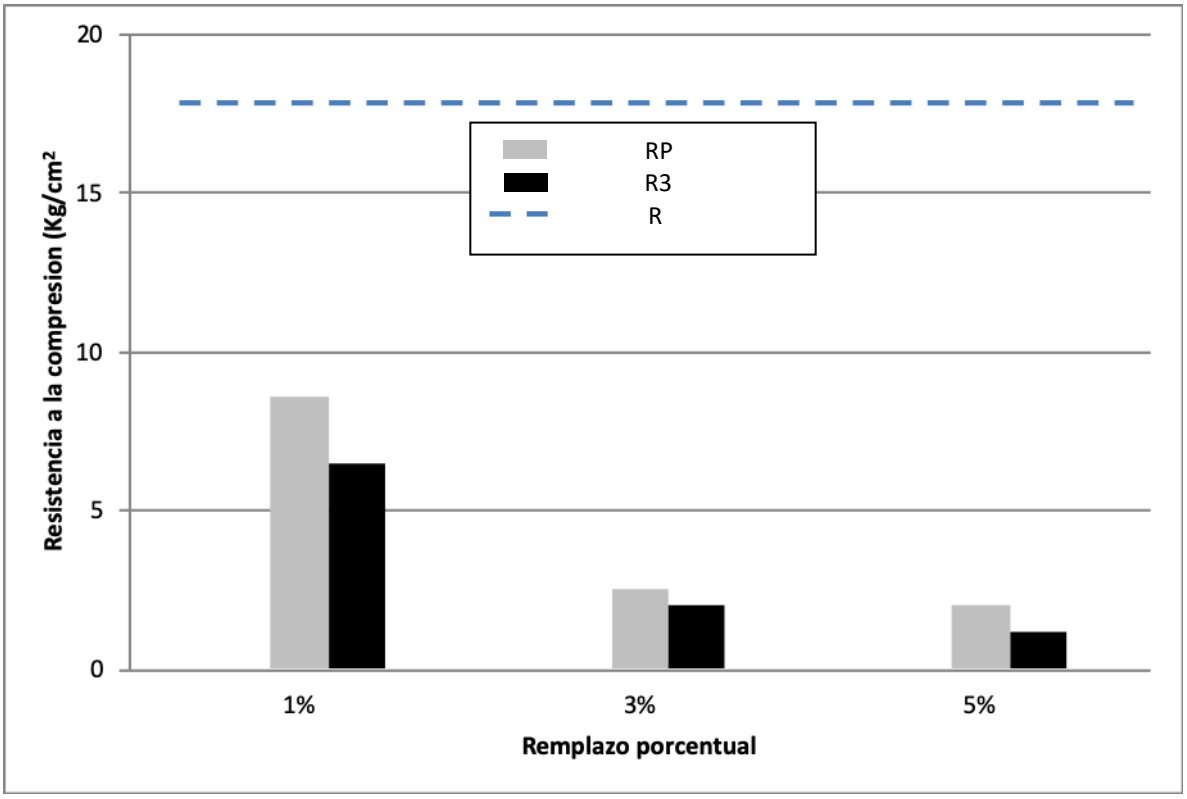

Figura 5. Efecto de RP y R3 en la resistencia a la compresión de mortero

Comparando estos resultados con el estudio realizado por Hernandez (2011), se observa que a más R3 en la mezcla de mortero de arcilla, cal y cemento, la resistencia a la compresión disminuye debido a la porosidad que genera este material, ya que la densidad de R3 es mayor.

Morfología.

En la Figura 6 se muestra la micrografía por microscopía electrónica de barrido (SEM) a 3000 aumentos, de un composito de arcilla en polvo con adición de cemento y cal, después de 28 días de su elaboración, mantenido en saturación de agua para su curado, donde se pueden observar plaquetas hexagonales, calcita en formas poliédricas irregulares, silicato de calcio hidratado (C-S-H), etringita y poros con superficie interna irregular, productos de la hidratación del cemento y de la cal, que modifican a la arcilla, reportado anteriormente [Arandigoyen M. et al., 2005; Lothenbach B. et al., 2007, Ma S. et al., 2015].

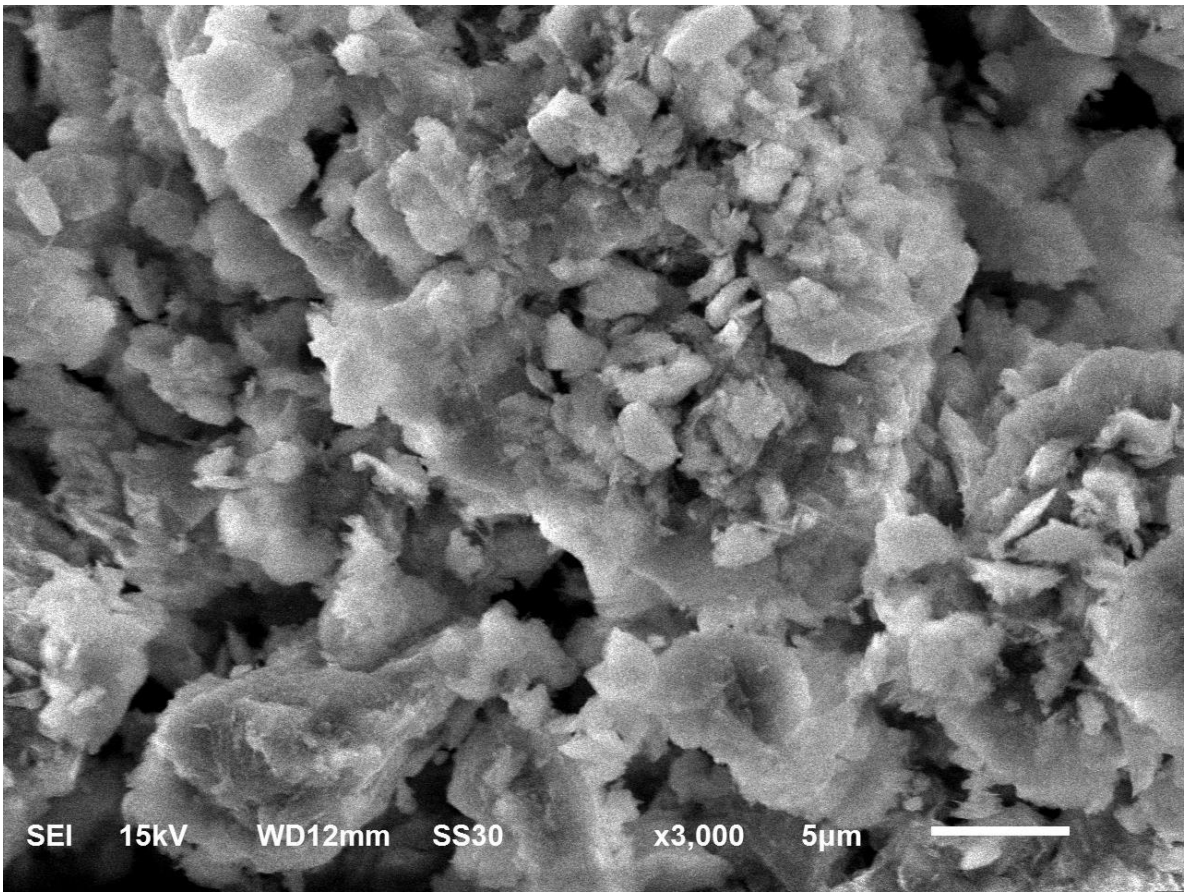

Figura 6. Micrografía por SEM a 3000 aumentos, de composito de arcilla en polvo con adición de cemento y cal, después de 28 días de su elaboración.

En la figura 7 se observa la micrografía por SEM a 3000 aumentos, de una muestra de composito de arcilla en polvo con adición de cemento, cal y rastrojo de maíz en polvo (5% de contenido por peso de arcilla), después de 28 días de su elaboración, mantenida en saturación de agua para su curado, donde se pueden observar, además de los productos de la hidratación del cemento y de la cal, fragmentos del rastrojo de maíz incorporados al composito.

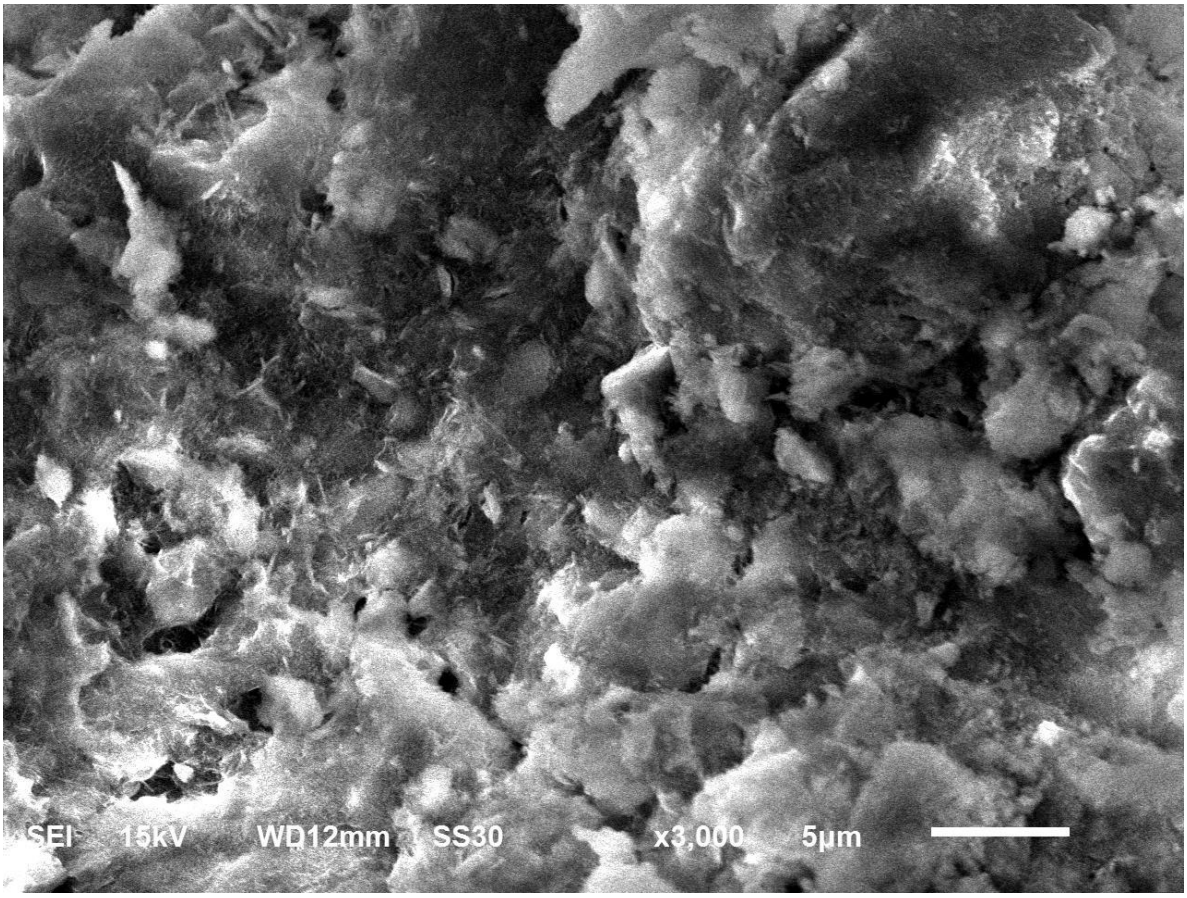

Figura 7. Micrografía por SEM a 3000 aumentos, de composito de arcilla en polvo con adición de cemento, cal y rastrojo de maíz (5%), después de 28 días de su elaboración.

Conclusiones

El empleo de rastrojo de maíz como aditivo en la elaboración de morteros de arcilla con cemento y cal, produce un material ecológico con principios de sostenibilidad, porque se utilizan materiales de desecho y favorece el empleo de menos cantidades de cemento y cal para fabricarlos.

Los morteros elaborados con arcilla, cal y cemento, sin utilizar temperatura para su cohesión, alcanzaron una resistencia a la compresión de 45 % respecto al mortero de arcilla cocido a temperatura de 900-1,100 ºC.

La adición de rastrojo de maíz en polvo o en tamaño máximo de 3 mm, y en porcentaje de peso de 1 %, 3 % y 5 % a la arcilla con cal y cemento para la fabricación de morteros, disminuye su resistencia mecánica a la compresión hasta en un 85 %.

La resistencia a la compresión disminuye inversamente con el incremento de la adición de rastrojo de maíz, correspondiente al porcentaje en peso de 1 a 5 % respecto al peso de la arcilla. La resistencia a la compresión es menor cuando se utiliza rastrojo con tamaño máximo de 3 mm respecto a utilizar rastrojo en polvo.

Los morteros elaborados con arcilla, cal y cemento, adicionados con rastrojo, pueden tener una aplicación inmediata, para aplanados y en fabricación de elementos de construcción como ladrillos de arcilla más ligeros, adoquines, elementos decorativos como celosías, entre otros.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Autónoma de Sinaloa, a la Facultad de Ingeniería Mochis, donde se desarrolló la fase experimental, a la Facultad de Ingeniería Culiacán, donde se llevó a cabo la fase de caracterización estructural y al Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, donde se realizaron los estudios de SEM.

Bibliografía

Adesanya, D.A. (1996). Evaluation of blended cement mortar, concrete and stabilized earth made from ordinary Portland cement and corn cob ash. *Construction and Building Materials*, 10-6, 451-456.

Águila, I. y Sosa, M. (2005). Evaluación de la hoja del maíz como posible fuente de material puzolánico. *Tecnología Y Construcción*, 21(3), 9–17.

Akadiri P.O., Chinyio E.A. y Olomolaiye P.O. (2012). Design of A Sustainable Building: A Conceptual Framework for Implementing Sustainability in the Building Sector. *Buildings*, 2, 126-152.

Arandigoyen M., Pérez-Bernal J.L., Bello López M.A. y Alvarez J.I. (2005). Lime-pastes with different kneading water: Pore structure and capillary porosity. *Applied Surface Science*, 252,1449–1459.

Carrillo, J., y Alcocer, S.M. (2012). Revisión de criterios de sostenibilidad en muros de concreto para viviendas sismorresistentes. *Ingeniería, investigación y tecnología*, *13*(4), 479-487.

Comisión Nacional Forestal. (2008). Tecnologías alternativas para el uso eficiente de recursos. Transferencia de Tecnología y Divulgación sobre Técnicas para el Desarrollo Humano y Forestal Sustentable. Recuperado de: http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/construccion-sustentable-casa-de-paja.pdf

Ferreira W.L., Reis E.L. y Lima R.M.F. (2015). Incorporation of residues from the minero-metallurgical industry in the production of clayelime brick. *Journal of Cleaner Production*, 87, 505-510.

Zayas, M.M., López, O. y Armenta, J. (2013). Factibilidad de construcción de casas ecológicas. *Revista de investigación académica sin fronteras.* 6(17), 1-21.

Lara, E., Sánchez, J.E., Pérez, M. y Ramírez, K. (2016). *Sistema de Información Geográfica del territorio Yoreme-Mayo en el Norte de Sinaloa* [CD-ROM]. Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa: Universidad Autónoma Intercultural de Sinaloa (UAIS).

Lothenbach B., Winnefeld F., Alder C., Wieland E. y Lunk P. (2007). Effect of temperature on the pore solution, microstructure and hydration products of Portland cement pastes. *Cement and Concrete Research*, 37, 483–491.

Ma S., Li W., Zhang S., Hu Y. y Shen X. Study on the hydration and microstructure of Portland cement containing diethanol-isopropanolamine. (2015). *Cement and Concrete Research*, 67, 122–130.

Madurwar, M. V, Ralegaonkar, R. V, y Mandavgane, S. A. (2013). Application of agro-waste for sustainable construction materials: A review. *Construction and Building Materials*, 38, 872–878.

Mehta, P. K. (2004). High-performance, high-volume fly Ash concrete for sustainable Development. Proceedings of the International Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology, Beijing, China, 3-14.

Modani, P.O. y Vyawahareb, M.R. (2013). Utilization of Bagasse Ash as a Partial Replacement of Fine Aggregate in Concrete. *Procedia Engineering*, 51, 25 – 29.

Muangtong, P., *et al* (2013). Effects of fine bagasse ash on the workability and compressive strength of Mortars. *Chiang Mai Journal of Science, 40*(1), 126–134.

Oti, J. E., Kinuthia, J. M. y Bai, J. (2010). Design thermal values for unfired clay bricks. *Materials and Design*, *31*(1), 104–112.

Oti, J. E. y Kinuthia, J. M. (2012). Stabilised unfired clay bricks for environmental and sustainable use. *Applied Clay Science*, 58, 52–59.

Paz, C.A.; Rivera, N.L. y Ledezma, M.T. (2015). El impacto de la sustentabilidad en la vivienda en serie de Nuevo León. *Contexto*, IX(11), 43-57.

Pérez, A. (2015). Norma Mexicana NMX-C-486-ONNCCE-2014 mortero para uso estructural. México, D.F, 07 de noviembre de 2014.

Rojo, J.C. (2008). Culiacán, clima y arquitectura habitacional. México DF, Distribuciones Fontamara, S.A.