

Determinación de los ecoindicadores de una ladrillera de la Ribera de Cupía, Chiapa de Corzo, Chiapas

Determination of eco-indicators of a brick facility in the Ribera de Cupía, Chiapa de Corzo, Chiapas

EDDY GONZÁLEZ GARCÍA

Universidad Autónoma de Chiapas

FERNANDO CÓRDOVA CANELA

Universidad de Guadalajara

DOI: <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i6.125>

Recepción: 02 de septiembre. Aceptación: 19 de noviembre de 2019

RESUMEN

La fabricación del ladrillo en la zona centro de Chiapas presenta problemas de contaminación ambiental, gran requerimiento energético y baja resistencia a la compresión. El objetivo de este trabajo es determinar los ecoindicadores de una ladrillera de la Ribera de Cupía del municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas, tomando como base el método adoptado por la United Nations Conference on Trade and Development, que establece la forma de cálculo de los ecoindicadores, como son: consumo de agua, requerimiento energético, la contribución al calentamiento global, la generación de residuos sólidos, para utilizarlos en la implementación de una estrategia de mejora continua. También se analizaron las características mecánicas de los ladrillos mediante la prueba de la resistencia a la compresión en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas, comparándolos con las normas correspondientes para conocer la calidad del ladrillo. Los resultados obtenidos con base en el valor agregado neto de la ladrillera son los siguientes: el consumo de agua fue de $3.51 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\$$; el requerimiento energético fue de $8.93 \times 10^{-4} \text{ MWh}/\$$; la contribución al calentamiento global fue de $7.18 \times 10^{-4} \text{ ton de CO}_2/\$$ y el de residuos sólidos generados fue de $5.64 \times$

$10^{-2} \text{ kg}/\$$. Además, la resistencia a la compresión fue de 42.12 kg/cm^2 , que cumple con las normas para un ladrillo no estructural.

Palabras clave: ladrillo, ecoindicadores, resistencia a la compresión.

ABSTRACT

The manufacturing of brick in the central zone of Chiapas presents problems of environmental pollution, high energy requirement and low resistance to compression. The objective of this work is to determine the eco-indicators of a brickyard of the Ribera de Cupía of the Municipality of Chiapa de Corzo, Chiapas, based on the method adopted by the United Nations Conference on Trade and Development, which establishes the calculation method for eco-indicators such as: water consumption, energy requirement, the contribution to global warming, the generation of solid waste, to be used in the implementation of a strategy of continuous improvement. The mechanical characteristics of the bricks were also analyzed by testing the resistance to compression in the Materials Laboratory of the Faculty of Architecture of the Autonomous University of Chiapas, and comparing them with the corresponding standards to know the brick quality. The

results obtained based on the net benefit of the brickyard are as follows: the water consumption was $3.51 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\$$; the energy requirement was $8.93 \times 10^{-4} \text{ MWh}/\$$; the contribution to global warming was $7.18 \times 10^{-4} \text{ ton of CO}_2/\$$ and the solid waste generated was $5.64 \times 10^{-2} \text{ kg}/\$$. In addition, the compressive strength was 42.12 kg/cm^2 which are the standards for a non-structural brick.

Keywords: brick, eco-indicators, resistance to compression.

INTRODUCCIÓN

Según datos del INEGI (2017), en Chiapas existen 1'238,565 viviendas, cuyos materiales de construcción más utilizados son: para pisos: concreto (72.35%); en paredes: bloque de cemento, ladrillos, piedras o concreto (73.13%); y en techo: láminas metálicas, láminas de asbesto, láminas de fibrocemento, de palmas y madera (60.75%). En cuanto a la producción de ladrillo en el estado se tiene registro de la existencia de 248 ladrilleras repartidas en 26 municipios (Ortiz, 2012). Sin embargo, se siguen utilizando prácticas ancestrales que generan daños al ambiente por el proceso de cocción que genera grandes cantidades de dióxido de carbono (CO_2), causante del calentamiento global (Gómez *et al.*, 2011).

En cuanto al tipo de horno utilizado para la producción de ladrillos se han realizado diversos trabajos para conocer su eficiencia y los combustibles utilizados, factores directamente determinantes para el consumo de energía, emisión de gas de efecto invernadero (GEI) y la calidad del producto. Respecto a los hornos, en la India y en Vietnam se realizó una evaluación para conocer el desempeño de los hornos empleados. Dentro de los tipos de hornos evaluados se encuentran: Fixed Chimney Bull's Trench Kiln (FCBTK), Zigzag, Vertical Shaft Brick Kiln (VSBK), Down-Draught Kiln (DDK) y Tunnel kiln (Maithel *et al.*, 2012). De los hornos evaluados, el horno VSBK vietnamita fue el que menos energía en mega joules por kg de ladrillo cocido requirió (0.54 MJ/kg), seguido del VSBK indio (0.95 MJ/kg); el de peor

desempeño fue el DDK (1.47 MJ/kg). En cuanto a las emisiones de CO_2 , medidas en gramos por kilogramo de ladrillo cocido, el comportamiento fue similar al del consumo energético, es decir, nuevamente el VSBK indio fue el más eficiente (70 g/kg), y el de peor resultado lo obtuvo el DDK (282 g/kg) (Maithel *et al.*, 2012). Otras evaluaciones de hornos se han realizado en Brasil, como es el caso del de tipo bóveda, conformados por dos hornos funcionando como sistema, con una eficiencia energética de 3.86 MJ/kg (INT, 2011). En México se estudió la emisión de partículas $\text{PM}_{2.5}$ en los hornos rurales de la ciudad de Salamanca, Guanajuato, obteniendo datos de 100 g/m^3 a 1.7 m del nivel del suelo (Bellprat, 2009). La adaptación de hornos más eficientes en comunidades donde siempre han utilizado hornos tradicionales de cielo abierto, no siempre ha sido exitosa, tal es el caso de Perú, donde se trató de adaptar la tecnología VSBK que tuvo buenos resultados en la India y Vietnam, pero por ser de uso continuo y los procedimientos de operación son muy diferentes a los de los hornos tradicionales sudamericanos, originó una fuerte reacción a la adaptación de esta tecnología por parte de los ladrilleros locales (PRAL, 2008). En Ecuador los ladrilleros también adaptaron la tecnología del VSBK, teniendo al inicio las mismas dificultades de apropiación social que los peruanos, además de dificultades técnicas por el uso de diferentes combustibles de los vietnamitas por no cumplir con las normas de seguridad de los trabajadores. Sin embargo, después de varios años de investigación lograron superar los problemas iniciales y poner en operación un horno que tuvo una eficiencia energética de hasta 0.81 MJ/kg (Red Ecosur Ecuador, 2010). La implementación de nuevas tecnologías de hornos, así como la adaptación de las ya existentes, debe tomar en cuenta tres elementos fundamentales: el entorno, la gestión de la tecnología y la percepción del usuario (González, 2010).

Por otro lado, en cuanto a los combustibles utilizados en el proceso de cocción del ladrillo artesanal, es necesario que se elimine el uso de combustibles altamente contaminantes como el de las llantas, plásticos y aceites usados y se uti-

licen combustibles más ecoeficientes como son gas natural o LP, combustibles líquidos bajos en azufre como el diésel residual, carbón de piedra, leña seca en trozos, aserrín de madera, cáscara de arroz y cáscara de café (Ministerio de Producción de Perú, 2010). En países como Ecuador se utilizan además de algunos de los combustibles antes mencionados, las briquetas de biomasa con un valor calorífico de 15 kJ/kg (Red Ecosur Ecuador, 2010). En países asiáticos como la India el combustible más utilizado es el carbón mineral por su alto valor calorífico de 4.06 KJ/kg (Maithe *et al.*, 2012).

La necesidad de actuar de manera más respetuosa con el medio ambiente y con el ser humano se ha convertido actualmente en un parámetro ineludible para nuestra sociedad; ya sea mediante la normativa o por la presión social, la empresa se ve obligada en la actualidad a reforzar su política en materia de desarrollo sostenible (Ruiz *et al.*, 2017). Para evitar la producción de materiales que afecten los recursos naturales, es necesario promover el uso de las mejores técnicas disponibles e innovación en plantas de producción (Zabalza *et al.*, 2011). En la dimensión ambiental se considera que los productos y procesos deben ser amigables con el ambiente a través de la prevención de la contaminación y de una buena gestión de sus recursos naturales (Carro *et al.*, 2017). Por lo tanto se requiere de un método que permita calcular, medir, conocer y divulgar indicadores de ecoeficiencia, siendo ésta una filosofía administrativa que impulsa a las organizaciones a buscar mejoras ambientales que conlleven paralelamente beneficios económicos (Tello *et al.*, 2012). De acuerdo con un análisis bibliográfico, se encontró que el método más adecuado para determinar los indicadores de ecoeficiencia en una empresa ladrillera es el adoptado por la United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD) (Sturm *et al.*, 2004), que permite realizar comparaciones de las declaraciones de ecoeficiencia entre diversas empresas y también incluye una gran variedad de factores de conversión calculados para cada uno de los indicadores que propone. Este método fue empleado en una

ladrillera en Chihuahua y otra en Chiapas; la ladrillera chiapaneca se encuentra en la Ribera de Las Flechas del municipio de Chiapa de Corzo, cuyos resultados de los indicadores de ecoeficiencia son los siguientes: para el consumo de agua fue de 6.917×10^{-5} m³/\$, el requerimiento energético fue de 3.085×10^{-4} MWh/\$, la contribución al calentamiento global fue de 3.67×10^{-4} ton de CO₂/\$ y la generación de residuos sólidos fue de 8.478×10^{-2} kg/\$ (Rincón y Wellens, 2011).

El propósito de este trabajo es determinar los valores de ecoeficiencia en el proceso de elaboración del ladrillo en una ladrillera de la Ribera de Cupía del municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas, tomando como base el método adoptado por la UNCTAD, que establece la forma de cálculo principalmente de los ecoindicadores como son: consumo de agua, requerimiento energético, la contribución al calentamiento global, la generación de residuos sólidos, para que sean utilizados en la toma de decisiones y como estrategia de mejora continua. Cabe señalar la importancia también de conocer las características mecánicas como la resistencia a la compresión de los ladrillos producidos en la ladrillera de la Ribera de Cupía, por dos razones: la primera, porque el ladrillo es un material muy utilizado para la edificación de viviendas y debe ser un producto que cumpla con las normas correspondientes para evitar problemas estructurales. Además, por la relación que existe con los ecoindicadores; para obtener mayor resistencia a la compresión, se necesita mayor temperatura de cocción y mayor consumo de combustible, emitiendo más gases de efecto invernadero como el CO₂ (Santos *et al.*, 2011).

DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

La fabricación del ladrillo de cerámica roja provoca contaminación del aire debido al tipo y la cantidad de combustible utilizado en el proceso de cocción. Según un estudio de impacto ambiental realizado en el año 2011 por investigadores de la Universidad Valle de México Campus Tuxtla y de la DES de Ingeniería de la Universidad de Cien-

cias y Artes de Chiapas (Gómez *et al.*, 2011) a la zona ladrillera del municipio de Chiapa de Corzo, se registraron un total de 724 sesiones de cocción de ladrillo al año, con un promedio de 22,000 piezas de ladrillo por cada una. Del total de quemadas, 46% se efectúan con leña de diversas especies arbóreas, el 22% con cascabillo de café, el 10% con residuos de la mazorca de maíz y 22% con aceite quemado automotriz. La cantidad de CO₂ producida por el uso de la leña como combustible es de 1,853 ton y cada quema con aceite quemado genera en promedio 41.7 g/m³ de partículas suspendidas totales, 12.49 ppm/v de dióxido de nitrógeno (NO₂), 16.5 ppm/v de dióxido de azufre (SO₂), 0.4 ppm/v de monóxido de carbono (CO). Ante la problemática de contaminación existente en la zona ladrillera del municipio de Chiapa de Corzo, es necesario contar con indicadores de ecoeficiencia que apoyen en la implementación de estrategias para mejorar constantemente en la disminución de la contaminación sin descuidar la calidad del ladrillo. En ese sentido, de acuerdo con las pruebas de compresión realizadas en el laboratorio de materiales de la Facultad de Arquitectura de la UNACH en el periodo de 2009 a 2013 a especímenes de 21 ladrilleras artesanales ubicadas en los márgenes del Río Grijalva, del municipio de Chiapa de Corzo, se obtuvo un promedio de 66.45 kg/cm² de resistencia a la compresión. Este valor, aunque es superior a lo que exige la norma NMX-C-441-ONNCCE-2013 de 30 kg/cm² como mínimo para los ladrillos cerámicos no estructurales, no es lo suficientemente resistente para su uso estructural como lo establece la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012, cuya resistencia mínima es de 110 kg/cm².

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio que se propone para el presente trabajo es la Ribera de Cupía, municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas, la cual se observa en la figura 1 y es conocida por su producción ladrillera. Se encuentra ubicada al margen izquierdo del Río Grijalva, a 9 km al sureste de Tuxtla Gu-

tiérrez, capital del estado de Chiapas, según datos del INEGI (2010). 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 metros sobre el nivel del mar (msnm). Esta localidad cuenta con una población de 876 habitantes en 229 hogares y es considerada con grado de marginación alto (INEGI, 2010).

En cuanto a los datos hidrográficos, la Ribera de Cupía pertenece a la cuenca del Río Grijalva y, a su vez, a la subcuenca del Río Santo Domingo, dentro de la provincia fisiográfica Sierras de Chiapas y Guatemala. La forma del terreno donde asienta la localidad es de laderas tendidas con lomerío; el tipo de clima es cálido-subhúmedo; en el tipo de suelo, lo que predomina es el Feozem, que es tipo de roca aluvial (INEGI, 2010).

Por otro lado, la política ambiental definida en la Unidad de Gestión Ambiental donde se ubica la localidad, es de aprovechamiento (INEGI, 2010). Precisamente, el aprovechamiento que le dan a los suelos se destina a la agricultura y la producción de ladrillos. De acuerdo con la información recabada en campo, en la zona de estudio se localizan cinco ladrilleras artesanales en donde en promedio trabajan cuatro personas y tienen una producción de 30,000 ladrillos mensuales en época de estiaje y puede reducir a 15,000 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 mil pesos mexicanos 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. El proceso de fabricación del ladrillo no ha cambiado mucho a través del tiempo, e involucra una serie de pasos, iniciando con el de la extracción de las materias primas. Para este caso, se extrae el suelo con contenido de arcilla en el mismo sitio de la ladrillera con herramienta básica como pico y pala; posteriormente, sigue el mezclado de la arcilla con agua para trabajarla. Después viene el vaciado en un molde de madera para cinco ladrillos con medidas de 5 cm de espesor, 13 cm de ancho y 26 cm de largo; al terminar el moldeo, se deja secar el

FIGURA 1. Localización de la Ribera de Cupía, Chiapa de Corzo, Chiapas



Fuente: Google Earth, 2019.

material y el tiempo varía según las condiciones del clima, puede ser de tres a 10 días. La cocción se realiza con hornos intermitentes a cielo abierto, con capacidades máximas de 30,000 ladrillos y el combustible que se utiliza es madera residual de tarimas, que se obtiene de una empresa refresquera cuyas bodegas están próximas a las ladrilleras. Estas tarimas están hechas de madera de pino y el tiempo de cocción es de 24 horas para un promedio de 30,000 ladrillos. Por último, el almacenamiento de los ladrillos se realiza al aire libre a un lado del mismo horno, esperando a los comerciantes para realizar la negociación.

METODOLOGÍA

De acuerdo con la disponibilidad de proporcionar información por parte de los dueños de las ladrilleras, se determinó que la ladrillera número 2 (figura 2) era la más adecuada y se determinaron los indicadores de ecoeficiencia de acuerdo con el manual adoptado por la UNCTAD para conocer el deterioro ambiental provocado por el proceso productivo de la fabricación del ladrillo.

Existen diferentes métodos para la determinación de los indicadores de ecoeficiencia que sirven para medir el daño al medio ambiente derivado de un proceso productivo, producto o servicio, pero el modelo que ya fue utilizado y se comprobó su eficacia es el adoptado por la UNCTAD, que establece principalmente cinco indicadores, además de la manera de cómo obtenerlos (Rincón y Wellens, 2011).

Consumo de agua por unidad de valor agregado neto:

$$I_1 = \frac{\text{Consumo de agua}}{\text{Valor agregado neto}} \quad (1)$$

Requerimientos energéticos por unidad de valor agregado neto:

$$I_2 = \frac{\text{Requerimiento energético}}{\text{Valor agregado neto}} \quad (2)$$

Contribución al calentamiento global por unidad de valor agregado neto:

$$I_3 = \frac{\text{Contribución al calentamiento global}}{\text{Valor agregado neto}} \quad (3)$$

Dependencia de sustancias que deterioran la capa de ozono por unidad de valor agregado neto:

FIGURA 2. Ladrilleras ubicadas en la Ribera de Cupía



Fuente: Google Earth, 2019.

$$I_4 = \frac{\text{Dependencia de sustancias que deterioran la capa de ozono}}{\text{Valor agregado neto}} \quad (4)$$

Residuos sólidos generados por unidad de valor agregado neto:

$$I_5 = \frac{\text{Residuos sólidos generados}}{\text{Valor agregado neto}} \quad (5)$$

Los ladrillos fueron analizados en el laboratorio de la Facultad de Arquitectura de la UNACH para conocer las diferentes características mecánicas que tienen actualmente, siguiendo la metodología establecida en las normas correspondientes. La NMX-C-036-ONNCCE-2013 establece el método de prueba para la determinación de la resistencia a la compresión de bloques, tabiques o ladrillos, tabicones o adoquines fabricados con concreto, cerámica, arcilla y otros materiales para la construcción. La resistencia a la compresión de los materiales de construcción se encuentra en la Norma NMX-C-441-ONNCCE-2013, que contiene los requisitos de calidad de los ladrillos y bloques cerámicos que se utilizan en elementos no estructurales de mampostería. En la Norma NMX-C-404-ONNCCE-2012 se establecen los métodos

de muestreo y de prueba que deben aplicarse a los bloques, tabiques (ladrillo) y tabicones para su uso estructural en las edificaciones.

RESULTADOS

Los datos necesarios para el cálculo de los indicadores, tomando como base una producción de 30,000 ladrillos, se presentan en el cuadro 1. Cabe señalar que debido a que las emisiones provienen de la quema de un producto orgánico, no es necesario calcular el indicador asociado a sustancias que deterioran la capa de ozono (ecuación 4), porque no se emiten ni se requiere el uso de sustancias controladas por el Protocolo de Montreal en 1987, como son los clorofluorocarbonos o hidroc fluorocarbonos (Rincón y Wellens, 2011).

Con la información del cuadro 1 se calcula el valor neto agregado, que es igual a la diferencia de ingresos menos el costo.

La cantidad de ladrillos es igual a la cantidad total producida, menos los desperdicios:

$$\begin{aligned} \text{Cantidad de ladrillos} &= 30,000 \text{ pzas} - 400 \text{ pzas} \\ \text{de desperdicio} &= 29,600 \text{ pzas} \end{aligned}$$

CUADRO 1. Costo de producción de la ladrillera

Concepto	Unidad	Cantidad	P. U.	Importe (\$)
Arcilla*	m ³	50.70	0.00	0.00
Agua	lt	600.00	0.20	120.00
Leña**	kg	7,523.00	0.00	0.00
Cascabillo de café	ton	2.00	2,000.00	4,000.00
Desperdicio	pza	400.00	1.00	400.00
Mano de obra	lote	1	8,000	8,000.00
Total				12,520.00

* Para la arcilla no se consideran costos porque se extrae en el lugar donde se produce el ladrillo.

** Para la leña tampoco se le atribuye un costo porque es obtenida de manera gratuita de tarimas usadas de una empresa refresquera.

Fuente: elaboración propia.

Los ingresos se obtienen multiplicando la cantidad de ladrillos por el precio unitario:

$$\text{Ingresos} = 29,000 \text{ pzas} \times \$1 \text{ por pza} = \$29,600$$

Por lo tanto el valor neto se calcula de la siguiente manera:

$$\$29,600 - \$12,520 = \$17,080$$

El valor neto es de \$17,080.

En el cuadro 2 se observan las cantidades de los indicadores que fueron obtenidos a partir de la información recabada en campo.

CUADRO 2. Cantidades obtenidas con la información de campo

Indicador	Cantidad	Unidad
Consumo de agua	0.600	M ³
Requerimientos energéticos	15.25	MWh
Contribución al calentamiento global	12.26	Ton de CO ₂
Dependencia de sustancias que deterioran la capa de ozono	No aplica	
Residuos sólidos generados	964	kg

Fuente: elaboración propia.

Con el valor neto calculado y las cantidades de cada indicador se determinan ecoindicadores con el apoyo de las ecuaciones 1, 2, 3 y 5.

En el cuadro 3 se presentan los ecoindicadores de la ladrillera. Cabe señalar que aunque es posible comparar los resultados con otras de características similares, en realidad el objetivo de este método es mejorar con el tiempo los indicadores de ecoeficiencia para mitigar los daños al medio ambiente.

CUADRO 3. Indicadores de ecoeficiencia obtenidos

Ecoindicador	Valor
Consumo de agua/valor agregado neto	$3.51 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\$$
Requerimiento energético/valor agregado neto	$8.93 \times 10^{-4} \text{ MWh}/\$$
Contribución al calentamiento global/valor agregado neto	$7.18 \times 10^{-4} \text{ ton de CO}_2/\$$
Residuos sólidos generados/valor agregado neto	$5.64 \times 10^{-2} \text{ kg}/\$$

Fuente: elaboración propia.

El resultado de la resistencia a la compresión de la ladrillera seleccionada se presenta en el cuadro 4, comparándolo con la resistencia mínima que establecen la Norma NMX-C-441-ONNCCE-2013 y la Norma NMX-C-404-ONNCCE-2012.

CUADRO 4. Resistencia a la compresión de los ladrillos

Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	NMX-C-441-ONNCCE-2013 (kg/cm ²)	NMX-C-404-ONNCCE-2012 (kg/cm ²)
42.12	30	110

Fuente: elaboración propia.

En el cuadro 4 se observa que se cumple con la resistencia a la compresión establecida en la norma NMX-C-441-ONNCCE-2013, que establece la resistencia mínima para muros no estructurales. Sin embargo, para la resistencia mínima que pide la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012 para uso estructural no se cumple. Esto es importante resaltar debido a que no se proporciona esta información a los clientes, por lo que se sugiere realizar las pruebas de resistencia a la compresión y tomar la decisión acerca de si conviene comprar el producto o no, dependiendo del uso (estructural o no estructural).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En cuanto al ecoindicador para el requerimiento energético de la ladrillera de la Ribera de Cupía, fue superior a lo reportado por Rincón y Wellens (2011) para una ladrillera de la Ribera de Las Flechas, ambas en el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas. Esto se debe a la mayor cantidad de leña utilizada en el proceso de cocción; como consecuencia de lo anterior, la contribución al calentamiento global también es mayor. Para el consumo de agua, los datos obtenidos están por debajo de lo reportado por Rincón y Wellens (2011), y para el dato de los residuos sólidos generados son muy similares en ambas ladrilleras. La resistencia a la compresión de los ladrillos de la ladrillera de la Ribera de Cupía cumple con la norma para un ladrillo no estructural, pero se queda por debajo de la resistencia mínima para un ladrillo de uso estructural, incluso es inferior al promedio reportado por el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Arquitectura de la UNACH, para una zona ladrillera del municipio de Chiapa de Corzo. Lo anterior es importante tomarlo en cuenta debido a la relación que existe en cuanto a los ecoindicadores y la resistencia a la compresión,

es decir, a mayor resistencia se requiere que la cocción se realice a mayor temperatura, por consecuencia se necesita utilizar más combustible y tiempo de cocción. Esto a su vez trae como consecuencia el aumento en los ecoindicadores de requerimiento energético y contribución al calentamiento global. Sin embargo, si se conocen los ecoindicadores y se están periódicamente comparando, pueden establecerse estrategias de mejoras, como incrementar la eficiencia del horno, probar nuevos combustibles e innovar en el proceso de fabricación del ladrillo.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo para el desarrollo de este artículo al Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño de la Universidad de Guadalajara; a la Universidad Autónoma de Chiapas; al Cuerpo Académico “Gestión y Tecnología para la Arquitectura y Urbanismo Sustentable UDG-CA-604”, así como para el Cuerpo Académico “Componentes y Condicionantes de la Vivienda UNACH-CA-112”.

FINANCIAMIENTO

El desarrollo de este proyecto contó con el financiamiento de la Secretaría de Educación Pública, a través del programa de becas del Prodep; también de la Universidad Autónoma de Chiapas y del Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bellprat, O. (2009). *Brick Kiln Evaluation Study in the Bajío Region GTO, México*. Disponible en: <http://www.redladrilleras.net/documentos_galeria/brick%20kiln%20evaluation%20gto%20mexico.pdf>
- Carazo, A. (2006). Cifras básicas de la relación madera-fijación de carbono-CO₂ atmosférico. *Montes: Revista de Ámbito Forestal*, núm. 84. Madrid, España.

- Carro, J., Reyes, B., Rosano, G., y Garnica, J. (2017). Modelo de desarrollo sustentable para la industria de recubrimientos cerámicos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(1): 131-139.
- Díaz, Yosvani. (2011). *Evaluación del carbonato de calcio como aditivo fundente en la producción de ladrillos de cerámica roja*. Investigación y desarrollo. Tesis doctoral. Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Santa Clara, Cuba. Facultad de Arquitectura de la UNACH. (2013). *Reportes de pruebas de laboratorio a la compresión*. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- Gómez, César, Farrera, Nein, López, Pascual Francisco, y Domínguez y Moreira, Joel. (2011). Estudio exploratorio del impacto ambiental generado por la industria ladrillera del municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas, México. *Revista Lacandonia*, núm. 1, pp. 89-96. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- González G., Paula C. (2010). *La introducción de hornos ecológicos en una comunidad ladrillera: Factores de adopción y resistencia al cambio tecnológico*. Tesis de maestría. El Colegio de la Frontera Norte.
- INEGI. (2010). *México en cifras*. Disponible en: <<http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras>>
- . (2017). *Anuario estadístico del estado de Chiapas*. México: INEGI.
- Maithel, S., Lalchandani, D., Malhotra, G., y Bhanware, P. (2012). *Brick Kilns Performance Assessment. Roadmap for Cleaner Brick Production in India*. Disponible en: <http://www.catf.us/resources/publications/files/Brick_Kilns_Performance_Assessment.pdf>
- Ministerio de la Producción de Perú. (2010). *Guía de buenas prácticas para ladrilleras artesanales*. Aprobado por resolución ministerial núm. 102-2010- Produce del 19.04.2010. Perú.
- Ortiz, L. (2012). *Diagnóstico nacional del sector ladrillero artesanal de México. Informe final*. Recuperado el 17 de octubre en <http://www.redladrilleras.net/assets/files/692e-ca0a857372af35a529441387778.pdf>
- Poder Legislativo Federal. (2012). *Norma NMX-C-404-ONNCCE-2012*. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S. C./Industria de la construcción-bloques, ladrillos o tabiques y tabicones de uso estructural, especificaciones y métodos de prueba.
- . (2013a). *Norma NMX-C-036-ONNCCE-2013*. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S. C./Industria de la construcción-bloques, tabiques o ladrillos, tabicones y adoquines-resistencia a la compresión y método de prueba.
- . (2013b). *Norma NMX-C-441-ONNCCE-2013*. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S. C./Industria de la construcción-bloques, ladrillos o tabiques y tabicones de uso no estructural, especificaciones y métodos de prueba.
- PRAL. (2008). *Experiencias del sector ladrillero artesanal en las ciudades de Arequipa y Cusco, Perú*. Disponible en: http://redladrilleras.net/documentos_galeria/Sistematizacion%20ladrilleras%20Pral%20Peru.pdf
- Red Ecosur Ecuador. (2010). *Ecologically and economically sustainable brick production in Chambo, Ecuador*. Disponible en: http://ecosur.org/images/stories/pdf_files/ladrillos_chambo.pdf
- Rincón, Eric, y Wellens, Ann. (2011). Cálculo de indicadores de ecoeficiencia para dos empresas ladrilleras mexicanas. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. México: UNAM.
- Ruiz Rosa, Y., Rosa Domínguez, E., Sánchez Berriel, S., Castillo Hernández, L., Martirena Hernández, J., y Suppen Reynaga, N. (2017). Análisis de ecoeficiencia de la producción de cementos a bajo costo mediante la sustitución de clinker. *Revista Centro Azúcar*, 44(2): 77-88.
- Santos J., Malagón P., y Córdoba 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*, núm. 78, pp. 50-58.
- Sturm, A., Müller, K., y Upasena, S. (2004). *A manual for the Preparers and Users of Ecoefficiency Indicators*. UNCTAD/ITE/IPC/2003/7. Nueva York/Ginebra: United Nations Conference on Trade and Development.
- Swisscontact. (2011). *Workshop on: Science and Policy of Short-lived Climate Forcers*. Disponible en: http://www.ine.gob.mx/descargas/climatico/2011_slcf_s4p05_jbickel.pdf

Tello, I., Mirella, C., y Vargas-Hernández, J. G. (2012). *Ecoeficiencia y competitividad: Tendencias y estrategias con metas comunes*. Ingeniería de recursos naturales y del ambiente, pp. 33-40.

Zabalza, I., Bribián, A., Valero Capilla, A., y Aranda, Usón. (2011). Life cycle assessment of building

materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. *Build Environ*, 46(5): 1133-1140.