

# Evaluación de las propiedades físico mecánicas de ladrillos de arcilla recocida, elaborados con incorporación de residuos agrícolas, caso Chiapas, México

Eddy González García<sup>1</sup>, Liliana Lizárraga Mendiola <sup>2</sup>

*Fecha de recepción: febrero de 2015 – Fecha de aprobación: mayo 2015*

## RESUMEN

Una alternativa de solución a la contaminación por la disposición final de los residuos agrícolas, es la de incorporarlos a la fabricación de materiales de construcción. El tipo de residuo generado dependerá de cada región o país, por lo tanto siguiendo esa tendencia, este artículo presenta los resultados del análisis realizado a los ladrillos de cerámica roja fabricados en la Ribera de Cupía, del municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas, México, con la adición de residuos agrícolas como el cascabillo de café, la cáscara de coco y el olote de maíz, cuyas producciones son abundantes en esta entidad. Las proporciones utilizadas en la mezcla con la arcilla son las siguientes: 0%, 4%, 8% y 12% en peso, a temperaturas de cocción de 800°C, 900°C, y 1,000°C, en un horno tipo industrial. Las características evaluadas son: Resistencia a la compresión y absorción comparándolas con los parámetros establecidos en la normatividad nacional para ladrillos estructurales y no estructurales. Los resultados indican que para la resistencia a la compresión y de absorción de un ladrillo estructural, es necesario elevar la temperatura de cocción alrededor de 1,000°C. En cambio para el ladrillo no estructural, es suficiente elevar la temperatura a 900°C; este último permite la adición de hasta 4% en peso de cascabillo de café, y olote de maíz, con excepción de la cascara de coco que no cumple con los requerimientos mínimos de absorción.

**Palabras clave:** arcilla, cerámica, ladrillo, residuos agrícolas.

## Evaluation of physical and mechanical properties of annealed clay bricks made with incorporation of agricultural residues, in Chiapas, Mexico

### ABSTRACT

An alternative solution to pollution from the disposal of agricultural residues is their incorporation in the manufacture of building materials. The type of waste generated will depend of each region or country, so following that trend, this paper presents the results of the analysis performed on red ceramic bricks, manufactured in the Ribera de Cupía, municipality of Chiapa de Corzo, Chiapas, Mexico, with the addition of biomass waste as coffee husk, coconut husk and corn cob, whose productions are abundant in Chiapas. The proportions used in the mix with clay are as follows: 0%, 4%, 8% and 12% by weight at of 800°C, 900°C, and 1,000°C, in an industrial kiln. The characteristics evaluated are the compressive strength and absorption compared with the parameters established in national regulations for structural and non-structural bricks. The results indicate that for compressive strength of a structural clay brick used in this work, it is necessary to raise the temperature of around 1,000°C. In contrast to the non-structural brick, it is sufficient to raise the temperature up to 900°C; the latter allows the addition of coffee husks, coconut husk and corn cobs up to 4% by weight. This also meets the requirements in national regulations for the rate of absorption.

**Keywords:** Clay, ceramic, brick, agricultural wastes.

---

<sup>1</sup> Estudiante del Programa de Doctorado Interinstitucional en Ingeniería Civil en el Consorcio de Universidades Mexicanas (DIIC-CUMex), Universidad Autónoma de Chiapas. Correo electrónico: ing\_egonzalez@hotmail.com

<sup>2</sup> Profesora investigadora de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Área Académica de Ingeniería. Correo electrónico. lililga.lm@gmail.com.

**Nota:** El período de discusión está abierto hasta el 1° de septiembre de 2015. Este artículo de investigación es parte de Ingeniería– Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, Vol. 19, No.2, 2015, ISSN1665-529-X.

## **INTRODUCCIÓN**

Las grandes cantidades de residuos producto del proceso de la agricultura, representan un problema de contaminación, puesto que éstos son incinerados en su mayoría en el mismo lugar donde se generan. La reutilización de estos residuos al ser incorporados en la fabricación de materiales de construcción parece ser la solución más sustentable posible (Raut et al. 2011). La cantidad y disponibilidad de los residuos agrícolas, dependerá de cada región, un ejemplo claro es el estudio realizado por Madurwar et al. (2013), quienes determinan que la acumulación de residuos agrícolas se convierte en un problema de contaminación. Sin embargo, consideran como una alternativa de solución el agregar estos residuos al proceso de producción del ladrillo. Es importante señalar que la resistencia a la compresión de los ladrillos, así como su porcentaje de absorción depende directamente del tipo de arcilla, así como de la temperatura de cocción a la que ésta fue expuesta (Santos et al. 2011). Es decir, de acuerdo con los datos anteriores, a mayor índice plástico y menor contenido de arena, los resultados serán más favorables, independientemente de los residuos orgánicos que se agreguen a la mezcla (Afanador et al. 2013). En ese sentido, Demir (2008) evaluó el efecto de la adición de residuos orgánicos a la mezcla durante la producción de ladrillos, a través de las propiedades físicas y mecánicas. Para ello, utilizó residuos de tabaco, aserrín y pasto en proporciones de hasta 10% en peso. La temperatura de cocción fue de 900°C durante 60 minutos en un horno eléctrico y los resultados de la resistencia a la compresión alcanzan hasta 9.85 MPa.

Por otro lado, Chiang et al. (2009) analizaron ladrillos fabricados con arcilla extraída de lodos residuales y cenizas de la cascarilla de arroz, en proporción de hasta 20% en peso y una temperatura de cocción de 900 a 1,100°C, manteniéndolo durante 180 minutos. Los resultados que superaron los parámetros especificados en los códigos de requerimientos para ladrillos, fueron aquellos en donde se utilizaron menos del 15 % de cenizas de cáscara de arroz y temperaturas arriba de los 1,000°C. Martínez et al. (2012) realizaron pruebas en ladrillos cuya mezcla incluía bagazo de caña residuo de la industria cervecera. Los especímenes se prepararon con las cenizas del residuo antes mencionado agregando el 2.5, 5.0, 7.5, y 10% en peso; cabe señalar que la arcilla fue finamente molida y también llevó un proceso de prensado a 54.5 MPa, aun que no se informa sobre la caracterización física de la arcilla que indique la granulometría y su índice plástico. La temperatura de cocción fue de 950°C durante una hora. Los resultados de la prueba de compresión

confirman que todos los especímenes superaron los 10 MPa. En el trabajo realizado por Barbieri et al. (2013) se emplearon residuos tales como las cenizas de las semillas de uva, aserrín, semillas de cereza y de caña de azúcar. Se adicionaron 5 y 8% de residuos en peso, generando así diferentes muestras, siendo la M0 el espécimen de referencia sin adición de residuos; M1 aserrín en 5%; M2 semilla de uva en 5%; M3 semilla de cereza en 5%; M4 semilla de uva al 8%; M5 semilla de cereza al 8% y M6 caña de azúcar al 5%. Las muestras se prensaron de manera uniaxial a 25 MPa y se cocieron en un horno eléctrico a temperaturas de 950°C y 1,000°C, durante 172 min. Las pruebas del módulo de la rotura que se obtuvieron, demostraron que las cenizas del residuo de caña obtuvieron 28MPa a 1,000°C. Al igual que en los ejemplos anteriores, el hecho de utilizar residuos orgánicos, tiene ventajas tales como la reducción del volumen de arcilla, la reutilización de residuos de bajo costo y el aprovechamiento del poder energético de éstos.

El estado de Chiapas, México, no es ajeno a la problemática de la generación de residuos agrícolas, siendo la quema sin ningún aprovechamiento de este material, práctica común entre los agricultores en algunas regiones del estado, provocando emisiones de hasta 50 gr de CO<sub>2</sub> equivalente (Jiménez et al. 2011). Dentro de los cultivos más populares se encuentran el maíz (*Zea mays*), el café (*coffea arabica*) y el coco (*cocos nucifera*). Para el año 2013, se tuvo una producción de 1,529,385 toneladas de maíz (quinto lugar a nivel nacional) y 499,105 toneladas de café (primer lugar a nivel nacional) (SIAP, 2014). Cuenta además con una superficie plantada de 2,000 hectáreas de coco, ocupando el séptimo lugar a nivel nacional (CONACOCO, 2012). Debido a lo anterior, el presente trabajo incorpora cascabillo de café (endocarpio), cáscara de coco (mesocarpio) y olote de maíz (raquis) en el proceso de fabricación del ladrillo de cerámica roja, evaluando sus propiedades físicas y mecánicas, de acuerdo con la normatividad nacional. La resistencia a la compresión y prueba de absorción se determinaron conforme a la norma N CMT 2 01 001/02; la NMX-C-441-ONNCCE-2013 y la Norma NMX-C-404-ONNCCE-2012.

## **METODOLOGÍA**

El área de estudio que se propone para el presente proyecto es la Ribera de Cupía, en el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas (Figura 1). Esta área es conocida por su producción ladrillera y se encuentra ubicada al margen izquierdo del río Grijalva, a 9 km, al sureste de Tuxtla Gutiérrez, capital del estado de Chiapas. Se ubica entre las coordenadas geográficas 16° 40' 07" latitud norte y 93° 01' 01" longitud oeste,

con un rango de altitud de 200 a 999 msnm. En cuanto a los datos hidrográficos, la Ribera de Cupía pertenece a la cuenca del río Grijalva, así como a la subcuenca del río Santo Domingo. La forma del terreno donde se asienta la localidad está comprendida por laderas tendidas con lomeríos. Éstas se localizan dentro de la provincia fisiográfica Sierras de Chiapas y Guatemala (INEGI, 2010).

El tipo de clima es cálido subhúmedo, con precipitaciones promedio anuales de 991.2 mm; siendo los meses junio y septiembre los que presentan mayor precipitación, en promedio de 211.5 mm y 201.8 mm respectivamente. En contraste, los meses con menor precipitación en promedio son enero y febrero con 0.5 mm y 1.5 mm respectivamente. Por otro lado, la temperatura promedio anual es de 26.7 °C y los meses con las más altas temperaturas son abril y mayo, con 37.1 °C y 36.9 °C respectivamente, mientras que los meses con las más bajas

temperaturas son enero y diciembre, con 15.7 °C y 16.4 °C respectivamente (SMN, 2014).

Para localizar las ladrilleras de la Ribera de Cupía, se realizó un estudio de campo encontrando 5 ladrilleras artesanales (Figura 2). En promedio, trabajan 4 personas en cada una y tienen una producción de 30,000 ladrillos mensuales en época de estiaje. Esta producción se puede reducir a 15,000 ladrillos mensuales en época de lluvia, debido a la complicación de poder secar los ladrillos al aire libre. El costo de este producto en el sitio de fabricación es de setecientos pesos el millar y, dado que no cuentan con vehículos para realizar entregas a domicilio, resultan necesarios los intermediarios para hacer llegar el ladrillo al sitio donde se requiera, por lo que el costo puesto en obra se incrementa por el concepto de flete.



**Figura 1.** Localización de la Ribera de Cupía, Chiapas de Corzo, Chiapas.



**Figura 2.** Localización de ladrilleras en La Ribera de Cupía (1, 2, 3, 4 y 5).

Como se observa en la Figura 3, el proceso de fabricación del ladrillo no ha cambiado mucho a través del tiempo. Éste involucra una serie de pasos, iniciando con el de la extracción de la arcilla con herramienta básica como pico y pala. Posteriormente, sigue el mezclado de la arcilla con agua. Después viene el moldeado con un molde de madera para 5 ladrillos, con medidas de 5 cm de espesor, 13 cm de ancho y 26 cm de largo. Al terminar el moldeado, se deja secar el material y el tiempo de secado varía según las condiciones del clima (puede ser de 3 a 10 días).

La cocción se realiza con hornos intermitentes a cielo abierto, con capacidades máximas de 30,000 ladrillos; el tiempo promedio de cocción es de 30 horas. El combustible que utilizan es madera residual de tarimas que obtienen de una empresa refresquera, cuyas bodegas están próximas a las ladrilleras; estas tarimas están hechas con madera de pino. Por último, el almacenamiento se hace al aire libre a un lado del mismo horno, esperando a los intermediarios para realizar la negociación.

Posteriormente, se recolectaron 10 ladrillos en cada ladrillera y se analizaron en el laboratorio de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH). Se determinaron las diferentes

características físicas y mecánicas que presentaban los ladrillos antes de las adiciones de los residuos agrícolas y se compararon con los parámetros establecidos en las normas nacionales correspondientes. Cabe señalar que para la resistencia a la compresión se obtuvo del promedio de 5 ladrillos ensayados y para la prueba de absorción también se obtuvo de 5 ladrillos de acuerdo a lo establecido en las normas N CMT 2 01 001/02; la NMX-C-441-ONNCCE-2013 y la Norma NMX-C-404-ONNCCE-2012. Además, se tomó una muestra de aproximadamente 50 kg de arcilla, para la determinación de la granulometría, peso volumétrico y límites de plasticidad, mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.)

Posteriormente se fabricación nuevos ladrillos con la adicción de residuos agrícolas como son la cáscara de coco, olote de maíz y el cascabillo de café. Para lo anterior, fue necesario recolectar una muestra 50 kg previamente molido en un molino agrícola como se observa en la Figura 4, para cada uno de los residuos agrícolas propuestos, el tiempo de molienda fue de aproximadamente 3 horas para la cascara de coco, 2 horas para el olote de maíz y de una hora para el cascabillo de café.

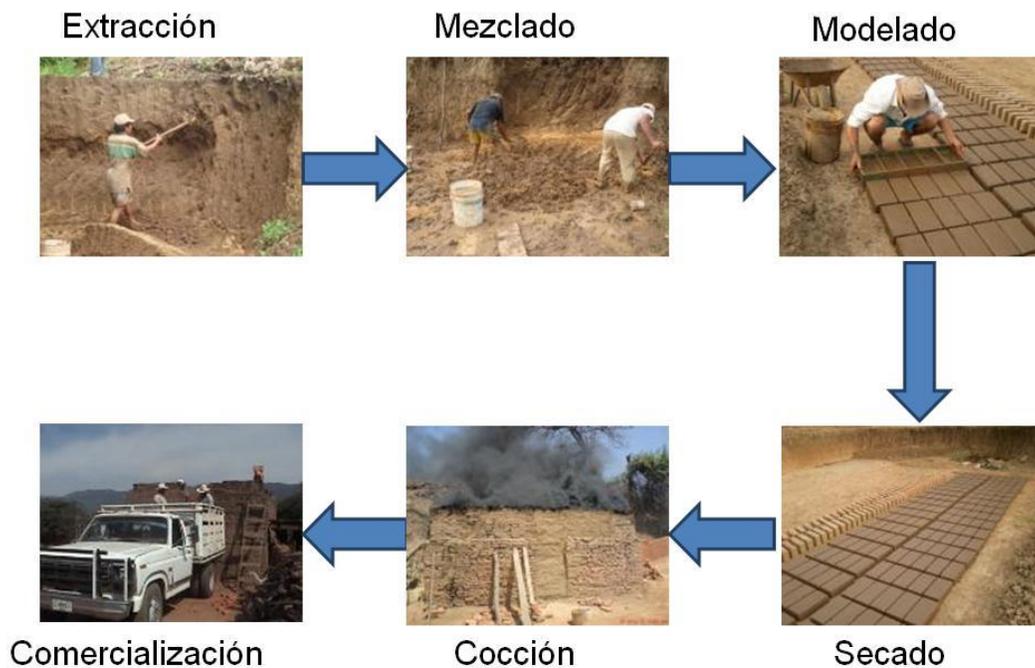


Figura 3. Proceso de fabricación del ladrillo.



Figura 4. Molienda de los residuos agrícolas

En el laboratorio de la Facultad de Arquitectura de la UNACH se realizaron pruebas de granulometría y peso volumétrico para su caracterización física. Uno de los aspectos importantes de este estudio, fue la fabricación de 15 ladrillos para cada muestra de residuos agrícolas, tomando como base un ladrillo con 0% de adición y los demás con proporciones de 4%, 8% y 12% en peso con cascabillo de café, cáscara de coco y olote, así como su cocción en un horno tipo industrial a 800°C, 900°C y 1,000°C, dando como resultado 10 mezclas diferentes de 15 ladrillos cada una y 3 temperaturas de cocción para obtener un total de 450 ladrillos.

Se analizaron los nuevos ladrillos elaborados con residuos agrícolas en el laboratorio de la Facultad de Arquitectura de la UNACH, para conocer la resistencia a la compresión y realizar la prueba de absorción, de acuerdo a las normas antes señaladas (Figura 6).

Con los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión y la absorción, se comprobó el número de muestras necesarias para nivel de confianza del 95% y un error muestral del 4%, mediante la ecuación

$$n = \frac{z^2 \sigma^2}{e^2},$$

en donde:

n = número de muestra

$z^2$  = nivel de confianza (para 95%,  $Z = 1.96$ )

$\sigma^2$  = varianza

$e^2$  = error muestral

Posteriormente se analizaron los resultados de la resistencia a la compresión y absorción, mediante una regresión lineal múltiple del tipo  $Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \dots + b_nX_n$ , y con el programa estadístico del SPSS (*Statistical Product and Service*

*Solutions*) con el propósito de conocer la correlación entre las variables independientes y la variable dependiente descritas en la Tabla 1.

## RESULTADOS

En la Tabla 2 se observa que todas las ladrilleras cumplen con la norma N CMT 2 01 001/02, la cual establece la resistencia mínima para estructuras de albañilería simple con cargas bajas de compresión axial. También cumplen la norma NMX-C-441-ONNCCE-2013, para ladrillos no estructurales. Sin embargo, para la resistencia mínima que especifica la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012 para uso estructural, ninguna de las ladrilleras cumplen con este parámetro, incluso existe una gran dispersión de los resultados entre la mínima resistencia de 42.12 kg/cm<sup>2</sup> y la máxima de 91.79 kg/cm<sup>2</sup>.

En la Tabla 3 se observa que las 5 ladrilleras cumplieron con los parámetros máximos establecidos en las normas N CMT 2 01 001/02, NMX-C-037-ONNCCE-2004 y NMX-C-404-ONNCCE-2012, lo que indica que la porosidad del material es adecuada y su capacidad para retener humedad es mínima, lo que impacta directamente en la durabilidad del material.

Después de analizar los especímenes de las 5 ladrilleras, se eligió a la ladrillera 2 de la Figura 2 como referencia para el presente estudio, debido a la disposición del dueño de la misma a participar en el proyecto, así como su adecuada accesibilidad. Posteriormente, se extrajo una muestra de 50 kg de la arcilla y fue llevada al laboratorio de materiales para determinar sus propiedades físicas, mediante el método del S.U.C.S. como se observa en la Tabla 3. Se destaca que la clasificación para este tipo de suelo es de una arcilla arenosa.

En la Tabla 5 se presentan los resultados de la determinación del peso volumétrico y módulo de finura de los residuos agrícolas utilizados en este estudio, como son cascabillo de café, cáscara de coco y olote de maíz. Dichos residuos fueron obtenidos a través de un proceso de molido para utilizarlos en la fabricación de los nuevos ladrillos.



Figura 6.- Prueba de absorción y de resistencia a la compresión.

**Tabla 1.** Variables dependientes e independientes analizadas en una regresión múltiple.

Variable dependiente (Y)	Variable independiente (X <sub>1</sub> )	Variable independiente (X <sub>2</sub> )
Resistencia a la compresión	Cantidad de residuo agrícola	Temperatura de cocción
Absorción de agua	Cantidad de residuo agrícola	Temperatura de cocción

**Tabla 2.** Resistencia a la compresión de ladrillos de 5 ladrilleras diferentes de la región de Cupía, Chiapas.

Ladrillera	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	N CMT 2 01 001/02 (kg/cm <sup>2</sup> )	NMX-C-441-ONNCCE- 2013 (kg/cm <sup>2</sup> )	NMX-C-404-ONNCCE- 2012 (kg/cm <sup>2</sup> )
1	78.9			
2	42.12			
3	47.56	20.3	30	110
4	96.76			
5	91.79			

Fuente: UNACH (2013).

**Tabla 3.** Absorción en ladrillos de 5 ladrilleras diferentes de la región de Cupía, Chiapas.

Ladrillera	Absorción máxima en 24 horas (%)	N CMT 2 01 001/02 (%)	NMX-C-441- ONNCCE-2013 (%)	NMX-C-404- ONNCCE-2012 (%)
1	17.96			
2	13.44			
3	18.98	24	25	23
4	14.09			
5	15.94			

Fuente: UNACH, 2013

**Tabla 4.** Propiedades físicas de la arcilla mediante el S.U.C.S.

Caracterización física	Valor
Peso volumétrico húmedo del lugar (kg/m <sup>3</sup> ):	1,300
% humedad natural:	8.58
Peso volumétrico seco suelto (kg/m <sup>3</sup> ):	1,167
% de grava:	0
% de arena:	31.10
% de finos:	68.90
Límite líquido (%):	32.89
Límite plástico (%):	20.07
Índice plástico (%):	12.82
Contracción lineal (%):	4.25
Zona de la carta de plasticidad:	II - CL
Clasificación suelos:	Arcilla arenosa

Fuente: UNACH, 2013.

**Tabla 5.** Propiedades físicas de los residuos agrícolas.

Residuo agrícolas	Peso volumétrico (kg/cm <sup>3</sup> )	Módulo de finura
Cascabillo de café	379.17	2.52
Cáscara de coco	104.17	1.08
Olote de maíz	250.00	3.72

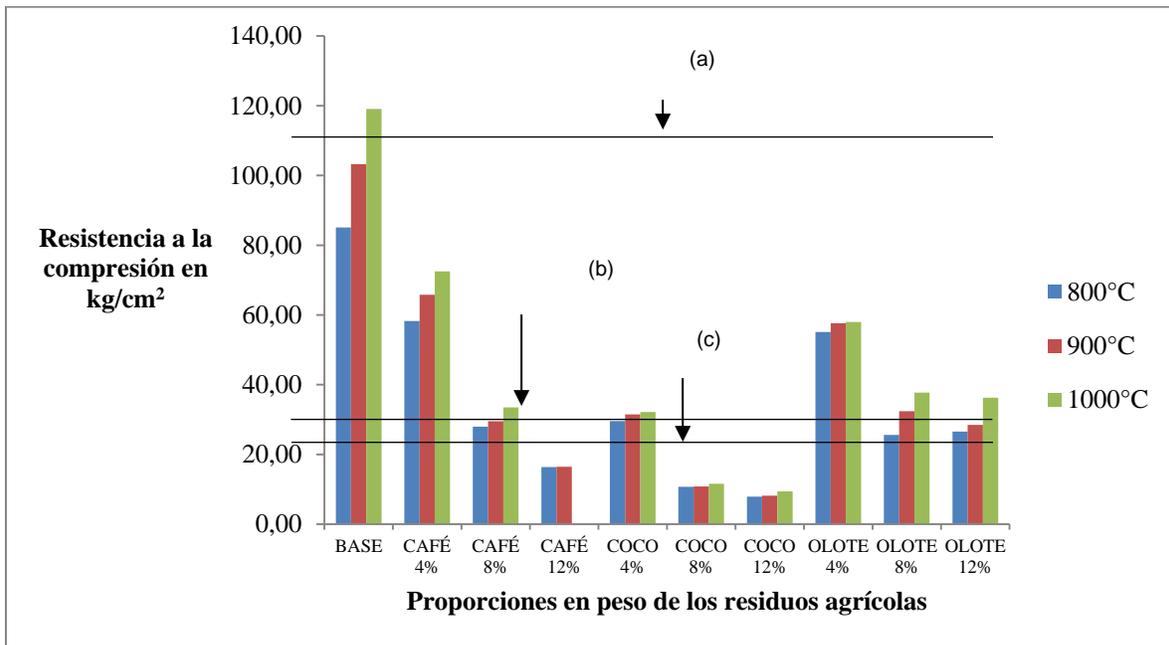
Fuente: UNACH, 2013.

Con los resultados del análisis de la arcilla, así como de los residuos agrícolas, se fabricaron los nuevos ladrillos con proporciones de 4%, 8% y 12% en peso con cascabillo de café, cáscara de coco y olote de maíz, a una temperatura de cocción a 800°C, 900 °C y 1,000°C en un horno tipo industrial, cuyos resultados de resistencia a la compresión se pueden observar en la Figura 4.

Los resultados observados en la Figura 7 indican que para alcanzar la resistencia estructural, se debe elevar la temperatura de cocción a alrededor de 1,000°C, debido a la calidad de la arcilla. Por otro lado, para cumplir con los parámetros de las normas de un ladrillo no estructural, se puede adicionar hasta 8% en

peso de cascabillo de café; hasta 12% en peso para el olote; y hasta 4% en peso de cáscara de coco, todos con temperaturas de cocción arriba de los 900°C.

Sin embargo, los resultados de la prueba de absorción de la Figura 8 de los diferentes especímenes observados y siguiendo el mismo criterio del valor de la temperatura entre 900°C y 1,000°C de cocción, para lograr la resistencia a la compresión mínima para ladrillos no estructurales y estructurales, se observa que la máxima adición que permitida es de hasta 4% de cascabillo de café y de olote de maíz, para cumplir las exigencias mínimas establecidas en las normas, mientras que la cáscara de coco no cumple con estos requerimientos.



**Figura 7.** Resistencia a la compresión de los nuevos ladrillos. a) NMX-C-404-ONNCCE-2012 (110 kg/cm<sup>2</sup>); b) NMX-C-441-ONNCCE-2013 (30 kg/cm<sup>2</sup>); c) NN CMT 2 01 001/02 (20.30 kg/cm<sup>2</sup>).

Para determinar si la cantidad de ladrillos elaborados para cada una de las mezclas son suficientes para un nivel de confianza del 95% y un error muestral del 4%, se determinó el número de ladrillos necesarios mediante la ecuación  $n = \frac{z^2 \sigma^2}{e^2}$  en donde:

- n = número de muestra
- $z^2$  = nivel de confianza (para 95%, Z = 1.96)
- $\sigma^2$  = varianza
- $e^2$  = error muestral

Con la ecuación anterior y con la varianza de la variable de la resistencia a la compresión de 15 ladrillos de cada mezcla, se obtienen los resultados que se observan en la Tabla 6. Cabe señalar que todos los resultados fueron menores a 15 lo que significa

que todas las mezclas están dentro del nivel de confianza propuesto.

Para establecer la correlación que existe entre la Resistencia a la compresión como variable de respuesta o dependiente y la adición de residuos agrícolas, así como la temperatura de cocción como variables independientes, se desarrolló un modelo de regresión lineal múltiple con el programa estadístico SPSS.

La mezcla que se tomó como referencia es la de cascabillo de café por tener mejores resultados en cuanto a la resistencia a la compresión en comparación de los otros dos residuos agrícolas. El resumen de los resultados del modelo se observan en la Tabla 7.

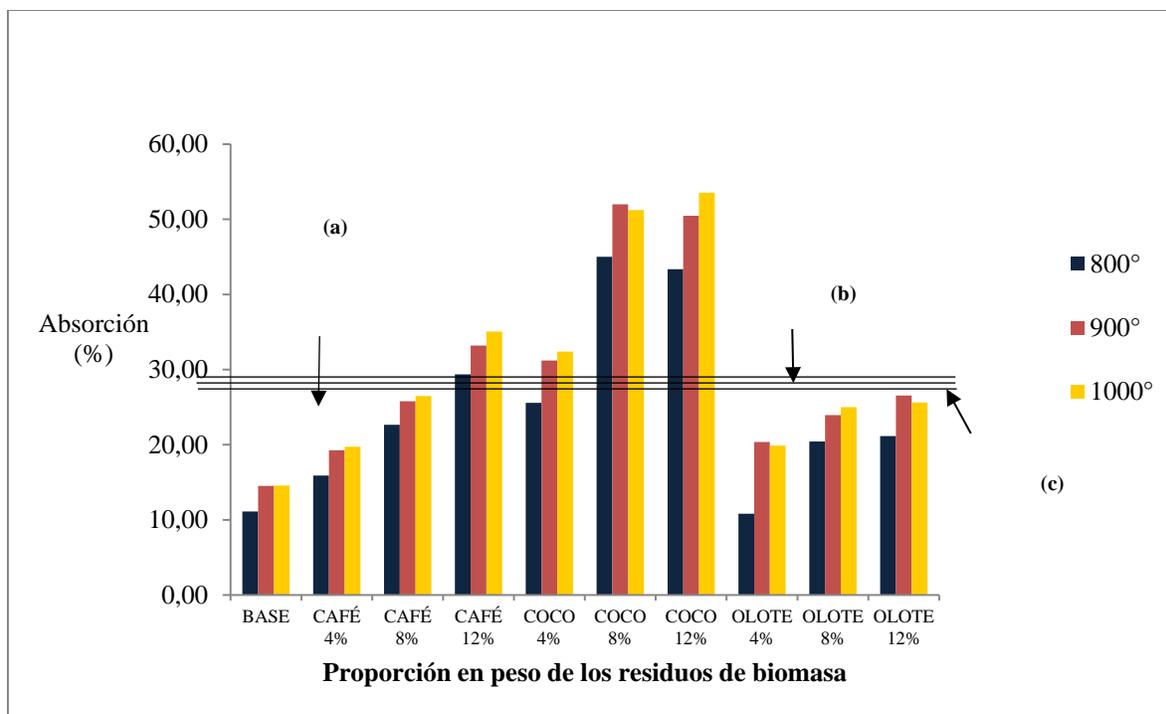


Figura 8. Porcentaje de absorción de los nuevos ladrillos. a) NMX-C-441-ONNCCE-2013 (25%); b) N CMT 2 01 001/02 (24%); c) NMX-C-404-ONNCCE-2012 (23%).

Tabla 6. Tamaño de las muestras necesarias para todas las mezclas elaboradas

Proporciones	Tamaño de la muestra necesaria		
	Tamaño de la muestra necesaria (800°C)	Tamaño de la muestra necesaria (900°C)	Tamaño de la muestra necesaria (1,000°C)
Base	10	12	12
Café 4%	8	12	8
Café 8%	2	6	3
Café 12%	2	1	1
Coco 4%	4	8	2
Coco 8%	1	2	1
Coco 12%	1	1	1
Oloote 4%	12	4	2
Oloote 8%	2	9	3
Oloote 12%	3	4	4

Tabla 7. Resumen del modelo de regresión de la resistencia la compresión.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0.962	0.925	0.924	9.51

De la Tabla 7, el coeficiente de correlación R es de 0.962 indica que si existe correlación lineal entre las variables independientes y la variable dependiente, el coeficiente R<sup>2</sup> indica que el modelo explica un 92.5% de la variabilidad en la resistencia a la compresión, el Coeficiente R<sup>2</sup> corregida, considerado el más apropiado para comparar modelos con diferentes número de variables independientes, es de 92.40% y el error típico de la estimación es de 9.51.

En la Tabla 8 se observa los coeficientes del modelo de regresión para la resistencia a la compresión.

**Tabla 8.** Coeficientes del modelo de regresión.

Variabales	Coefficientes
Constante	36.870
Proporción	-7.309
Temperatura	.067

Considerando los coeficientes de la Tabla 8 la ecuación resultante es la siguiente:

$$R = 36.870 - 7.309P + 0.067T$$

Donde: R = Resistencia a la compresión  
 P = Proporción de residuo de café adicionado  
 T = Temperatura de cocción

El análisis estadístico para la absorción se realizó de la misma forma que para la resistencia, a la compresión, primero se comprobó que la cantidad de ladrillos analizados sea suficiente para alcanzar un 95% de confianza así como un error muestral del 4%. De acuerdo con lo observado en la Tabla 9, todos los resultados son menores a los 15 ladrillos analizados por lo tanto se cumple satisfactoriamente con el nivel de confianza propuesto

Con respecto a la correlación que existe entre la absorción como variable dependiente y la adición de residuos agrícolas, así como la temperatura de cocción como variables independientes, se desarrolló un modelo de regresión lineal múltiple con el programa estadístico SPSS.

De igual forma que la resistencia a la compresión, la mezcla que se tomó como referencia es la de cascabillo de café. El resumen de los resultados del modelo se observan en la Tabla 10.

**Tabla 9.** Tamaño de las muestras necesarias para todas las mezclas elaboradas.

Proporciones	Tamaño de la muestra necesaria (800°C)	Tamaño de la muestra necesaria	
		(900°C)	(1,000°C)
Base	1	1	1
Café 4%	1	1	1
Café 8%	1	1	1
Café 12%	2	2	1
Coco 4%	1	1	12
Coco 8%	5	5	3
Coco 12%	8	8	5
Olote 4%	1	1	1
Olote 8%	12	12	1
Olote 12%	2	2	2

**Tabla 10.** Resumen del modelo de regresión de la absorción.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0.967	0.935	0.924	2.01

De la Tabla 10, el coeficiente de correlación R es de 0.967 indica que si existe correlación lineal entre las variables independientes y la variable dependiente, el coeficiente  $R^2$  indica que el modelo explica un 93.5% de la variabilidad en la resistencia a la compresión, el Coeficiente  $R^2$  corregida, considerado el más apropiado para comparar modelos con diferentes número de variables independientes, es de 92.40% y el error típico de la estimación es de 2.01.

En la Tabla 11 se observa los coeficientes del modelo de regresión para la resistencia a la compresión.

**Tabla 11 Coeficientes del modelo de regresión**

VARIABLES	COEFICIENTES
Constante	2.081
Proporción	1.685
Temperatura	.012

Considerando los coeficientes de la Tabla 11 la ecuación resultante es la siguiente:

$$A = 2.081 + 1.685P + 0.012T$$

Donde: A = Absorción de humedad

P = Proporción de residuo de café adicionado

T = Temperatura de cocción

## DISCUSIÓN

En cuanto a la clasificación de la arcilla utilizada para la fabricación del ladrillo, extraída del banco de la ladrillera 2 de la Ribera de Cupía, de acuerdo con los estudios realizados por Santos (2011) y Afanador (2013), se considera de mediana calidad debido a su contenido de arena. Por otro lado, la utilización de residuos agrícolas generados en los campos del estado de Chiapas, incorporándolos a la fabricación de ladrillos de cerámica roja, es factible conforme a las recomendaciones de Raut et al. (2011) y Madurwar et al. (2012).

Los valores con respecto a la resistencia a la compresión y el porcentaje de absorción indican que están directamente relacionados a la cantidad de

residuos agrícolas, es decir a mayor cantidad de residuos, la resistencia la compresión es menor y la absorción es mayor. La temperatura de cocción también influye en las características físicas y mecánicas del ladrillo comprobando que a mayor temperatura se obtiene mayor resistencia y también mayor capacidad de absorción, lo cual es similar a lo investigado por Demir, (2008). Cabe señalar que los residuos agrícolas incorporados en los ladrillos de este trabajo, no tuvieron un proceso de incineración previo con el propósito para aprovechar el poder calorífico de estos residuos en la cocción del ladrillo, al contrario de los trabajos de Chiang et al. (2009), Martínez et al. (2012) y Barbieri et al. (2013), en donde si se incineran los residuos agrícolas antes de la adición a los ladrillos

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados de este trabajo permiten concluir que es factible adicionar residuos agrícolas en la fabricación de ladrillos. Esto se puede lograr siempre y cuando la calidad de la arcilla así lo permita. Para lograr la resistencia a la compresión de un ladrillo estructural empleando la arcilla utilizada en este trabajo, es necesario elevar la temperatura de cocción alrededor de 1,000°C. Para el caso del ladrillo no estructural, se recomienda elevar la temperatura a 900°C; este último permite la adición de cascabillo de café y olote hasta un 4% en peso, con excepción de la cascara de coco que no cumple con los requerimientos mínimos de absorción. Otra ventaja que se logra con la incorporación de residuos agrícolas, es que se le da un valor agregado a este residuo, que normalmente es incinerado en el lugar donde se genera, provocando la contaminación del suelo, agua y el aire.

Se recomienda continuar con el estudio de la adición de residuos agrícolas en la elaboración de ladrillos, pero empleando arcillas de mejor calidad, así como realizar estudios de densidad, conductividad térmica y ahorro energético, lo anterior para establecer comparaciones con los ladrillos fabricados de manera tradicional y poder evaluar sus ventajas y desventajas.

## RECONOCIMIENTO

Se agradece a la Universidad Autónoma de Chiapas, quién proporcionó la beca económica para la realización de los estudios de Doctorado, así como las facilidades para la realización de este trabajo y a la empresa CERAMITEX por su asesoría técnica en la fabricación de los ladrillos.

## REFERENCIAS

- Afanador N., Ibarra J., López C., (2013). *Caracterización de arcillas empleadas en pasta cerámica para la elaboración de ladrillos en la zona de Ocaña, Norte de Santander*. "Épsilon", No. 20, pp. 101-119.
- Barbieri L., Andreola F., Lancellotti I., Taurino R. (2013). *Management of agricultural biomass wastes: preliminary study on characterization and valorization in clay matrix bricks*. "Waste Management" No. 33, pp. 2307-2315.

N-CMT-2-01-001/02 (2002). “*Características de los materiales, Materiales para estructuras, Materiales para mampostería, Ladrillos y bloques cerámicos*”. Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción, 9 p.

CONACOCO, A.C (2012). “*Plan rector sistema producto nacional palma de coco*”, Consejo Nacional del Cocotero, A.C., México D.F.47 pp.

Chiang K.Y., Chou P.H., Hua, C.R., Chien K.L., Cheeseman C. (2009). *Lightweight bricks manufactured from water treatment sludge and rice husks*. “Journal of Hazardous Materials”, No. 171, pp. 76-82.

Demir I. (2008). *Effect of organic residues addition on the technological properties of clay bricks*. “Waste Management”, No. 28, pp. 622-627.

UNACH (2013), “*Reportes de pruebas de laboratorio de Resistencia a la compresión y absorción*”, Universidad Autónoma de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 10 pp.

INEGI (2010), “*México en cifras*”, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informáticas Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras>. Consultado el día 11 de octubre de 2014.

Jiménez G., Marinidou E., Flores A., Jong B., Ochoa S., Olgún M. (2011), “*Inventario Estatal de Gases de Efecto Invernadero del Estado de Chiapas*”. Colegio de la Frontera Sur. 38 pp.

Madurwar M., Ralegaonkar R., Mandavgane S. (2013). *Application of agro-waste for sustainable construction materials: A review*. “Construction and Building Materials”, No. 38, pp. 872–878.

Martínez M., Eliche D., Cruz N., Corpas A. (2012). *Utilization of bagasse from the beer industry in clay brick production for building*. “Materiales de Construcción”, No. 62, pp. 199-212.

NMX-C-404-ONNCCE (2012), “*Industria de la construcción – mampostería – bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural –especificaciones y métodos de ensayo*”. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. México.

NMX-C-441-ONNCCE (2013), “*Industria de la construcción – mampostería – bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso no estructural –especificaciones y métodos de ensayo*”. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. México.

Raut S.P., Ralegaonkar R.V., Mandavgane S.A. (2011). *Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid wastes: A review of waste-create bricks*. “Construction and Building Materials”, No. 25, pp. 4037-4042.

Santos J., Malagon P., Cordoba E. (2011). *Caracterización de arcillas y preparación de pastas cerámicas para la fabricación de tejas y ladrillos en la región de Barichara, Santander*. “Dyna Revista de la Facultad Nacional de Minas”, No. 78, pp. 50-58.

SIAP (2014). “*Cierre de la producción agrícola por estado*”, Servicio de alimentación, Agropecuaria y Pesquera, disponible en <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>. Consultado el día 10 de octubre de 2014.

SMN (2014). “*Normales meteorológicas*”, Sistema Meteorológico Nacional, [http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=174&tmpl=component](http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=174&tmpl=component). Consultado el 25 de noviembre de 2014.

---

Este documento debe citarse como: González García E., Lizárraga Mendiola L. (2015). **Evaluación de las propiedades físico mecánicas de ladrillos de arcilla recocida, elaborados con incorporación de residuos agrícolas, caso Chiapas, México**. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 19-2, pp. 91-101, ISSN 1665-529-X.