

Resistencia a compresión de mortero de arcilla modificada con rastrojo de maíz para vivienda rural de El Fuerte Sinaloa

Compressive strength of modified clay mortar with maize stubble for rural housing of El Fuerte Sinaloa

Renato Vladimir Juárez-Soto¹, Estuardo Lara-Ponce¹, Olimpia Alvarado-Fierro², Carlos Hernán Lora-Urías², Manuel de Jesús Ungsson-Nieblas³ y Jorge Luis Almaral-Sánchez^{3*}

RESUMEN

Se elaboraron dos tipos de morteros de arcilla modificada con 5% de cemento y 5% de cal (AM). Uno con AM y adición de rastrojo de maíz (RM) en polvo (RP) y otro con AM y RM en fibra con tamaño máximo de 3 mm (R3), ambos en 1, 3 y 5 % (porcentajes en peso, respecto a la arcilla). Se diseñaron y elaboraron 7 mezclas para el mortero: Una de AM (R), 3 de R3 y 3 de RP (con 1, 3 y 5% cada uno) y agua, luego se colocaron en moldes de 5x5x5 cm, se mantuvieron por 24 horas a temperatura ambiente, después de eso, se desmoldaron y se cubrieron con plástico para conservar su humedad por 28 días y se sometieron a prueba de resistencia a compresión ($f'c$). Los resultados determinaron que la $f'c$ para R fue de 18 kg/cm² y disminuyó inversamente con el incremento de rastrojo de maíz. La $f'c$ para RP de 1, 3 y 5 %, fue 8.6, 2.5 y 2.1 kg/cm², respectivamente y la $f'c$ para R3 de 1, 3 y 5%, de 6.5, 2 y 1.2 kg/cm², respectivamente. En la morfología por microscopía electrónica de barrido (SEM, scanning electronic microscopy), se observó la formación de productos de hidratación del cemento y cal y rastrojo de maíz. Se propone la aplicación del mortero de AM adicionado con RM como un material sustentable para construcción de vivienda rural en El Fuerte, Sinaloa, México, de donde se extrajeron las materias primas.

ABSTRACT

Two types of modified clay mortars were made with 5% cement and 5% lime (MCM). One with MCM and addition of maize stubble (MS) in powder (MSP) and another with MCM and MS in fiber with a maximum size of 3 mm (MSF), both at 1, 3 and 5% (percentages by weight, with respect to clay). 7 mixtures were designed and elaborated for the mortar: one of the traditional MCM, three of MSF and three of MSP (with 1, 3 and 5% each) and water, then were placed in 5x5x5 cm molds, they were kept for 24 hours at room temperature, after that, were removed from the mold and covered with plastic to preserve their humidity for 28 days and were subjected to a compression resistance test ($f'c$). The results determined that the $f'c$ for the traditional MCM was 18 kg/cm² and it decreased inversely with the increase in corn stubble. The $f'c$ for MSP of 1, 3 and 5%, was 8.6, 2.5 and 2.1 kg/cm², respectively and the $f'c$ for MSF of 1, 3 and 5%, of 6.5, 2 and 1.2 kg/cm², respectively. In the morphology by SEM, the formation of hydration products of cement and lime and maize stubble was observed. The application of MCM added with MS is proposed as a sustainable material for rural housing construction in El Fuerte, Sinaloa, Mexico, from where the raw materials were extracted.

Recibido: septiembre 2018
Aceptado: enero 2019
Publicado: julio 2021

Palabras Clave:

vivienda rural, sustentabilidad, mortero-arcilla, cemento-cal-rastrojo de maíz.

Keywords:

rural housing, sustainability, mortar-clay, cement-lime, maize stubble.

1. 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

*Autor para correspondencia: Jorge Luis Almaral-Sánchez
Dirección de correo electrónico: jalmaral@uas.edu.mx

¹ Universidad Autónoma Indígena de México, Unidad Los Mochis, Posgrado en Ciencias en Desarrollo Sustentable de los Recursos Naturales, México. ² Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ingeniería Culiacán, Departamento de Laboratorios, México. ³ Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ingeniería Mochis, Posgrado en Ciencias de la Ingeniería, México

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 atmósfera alrededor de una tonelada de CO_2 , 7% globales (Mehta, 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, y Alcocer, 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, 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 cacahuate, residuos de madera, cáscara de coco, tallo de algodón, entre otros (Madurwar, et.al., 2013). Se evaluó el rendimiento mecánico, físico y electroquímico en

morteros con consistencia plástica según ASTM C 1437-99, reemplazo del cemento Portland ordinario (OPC) por ceniza de cáscara de arroz (RHA) y óxido de sílice nano (nSO), conduciendo estudios de resistencia mecánica a la compresión simple, porosidad, absorción superficial, prueba rápida de penetración de cloruro (RCPT) y corrosión acelerada en morteros con reemplazos de OPC de 1.0% de nSO y 20.0% de RHA. Según los resultados, el uso simultáneo de nSO + RHA tiene un mayor rendimiento en las propiedades de los morteros con disminuciones en la porosidad y la carga total pasada de 3.9% y 75.6%, y un aumento en la resistencia a la compresión y corrosión de 7.1% y 37.6%, respectivamente (Pellegrini et al., 2013). Se investigó la influencia de la carbonatación en morteros que contienen un 25% de ceniza volante en sustitución del material cementante. Se fabricaron especímenes cilíndricos de mortero para cuatro relaciones agua/cemento (A/C) de 0.35, 0.45, 0.55 y 0.65. Los morteros con y sin ceniza volante fueron sometidos a un proceso acelerado de carbonatación. Se determinó el peso volumétrico, la absorción, la resistencia a la compresión, la permeabilidad al agua, el PH y la porosimetría por intrusión de mercurio. Por efecto de la potencialidad puzolánica de la ceniza volante, para las cuatro relaciones A/C, los resultados de la resistencia a la compresión a los 28 días de los morteros con y sin ceniza volante permanecen similares. Los morteros con ceniza volante presentan coeficientes de permeabilidad al agua, a 28 días, similares a los morteros sin ceniza volante. Para todos los morteros, los resultados de los análisis porosimétricos indican que la porosidad disminuye por efecto de la carbonatación (Valdez et al., 2009). Se investigó el efecto de la ceniza del bagazo de caña de azúcar (SBAS por sus siglas en inglés) en los morteros, específicamente su resistencia a la compresión, porosidad, profundidad de carbonatación y penetración de cloruro. La sustitución de arena natural por SBAS, especialmente con un contenido del 30%, puede llevar a mantener las propiedades mecánicas, la obstrucción de microporos y la mejora de la durabilidad de los morteros, en comparación con una mezcla de referencia (Almeida et al., 2015). 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 mezclaron diferentes tipos de arcilla con paja de arroz (RS) y celulosa microcristalina (MCC) en presencia o ausencia de polvo de horno de cemento (CKD) para producir nuevos tipos de ladrillo. Las relaciones de RS y MCC fueron 0, 5 y 10% p/p en ausencia de MCC, mientras que se mantuvieron al 5% p/p en su presencia. Las muestras producidas se compararon con ladrillos “mezclados” preparados con un 10% p/p de MCC, a temperaturas hasta 1000 ° C y su superficie y composición se estudiaron con SEM y XRD. Además, se determinaron las propiedades químicas y físicas de los ladrillos preparados. La introducción de RS redujo tanto la resistencia a compresión como la densidad aparente, pero aumentó la porosidad de las muestras preparadas. La presencia de MCC solo aumentó la resistencia a la compresión, mientras que la combinación de RS con CKD superó la disminución de la fuerza resultante de la presencia de RS solo.

Esto ha permitido la producción de ladrillos ligeros de bajo costo con una resistencia a la compresión cercana a los ladrillos sin mezclar, especialmente a altas temperaturas de cocción (Mohammed, 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 investigaron las propiedades mecánicas y el análisis morfológico de Al-Si-Mg compuestos de partículas de tallo de maíz carbonizado de Al-Si-Mg y las partículas de tallo de maíz carbonizado como refuerzo que varía del 2% al 10% en un intervalo del 2%. Los resultados de las microestructuras del material compuesto muestran

una dispersión uniforme del refuerzo a lo largo de los límites de grano de la aleación. La resistencia a la tracción y dureza aumentan a 85.60 N / mm² y 24HRB a 8 y 10% en peso de tallo de maíz carbonizado, respectivamente, pero hay una ligera disminución en los valores de energía de impacto, valores de porcentaje de alargamiento y reducción de porcentaje en el área como refuerzo aumenta. Se concluyó que las partículas de maíz reforzadas y carbonizadas se pueden utilizar para mejorar las propiedades de la aleación de Al-Si-Mg para aplicaciones de ingeniería (Oghenevweta, et al., 2013). 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, et al., 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., et al., 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.

2. 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 ca-

lidad 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).

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 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.



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).

La resistencia a la compresión se realizó mediante una prensa universal de pruebas mecánicas, marca ELE internacional, 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, olores y hojas y moléndose 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 varió en la adición del porcentaje de rastrojo empleado (3 % y 5 %).

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

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

Mortero	Rastrojo		Cal (gr)	Cemento (gr)	Arcilla (gr)	Agua (ml) (25%)
	%	(gr)	(5%)	(5%)	(100%)	
R	0%	-	42.5	42.5	850	233.75
RP1	1%	8.5	42.075	42.075	841.5	242.98
RP3	3%	25.5	41.225	41.225	824.5	260.75
RP5	5%	42.5	40.375	40.375	807.5	277.58
R31	1%	8.5	42.075	42.075	841.5	242.98
R33	3%	25.5	41.225	41.225	824.5	260.75
R35	5%	42.5	40.375	40.375	807.5	277.58



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

3. 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, 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/cm², valor menor a 40 Kg/cm², 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/cm² y con adición de 3% de rastrojo en polvo, a 2.5 kg/cm². 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/cm², respectivamente. 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/cm² de resistencia a la compresión, mientras que R31, 6.5 kg/cm², RP3; 2.5 kg/cm², mientras R33, 2 kg/cm²; RP5, 2.1 kg/cm² y R35, 1.2 kg/cm², respectivamente.

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 compuesto 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

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

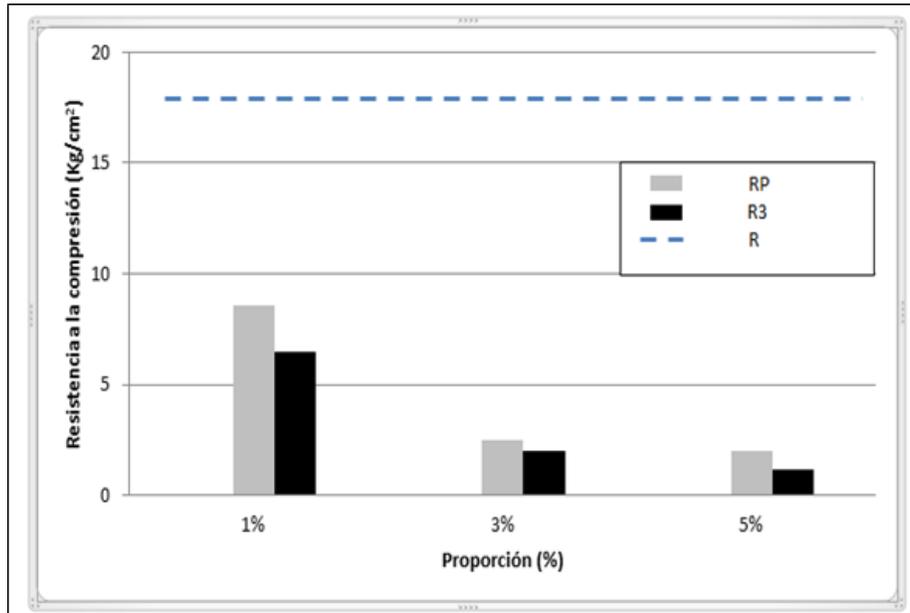


Figura 5. Efecto de RP y R3 en la resistencia a la compresión de mortero.

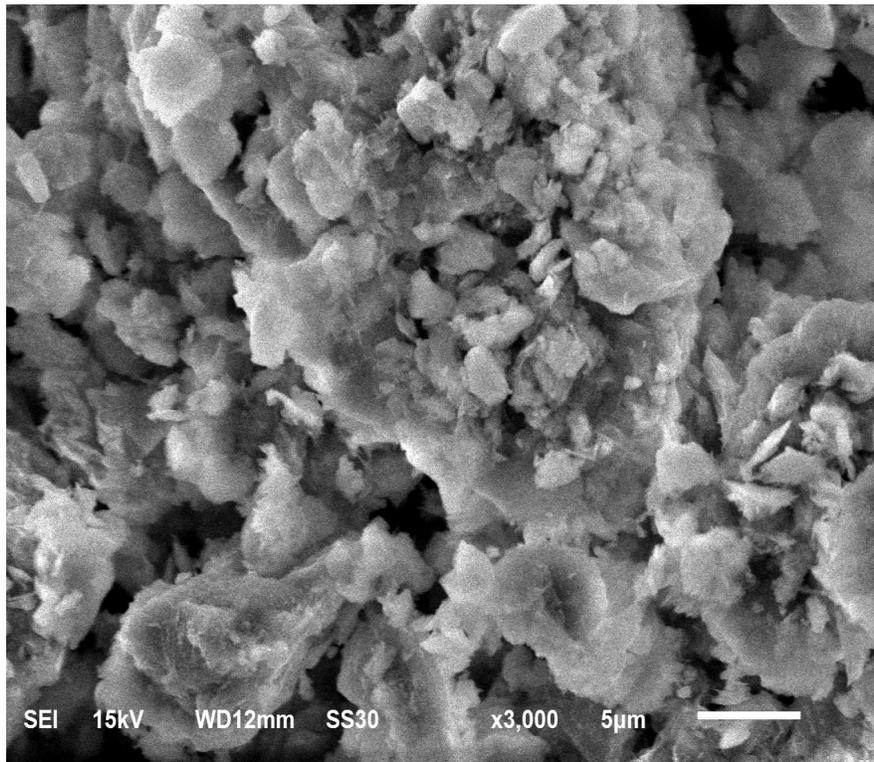


Figura 6. Micrografía por SEM a 3000 aumentos, de compuesto de arcilla en polvo con adición de cemento y cal, después de 28 días de su elaboración.

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).

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.

4. 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, son materiales nuevos, porque hasta la fecha se han elaborado solo con altas temperaturas. Estos morteros alcanzaron una resistencia a la compresión de 45 % respecto al mortero de arcilla cocido a temperatura de 900-1,100 °C.

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.

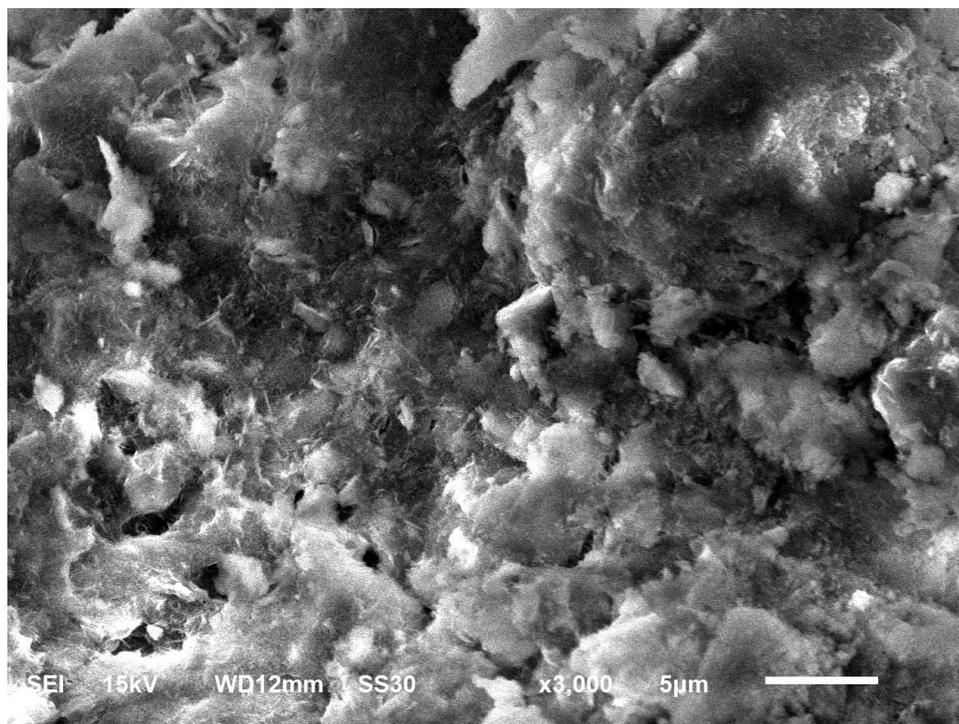


Figura 7. Micrografía por SEM a 3000 aumentos, de composito de arcilla en polvo con adición de cemento, cal y rastrojo de maíz (5%), después de 28 días de su elaboración.

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.

REFERENCIAS

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.

Almeida, F., Sales, A., Moretti, J., y Mendez, P. (2015). Sugarcane bagasse ash sand (SBAS): Brazilian agroindustrial by-product for use in mortar. *Construction and building materials*, 8, 31-38.

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 claylime 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]. Mochichahui, 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.

Mohammed, M. S., Ahmed, A. E.-S. I., Osman, R. M., & Khatat, I. (2013). Combinations of organic and inorganic wastes for brick production. *Polymer Composites*, 35(1), 174-179.

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.

Oghenevweta, J. E., Aigbodion, V. S., Nyior, G. B., & Asuke, F. (2016). Mechanical properties and microstructural analysis of Al–Si–Mg/carbonized maize stalk waste particulate composites. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 28(2), 222–229.

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.

Pellegrini-Cervantes, M.J., Almeraya-Calderon, A, Baldenebro-Lopez, F.J., Nuñez Jaquez, R.E., Fajardo-San-Miguel, G., Chacón-Nava, J.G., Barrios-Durstewitz, C.P., Martinez-Villafañe, A. (2013). Chloride Penetration in mortars with replacements of rice husk Ash and nano-SiO₂. *IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN)*, 3-12, 24-30.

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.

Valdez, P., Duran, A., Fajardo, G., y Juárez, C. (2009). Influencia de la carbonatación en morteros de cemento Portland y ceniza volante. *Revista ingeniería investigación y tecnología*, 10(1), 39-49.