

Bricks with fibers from sugar cane bagasse for their viability in the construction of masonry

Eliana Contreras-Jordán, MSc.¹, Milton G. Andrade, MSc.¹, Freddy Troya-Escudero, BSc.¹, John Huilcarema-Sánchez, BSc.¹

¹Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, Ecuador, contrerasj@ulvr.edu.ec, mandradel@ulvr.edu.ec, ftroyae@ulvr.edu.ec, jhuilcaremas@ulvr.edu.ec

Abstract– *The present study has the objective of evaluating the physical and mechanical characteristics of a solid brick made with bagasse fibers from sugar cane, comparing it with the bricks commercialized in the market, in addition to analyzing the costs and benefits in the feasibility of the proposal. The proposal is based on the methodology and techniques for the manufacture of bricks, from aggregates and recycled raw materials, in order to preserve the quality of the air and the environment. By means of the quantitative approach and the experimental approach, the correlation of the physical and mechanical characteristics was carried out. The sample consisted of 36 bricks with 4 dosages of bagasse fibers that when mixed with the clay in percentages of 0.6%, 1.1%, 1.7% and 2.2%, with these experiments it was determined that the percentage should be less than 1.7% because the physical and mechanical properties established in the Ecuadorian standard are met. It can be indicated that the bricks can be used as construction materials, meeting and exceeding the quality of the marketed bricks, creating a competitive characteristic in the market.*

Keywords: Brick, environment, building materials, bagasse sugar cane.

Abstracto- *El presente estudio tiene como objetivo evaluar las características físicas y mecánicas de un ladrillo macizo elaborado con fibras de bagazo de caña de azúcar, comparándolo con los ladrillos comercializados en el mercado, además de analizar los costos y beneficios en la factibilidad de la propuesta. La propuesta se basa en la metodología y técnicas para la fabricación de ladrillos, a partir de áridos y materias primas recicladas, con el fin de preservar la calidad del aire y el medio ambiente. Mediante el enfoque cuantitativo y el enfoque experimental se realizó la correlación de las características físicas y mecánicas. La muestra estuvo conformada por 36 ladrillos con 4 dosificaciones de fibras de bagazo que al ser mezcladas con la arcilla en porcentajes de 0.6%, 1.1%, 1.7% y 2.2%, con estos experimentos se determinó que el porcentaje debe ser menor a 1.7% debido a que se cumplen las propiedades físicas y mecánicas establecidas en la norma ecuatoriana. Se puede indicar que los ladrillos pueden ser utilizados como materiales de construcción, igualando y superando la calidad de los ladrillos comercializados, creando una característica competitiva en el mercado.*

Palabras clave: ladrillo, ambiente, material de construcción, bagazo de caña de azúcar

I. INTRODUCCIÓN

En la construcción de las antiguas civilizaciones han existido diversos materiales de obra, uno de ellos es el ladrillo, como parte primaria de la edificación de múltiples trabajos de mampostería, se le brindaba mucho interés al ser un

componente de tecnología avanzada en aquellas épocas, ya que solo se utilizaba piedra y madera. [1]

Este compuesto ha sido valorado por sus cuantiosas capacidades de protección y estabilidad a las estructuras frente a fenómenos naturales y también un atributo decorativo en fachadas, llevando a cabo la fabricación de una extensa variedad de modelos con distintas aplicaciones; como consecuencia la manufactura ha ido evolucionando al punto de operar con maquinarias inteligentes que debido a sus procesos industrializados afectan al entorno que nos rodea. [2]

Considerando que el mayor impacto ambiental se encuentra la industria de la construcción según informe de estado Global del 2020 sobre edificios y construcciones del Programa de la ONU [3], el 35% a nivel mundial corresponde al proceso industrializado de la construcción, uno de los causantes en la reducción de bienes naturales y en generar grandes cantidades de residuos, por tal motivo la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en el 2015 aprobó la Agenda 2030 sobre el desarrollo Sostenible, considerando en el punto 11 el desarrollo de ciudades y comunidades sostenibles. Con esta referencia, [4], el 90% de los habitantes de las ciudades no tienen parámetros de calidad de aire dentro de la norma y esto ha provocado 4.2 millones de muertes, y además se pronostica que, para el año 2030, el 60% de las personas emigren a vivir en ciudades que no tienen un plan para el crecimiento sustentable. Esta problemática afecta en gran medida a nivel mundial, por tal motivo las iniciativas de organismos como la ONU, gobiernos, promuevan la elaboración de productos viables con el ambiente y reutilización de materiales reciclables de composición orgánica, como se consideró para este proyecto el bagazo de la caña de azúcar.

De acuerdo con [5], la caña de azúcar se cultiva alrededor de 1.659 millones de toneladas a nivel mundial (89%), y en el Ecuador es el principal cultivo, debido a su explotación y a la obtención de productos derivados, el manejo inapropiado de los residuos de este cultivo genera impactos ambientales negativos, tal como la emisión de contaminantes atmosféricos que se derivan de la quema del mismo [6]. Según [7], la huella de carbono de la industria azucarera en Cuba se determinó en 0,27Kg de CO₂, otros estudios según [8], la huella de carbono a partir de la combustión móvil tiene 1,87 T de CO₂ /Ha en un cultivo tradicional mientras que en un cultivo orgánico está a un nivel de 1,67 T de CO₂ /Ha.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.156>

ISBN: 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

Como residuo generado del proceso de obtención del azúcar y sus derivados, el bagazo de la caña de azúcar representa el 30% de los tallos verdes molidos, según [9], esto significa que por cada hectárea cosechada es posible obtener 13,5 T de bagazo equivalentes a 2,7 Tce (1 Tce = Tonelada de combustible equivalente (37,5 MJ/kg)). Como referencia, en el 2019, en Ecuador la producción nacional fue 10'088,870 toneladas de caña en 137.337 Ha/cosechadas que significaría una generación de al menos 1.85 millones de toneladas anuales de bagazo. [10]

La gestión que se le da a estos desechos no es la más adecuada, en su mayoría estos desechos son amontonados en zonas de vertederos y también dan paso a la incineración, ocasionando contaminación en la atmósfera por la generación de monóxido de carbono (CO₂), posibilitando el deterioro de la capa de ozono, la entrada de rayos ultravioletas y ampliando las enfermedades respiratorias.

Con este antecedente, se ha estudiado el uso de las Fibras del bagazo de la caña de azúcar (FBCA) como material de construcción alternativo, por sus propiedades de resistencia, adherencia y compactación de los elementos, que junto con aplicaciones técnicas se logra un nuevo ladrillo ecológico. [11]

De acuerdo con la investigación de [12], en la cual utiliza la ceniza del bagazo para elaborar materiales de construcción, determinó que el residuo puede resultar un buen aditivo para la mezcla del cemento ya que cumplió con las normas ASTM C618 en los parámetros de resistencia mecánica y durabilidad.

Según [13], la fibra de bagazo tiene las especificaciones de absorción a la humedad del 78.5%, contenido de humedad del 12.1% y cantidades más pequeñas de sólidos solubles (6-8%), además indica que los sólidos particulados están formados por la fibra y la medula o meollo.

En contenido de azúcar, por su composición orgánica que reacciona químicamente con otros elementos y provoca reducción o aumento en la resistencia a la compresión y para utilizarlo en la fabricación de materiales para la construcción se debe considerar que en estudios realizados por [14], se considera que según los porcentajes de azúcar agregados pueden inferir en retardar o acelerar el fraguado del material, puede inferir en la resistencia del mismo. En el estudio se realizó la deducción que trabajar añadiendo azúcar los porcentajes menores al 0.7% agregados a la mezcla aumenta la resistencia y no retrasa el fraguado en el tiempo normal.

Por ello es importante realizar un pretratamiento para atenuar los porcentajes de azúcar y humedad en los filamentos, llegando a obtener un agregado ideal para fortalecer las características mecánicas del ladrillo. Se investigaron métodos para disminuir la cantidad de azúcar, teniendo tres métodos:

lavado con detergente industrial, aplicación con hidróxido de cal viva y eliminación de azúcar por arrastre de agua a flujo continuo.

Fernández [15] utiliza como sustitución de agregados finos a la ceniza de bagazo de caña de azúcar en construcción de morteros, obteniendo como resultados elevados en la resistencia a la compresión, concluyendo que se puede utilizar la ceniza de bagazo como sustituto parcial del agregado fino. También [16] considero a la ceniza del bagazo de la caña de azúcar en estudiar la durabilidad y el grado de corrosión en morteros, se incorporó la ceniza como agregado fino en un 10% y 20% incorporada en sustitución al cemento, aumentando la resistencia a la compresión de un 42% y 20% respectivamente.

Bendezú [17] estudió el bagazo de la caña de azúcar en ladrillos, evaluando las propiedades físicas y mecánicas, el 10% de ellos obtuvo mayor resistencia a la compresión y en un 15% presentaron mejor absorción.

En la última década el Ecuador ha presentado un promedio de 33.973 construcciones de edificaciones, con un área por residencia de 140 metros cuadrados promedio, según el Instituto Ecuatoriano de Censo (INEC), el ladrillo es el material de construcción en paredes es del 34.7% [18], esto significa que se utilizaron aproximadamente 84 millones de ladrillos en promedio aproximadamente, considerando que el volumen promedio de cada unidad de ladrillo es de $1,65 \times 10^{-3} \text{ m}^3$, por lo que se estima que se usan más de 138 T de un recurso natural no renovable como lo es la arena, barro y arcilla.

Se investigó el uso del bagazo de caña de azúcar como agregado en la elaboración de ladrillos de arcilla con diferentes composiciones porcentuales, para su aplicación en mamposterías, evaluándose las propiedades físicas y mecánicas, como una alternativa para disminuir las emisiones de CO₂ a la atmósfera producto de la combustión del residuo de la caña de azúcar.

II. METODOLOGÍA

La investigación se realizó con el enfoque cuantitativo con alcance descriptivo. Los métodos utilizados fueron el experimental, exploratoria, documental y observación para la elaboración de un prototipo de ladrillo artesanal eco sostenible que pretende demostrar científicamente y técnicamente la viabilidad de los resultados mediante el análisis del comportamiento producido por distintos eventos a los cuales estarán sujetos los especímenes, realizando pruebas de laboratorio donde se determinó su utilidad en el campo de la construcción. Las técnicas utilizadas fueron de análisis multivariado como regresiones múltiples y diseño de experimentos con factores, para validar los materiales utilizados y mejorar la propuesta.

A. Materiales y equipos

Fibras del bagazo de la caña de azúcar (FBCA)

Para la obtención de la fibra de bagazo, la caña de azúcar debe pasar por un proceso de tratamiento previo, primero se extrae la pulpa que sirve principalmente para la elaboración de panela, alcohol, entre otros. El bagazo se obtiene como residuo después de obtener la pulpa de la caña de azúcar, pudiendo estar con corteza y sin corteza. Al concluir la separación del azúcar del bagazo, se realiza un secado prolongado al ambiente, seguido del pulverizado, lo que permite obtener fragmentos de 12,7 mm de diámetro promedio.

Arcilla-barro

El material fue obtenido de la Parroquia Chorrillo en la provincia Guayas, Ecuador, que es el lugar de donde los artesanos del sector obtienen la arcilla para la elaboración de sus ladrillos.

Agua

No tiene que contener sustancias químicas porque puede afectar al realizar el ladrillo y no logre fraguar. Se utilizó agua de la red pública de abastecimiento y dotación, emulando las condiciones que utilizan los artesanos en la fabricación de ladrillos.

Equipos Utilizados.

Para el tratamiento del bagazo de la caña de azúcar y obtención de las partículas sólidas se utilizó una trituradora de plástico industrial de 1/2 pulgada de longitud.



Figura 1. Trituradora y pulverizadora

Para el fabricado de ladrillos se utilizaron moldes de madera de 25 cm por 12 cm y 5,5 cm, un martillo de goma para quitar espacios de vacío en la mezcla, un horno artesanal. Se utilizaron también equipos de horno eléctrico, piscina de probetas y equipos de compresión simple para determinar las características físicas del ladrillo.

B. Métodos

Tratamiento del bagazo de la caña de azúcar.

Para reducir el porcentaje de sacarosa en el bagazo de la caña de azúcar se realizó el proceso de lavado a flujo continuo por 8, 16 y 24 horas, en la determinación de la cantidad azúcares totales y de fibra cruda, a los dos tipos de bagazo se realizó por

el método volumétrico de Lane y Eynon y OAA C 21dt 978.10 respectivamente, que consiste en pesar la muestra y medir con la proporción de azúcar esperada.

Para la elaboración del ladrillo se eligió el bagazo de la caña de azúcar con corteza, aplicando el método de lavado de flujo continuo.

Posteriormente se realizó el secado entre 4 y 5 horas diarias durante 7 días, y luego se realizó el proceso de trituración las muestras de bagazo con corteza y sin corteza utilizando la malla más fina para llegar a obtener las fibras de bagazo.

Dosificaciones utilizadas

En la elaboración de los ladrillos, se partió con la dosificación utilizada comúnmente por los artesanos, siendo esta 4:9:7 para la arena:barro:arcilla. La cantidad de agua utilizada es de 6 litros en cada dosificación.

Se realizaron 5 dosificaciones con diferentes porcentajes de FBCA, que van desde el 1.7%, 3.3%, 5% y 6.6% en inclusión, considerando 3 repeticiones de cada dosificación, y a cada experimento se aplicaron las pruebas a los 7, 14 y 28 días, por lo que se obtuvieron en total 36 muestras que fueron analizadas, añadiendo 3 muestras de control con 0% de FBCA.

Moldeado del ladrillo

Al obtener la masa de la mezcla homogénea, se la colocó en los moldes de madera de 25 cm por 12 cm y 5,5 cm, se utilizó un vibrador para eliminar los espacios de vacío que quedan en el molde.

El proceso de desmolde del ladrillo fue rápido y el proceso de secado duró mínimo 10 días al aire libre dependiendo las condiciones climáticas. Después se secó al horno durante 24 horas.

Los ladrillos obtenidos fueron identificados según su porcentaje de dosificación, para aplicar las pruebas de laboratorio en los cuales se determinó: resistencia a la compresión, absorción, densidad y humedad y comparar con ladrillo artesanal elaborado con los ladrillos comercializados.

Ensayos realizados

Se realizaron los ensayos para determinar las propiedades de: resistencia mecánica a la compresión, densidad aparente, absorción, humedad, peso real, peso saturado, peso seco en horno, peso seco al ambiente, con referencia a la Norma Técnica Ecuatoriana - NTE INEN 3049.

Análisis estadísticos multivariados

Se utilizó el método multivariado de Análisis de Componente Principales (ACP) para identificar y reducir las variables consideradas y formar combinaciones lineales de las variables estudiadas, este es usualmente utilizado antes de realizar un análisis de regresión con el propósito de reducir los predictores en relación con las observaciones.

Los datos obtenidos de los 39 ladrillos de muestra con las dosificaciones mencionadas y muestra de control, se ajustó un modelo de regresión múltiple en la cual esta ecuación se puede utilizar para predecir la resistencia (MPa) considerada como la variable dependiente o regresando, para valores específicos de las variables independientes o predictoras (Absorción, humedad, dosificación, densidad aparente, peso real, peso saturado, peso secado al horno, peso secado al ambiente), consideradas en el modelo, se determinaron a partir del análisis multivariado de componentes principales 2 grandes grupos, la primera componente principal está conformada por absorción, dosificación, humedad y la segunda componente principal está conformada por las variables referente al peso, densidad.

III. RESULTADOS

A. Propiedades del bagazo de la caña de azúcar

En la Tabla I se muestra los resultados de azúcares totales por inversión obtenidos del método de lavado en flujo continuo aplicado al bagazo de la caña de azúcar. Para el presente estudio, el interés estuvo en determinar que el porcentaje de azúcares totales sea menor al 1%. Este resultado se obtuvo ya sea en 8 horas, 16 horas o 24 horas de lavado.

Tabla I.
Azúcares totales por inversión en el bagazo con corteza a flujo continuo de lavado de 8, 16 y 24 horas

Tiempo lavado	Unidad	Resultado	Método
8 horas	%	< 1.00	Lane & Enyon
16 horas	%	< 1.00	Lane & Enyon
24 horas	%	< 1.00	Lane & Enyon

En la Tabla II se muestra el porcentaje de sacarosa y de fibra encontrada en el bagazo de caña de azúcar con y sin corteza.

Tabla II.
Sacarosa y fibra del bagazo de caña de azúcar

Nombre: Bagazo de la caña de azúcar con corteza			
Análisis Físico y Químico			
Ensayos Realizados	Unidad	Resultado	Métodos/Ref.
Azúcares totales por Inversión	%	16.76	Lane & Enyon
Fibra cruda	%	27.10	AOAC 21st 978.10
Nombre: Bagazo de la caña de azúcar sin corteza			
Análisis Físico y Químico			
Ensayos Realizados	Unidad	Resultado	Métodos/Ref.
Azúcares totales por Inversión	%	23.40	Lane & Enyon
Fibra cruda	%	17.36	AOAC 21st 978.10

B. Ladrillos moldeados

Como producto del moldeado de ladrillos, aplicando las 4 dosificaciones mencionadas, se obtuvieron las muestras que se utilizaron para el análisis. En la Figura 2-5 se presentan los ladrillos moldeados acorde con cada dosificación.



Figura 2. Ladrillo – dosificación 1.7%



Figura 3. Ladrillo – dosificación 3.3%



Figura 4. Ladrillo – dosificación 5.0%

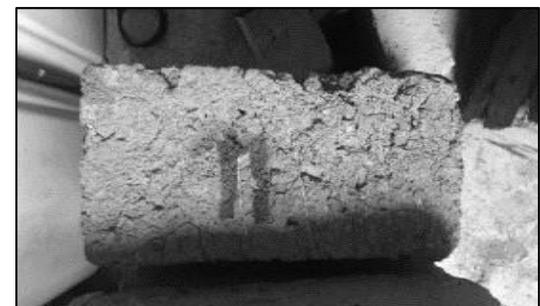


Figura 5. Ladrillo – dosificación 6.6%

A. Propiedades físicas del ladrillo

La prueba de densidad aparente está relacionada con el peso del ladrillo y la combinación de los materiales para que mantenga la estabilidad e impedir que el ladrillo se deforme. En la Figura 6 se muestra los resultados obtenidos para los ladrillos con las dosificaciones de bagazo y el tradicional. Las muestras con un contenido de FBCA del 1.7% y 3.3%, evidencian valores de densidad aparente mayores que el ladrillo de control, de 1.90 g/cm³.

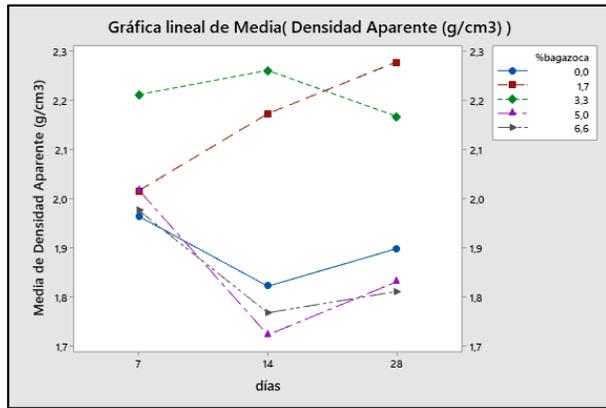


Figura 6. Densidad aparente por dosificación

Los valores de la resistencia a la compresión de los ladrillos se muestran en la Figura 7, expresando una tendencia de que a menor porcentaje del bagazo mayor resistencia a la compresión obtenida; sin embargo, los ladrillos con dosificación del 1.7 y 3.3% superan a la resistencia del ladrillo tradicional (control).

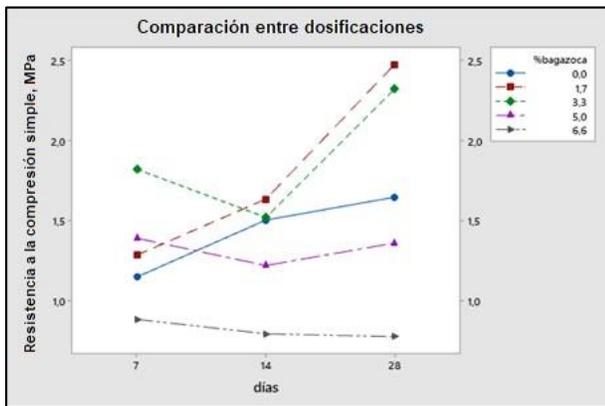


Figura 7. Resistencia a la compresión simple entre dosificaciones

Para los resultados obtenidos en la prueba de absorción, que es la que mide la capacidad de agua que es absorbida por el ladrillo y según la norma NTEINEN 3049, está debe ser menor al 17%, como se muestra en la figura 8, los ladrillos con dosificación que cumplen son los porcentajes de 1.7% y el 3.3%, inclusive menor al ladrillo tradicional.

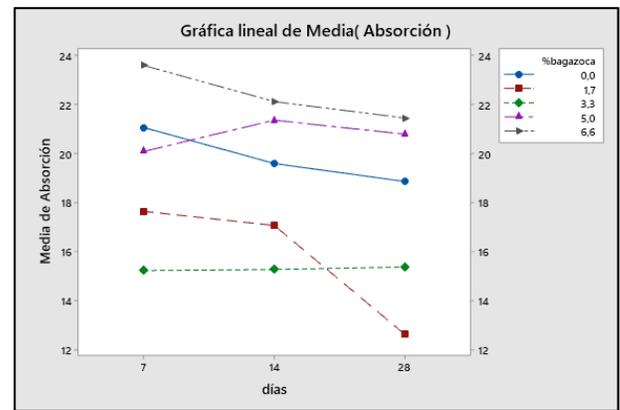


Figura 8. Comparación de la absorción (%) por dosificación

El modelo regresión ajustado puede explicar en un 76.35% la variable de resistencia a la compresión (MPa). En la Figura 9, se presenta la correlación de la resistencia a la compresión simple (eje vertical) vs. Dosificación (X1), densidad aparente (X2), volumen real (X3), humedad (X4) y absorción (X5) en el eje horizontal, además las gráficas de fondo gris son las variables que no aportan al modelo significativamente, por lo tanto, son eliminadas.

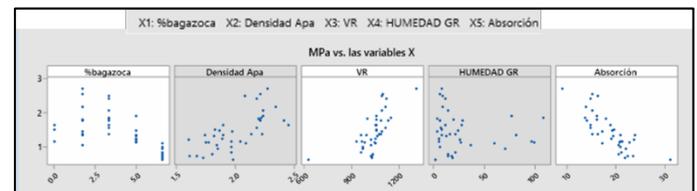


Figura 9. Correlación de propiedades físicas con la resistencia a la compresión simple

En la figura 10 se muestra el porcentaje de influencia directa que tienen las variables analizadas con la determinación de un valor de resistencia a la compresión simple.

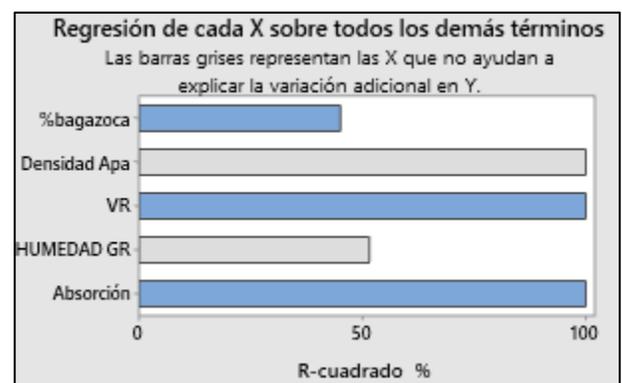


Figura 10. Análisis de influencia de las variables analizadas

La ecuación (1) muestra el modelo de regresión obtenido para estimar la Resistencia a la Compresión Simple (RCS) en Mpa.

$$0.74X_1 + 0.60262X_2 + 0.0356X_3 - 0.0642X_4 - 0.00548X_1X_2 + 0.11X_1X_3$$

B. Análisis de resultados

De acuerdo a la elaboración de los distintos prototipos, se puede expresar que, la dosificación 1.7% de FBCA presentó un valor promedio de resistencia a la compresión, a los 28 días de 2.48 MPa, un promedio de absorción de humedad de 12.64% y la densidad aparente en promedio es de 2.28 g/cm³.

La dosificación 3.3% de FBCA presentó a los 28 días adquirió una resistencia de compresión promedio de 2.33 MPa, un promedio de absorción de humedad de 15.38%, y la densidad aparente en promedio de 2.17 g/cm³.

A los 28 días, la dosificación 5.0% de FBCA presentó un valor promedio de resistencia de compresión de 1.36 MPa, un promedio de absorción de humedad de 20.8% y la densidad aparente promedio de 1.83 g/cm³

La dosificación 6.6% de FBCA, obtuvo, a los 28 días, una resistencia de compresión simple promedio de 0.77 MPa, un promedio de absorción de humedad de 21.46% y densidad aparente promedio de 1.81 g/cm³

La dosificación de control, obtuvo el valor promedio de resistencia a la compresión simple, a los 28 días, de 1.65 MPa, la absorción de humedad promedio de 18.86 % y densidad aparente promedio de 1.89 g/cm³

Se puede determinar que los ladrillos de dosificación 1.7% y 3.3% tienen mayor resistencia y retiene menor absorción, considerándolo ideal a este tipo de ladrillos para climas húmedos, el comportamiento de su peso es mucho mayor con respecto a los ladrillos comerciales. La dosificación 5.0% y 6.6%, tienen los pesos menores, pero disminuye la resistencia y aumenta el porcentaje de absorción lo que se comprueba que el material de bagazo no se lo puede aplicar en porcentajes mayores al 5%.

Debido a que la absorción afecta la durabilidad de los ladrillos, se obtuvieron resultados similares con [19], mayores porcentajes de FBCA corresponden a mayores valores de absorción, similares valores fueron reportados utilizando ceniza de bagazo de la caña de azúcar por [20].

La resistencia a la compresión presenta dos tendencias, porcentajes menores a 3.3% de FBCA están ligados a valores altos de resistencia a la compresión; en cambio, porcentajes mayores a 5,5% de FBCA están asociados a valores bajos de resistencia a la compresión, concordando con [21].

Como se mencionó en la sección introductoria, en el Ecuador, en promedio, se han construido 33.973 edificaciones

por año, con un área por residencia de 140 m² y de las cuales se utilizaron aproximadamente 84 millones ladrillos, y si se utilizara el ladrillo investigado, que utiliza 0.1 Kg de bagazo aproximadamente por ladrillo, el peso total de bagazo utilizado serían 8400 toneladas, residuo orgánico que al momento no se utilizar y se quema, generando la correspondiente contaminación de la combustión.

IV. CONCLUSIÓN

En las pruebas de absorción, los ladrillos que mejores resultados obtuvieron fueron los ladrillos con dosificaciones de 5.0% y 6.6% de agregado FBCA, cumpliendo con los estándares de calidad comparado con los ladrillos comerciales.

En la comparación que se realizó entre la diferencia del peso del ladrillo saturado y el peso del ladrillo seco, se puede concluir que los especímenes con dosificaciones de 1.7% y 3.3% de agregado FBCA tienen mayor peso que los mampuestos de control, y a diferencia de los porcentajes 5.0% y 6.6%, son los que lograron menos peso debido a la mayor cantidad de FBCA.

De la regresión múltiple realizada para la estimación de la resistencia a la compresión simple, se obtuvo que las cifras que han sido analizadas en los ensayos mecánicos tienen similitud, con el valor de aceptación de datos en 76.35%.

Los ladrillos con dosificación de 1.7% de agregado FBCA alcanzaron los 2.48 MPa, superando satisfactoriamente a los ladrillos de control en un 33.47%, y a los ladrillos comerciales en 4.03%. A diferencia de los especímenes con dosificación de 5.0% y 6.6%, que tienen resultados muy por debajo de los ladrillos comerciales.

Por lo mencionado, se puede indicar que el uso de la fibra del bagazo de la caña de azúcar es un elemento que puede ser utilizado como componente agregado en la elaboración de ladrillos, con notable rendimiento mecánico y ambiental.

REFERENCIAS

- [1] J. Gama, T. Curz, T. Pi-Puig, R. Alcalá y H. Cabadas, «Arquitectura de tierra: el adobe como material de construcción en la época prehispánica,» México, 2012.
- [2] K. González, R. Sánchez-Bernal, D. Pita-Castañeda y L. Pérez, «Caracterización de las propiedades mecánicas de un ladrillo no estructural de tierra como soporte de material vegetal en muros verdes,» Bogotá, 2019.
- [3] G. A. f. B. a. Construction, «Informe de estado global 2020 sobre los Edificios y la Construcción,» Suiza, 2020.
- [4] ONU, «<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>,» 2020. [En línea].
- [5] FAO, «http://www.fao.org/faostat/es/#rankings/countries_by_commodity,

- » 2019. [En línea]. Available: http://www.fao.org/faostat/es/#rankings/countries_by_commodity.
- [6] J. & S. D. Dancé, «La cosecha de caña de azúcar: Impacto económico, social y ambiental.» Universidad de San Martín de Porres, 7., San Martín de Porres, 2016.
- [7] M. Reinoso, J. Canciano y H. Anel, «Huella de carbono en la industria azucarera. Caso de estudio,» *Tecnología Química*, 2018.
- [8] L. Rodríguez, C. Lubo, J. Abadía, O. Orozco, A. López y G. Llano, «Comparación de los escenarios de emisiones de GEI por combustión móvil y fertilización en un cultivo de caña de azúcar comercial y orgánica a través de modelos de simulación,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v12n2/1909-0455-pml-12-02-00080.pdf>.
- [9] A. Curbero, B. Garea y A. Valdes, «FAO,» 2021. [En línea]. Available: <http://www.fao.org/3/t2363s/t2363s0n.htm>.
- [10] INEC, «www.inec.gob.ec,» 2020. [En línea]. Available: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2019/Presentacion%20de%20los%20principales%20resultados%20ESPAC%202019.pdf.
- [11] M. Farfán y H. Pastor, «Ceniza de bagazo de caña de azúcar en la resistencia a la compresión del concreto,» *UCV Hacer*, p. <https://www.redalyc.org/journal/5217/521758012002/>, 2018.
- [12] D. Vidal, J. Torres y I. González, «Ceniza de bagazo de caña de azúcar para la elaboración de materiales de construcción: Estudio preliminar,» *Momento*, pp. 14-23, 2014.
- [13] J. Osorio, F. Varón y J. Herrera, «Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar,» pp. 69-79, 2007.
- [14] A. Abaka, «Effects of Sugar on Physical Properties of Ordinary Portland Cement Paste and Concrete,» Nigeria, 2011.
- [15] J. Fernández-Rodríguez y N. Díaz-Hernández, «Evaluación de un material compuesto reforzado con fibras de bagazo en matriz de cemento,» *Instituto Cubano de Investigaciones de los derivados de la caña de azúcar Cuba*, pp. 53-59, 2017.
- [16] G. Valencia, R. Mejía de Guterrez, J. Barrera y S. Delvasto, «Estudio de durabilidad y corrosión en morteros armados adicionados con toba volcánica y ceniza de bagazo de caña de azúcar,» *Revista de la Construcción*, 2012.
- [17] M. Bendezú, «Aplicación de ceniza de bagazo de caña de azúcar en ladrillos ecológicos en el distrito de Puente Piedra,» Lima, 2019.
- [18] INEC, «Encuesta de edificaciones,» Guayaquil, 2018.
- [19] N. Phonphuak, «Effects of additive on the physical and thermal conductivity of fired clay brick,» *Journal of Chemical Science and Technology*, vol. 2, n° 1, pp. 95-99, 2013.
- [20] K. Faria, R. Gurgel y J. Holanda, «Recycling of sugarcane bagasse ash waste in the production of clay bricks,» *Journal of Environmental Management*, n° 101, pp. 7-12, 2012.
- [21] S. M. Kazmi, S. Abbas, M. A. Saleem, M. J. Munir y A. Khitab, «Manufacturing of sustainable clay bricks: Utilization of waste sugarcane,» *Construction and Building Materials*, n° 120, pp. 29-41, 2016.