

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/353036233>

Bloques de tierra comprimida como alternativa de sostenibilidad en comunidades rurales (El Prodigio – Antioquia)

Chapter · July 2021

CITATIONS

0

READS

2

4 authors, including:



Joan Amir Arroyave Rojas

Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia

21 PUBLICATIONS 61 CITATIONS

SEE PROFILE



Karen Jessenia Venegas Ocampo

Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia

2 PUBLICATIONS 0 CITATIONS

SEE PROFILE



Hernán Cañola

Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia

23 PUBLICATIONS 16 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Reinforced Glulam Beams [View project](#)



CONSTRUCCION y SOSTENIBILIDAD [View project](#)



**CIENCIA Y
CONCIENCIA**

POR LA SOSTENIBILIDAD
DEL MEDIO AMBIENTE

X CONGRESO GESTIÓN AMBIENTAL

**RESÚMENES Y TRABAJOS
EN EXTENSO**



ISBN: 978-959-300-208-0



**XIII CONVENCION INTERNACIONAL SOBRE
MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO**

**X CONGRESO DE GESTIÓN
AMBIENTAL**

**LIBRO DE RESÚMENES
Y TRABAJOS EN EXTENSO**

EDITORES

Claudia Gómez García
Bárbara Viñet Hernández



**La Habana, Cuba
5 al 9 de julio de 2021**

El contenido de esta publicación es responsabilidad exclusiva de los autores y en ningún caso debe considerarse que refleja los puntos de vista del Instituto de Geografía Tropical y/o la Agencia de Medio Ambiente, todos de la República de Cuba.

Se autoriza la reproducción total o parcial de esta obra sin fines de lucro, solo se requiere que nombren la fuente e informen de ello a sus editores.

ISBN: 978-959-300-208-0



COMITÉ ORGANIZADOR

Presidente:

Dr. Jorge Angel Luis Machín. machinigt@geotech.cu

Secretaria Ejecutiva:

MSc. Bárbara Viñet Hernández. babyv@ama.cu

Secretario Científico:

Lic. Francisco Cutié Rizo. pcutie@geotech.cu

Secretaria Asistente:

Lic. Claudia Gómez García. claudiag@geotech.cu

Responsable Informático:

MSc. Diosbel Vázquez Viera. diosbel@geotech.cu

Otros miembros

Dra. Obllurys Cárdenas López. obllurys@geotech.cu

Dr. Orlando Novua Álvarez orlandon@geotech.cu

Dr. Francisco Cejas Rodríguez. cejas@geotech.cu

Dra. Odil Durán Zarabozo. oduran@ceniai.inf.cu

Dr. Yoel Cuzán Fajardo ycf2017@geotech.cu

Dr. Arsenio José Areces Mallea jareces22@gmail.com

Dra. Maira Celeiro Chaple mairageografica@gmail.com

ENTIDADES ORGANIZADORAS

Instituto de Geografía Tropical y Agencia de Medio Ambiente

OBJETIVO

Propiciar el intercambio de experiencias y conocimientos entre actores involucrados en la gestión ambiental, para dar a conocer las vías, instrumentos y métodos utilizados en la prevención o mitigación de los impactos ambientales; potenciar los resultados positivos y debatir las metas a alcanzar, en el ámbito nacional e internacional.

TEMATICAS

- Gestión integrada de los recursos naturales.
- Gestión de la información ambiental
- Gestión ambiental a nivel de organizaciones.
- Gestión de la contaminación y de la degradación ambiental.
- Instrumentos para la gestión ambiental.

GA-100

BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA COMO ALTERNATIVA DE SOSTENIBILIDAD EN COMUNIDADES RURALES (EL PRODIGIO – ANTIOQUIA)

Hernán Cañola ^a, Joan Arroyave-Rojas ^b, Faber Villa-Cardona ^c, Carlos Medina-Restrepo ^d, Karen Venegas^e,

^a Grupo de investigación Ambiente, Hábitat y Sostenibilidad, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia. hernan.canola@colmayor.edu.co

^b Grupo de investigación Ambiente, Hábitat y Sostenibilidad, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia. joan.arroyave@colmayor.edu.co

^c Grupo de investigación Ambiente, Hábitat y Sostenibilidad, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia. faber.villa@colmayor.edu.co

^d Grupo de investigación Ambiente, Hábitat y Sostenibilidad, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia. carlos.medina@colmayor.edu.co

^e Grupo de investigación Ambiente, Hábitat y Sostenibilidad, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia. Karen.venegas@colmayor.edu.co

Resumen

Las problemáticas ambientales generadas por la industria de la construcción como consecuencia de la explotación de canteras y ríos para la extracción de recursos pétreos, utilizados en la fabricación de elementos constructivos como bloques de concreto, trae nuevos retos; en esta investigación se plantea como alternativa de sostenibilidad ambiental, el uso de tierra en la confección de Bloques de Tierra Comprimida (BTC) para sistemas de mampostería en el corregimiento El Prodigio de San Luis – Antioquia; según los análisis realizados de propiedades físico-mecánicas, posterior a la caracterización de materiales, se determinó que los BTC elaborados por la comunidad, con una dosificación por peso, correspondiente a una parte de cemento, 6 partes de tierra y tres de arena de pega, presentaron una densidad promedio de 2054kg/m³, una resistencia promedio de penetración de agua por método Rilem de 4,8x10⁻⁶ m³ y resistencia promedio a la compresión de 3,2Mpa, lo cual los hace viables para la construcción de sistemas de mampostería según la NTC 5324; por otro lado, el trabajo realizado permitió la integración social y la sensibilización ambiental en cuanto al aprovechamiento de la tierra como alternativa de construcción en comunidades rurales con problemáticas ambientales, de accesibilidad y déficit de unidades habitacionales.

Palabras clave: Construcción sostenible, gestión ambiental, Bloque de tierra Comprimida

GA-100

BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA COMO ALTERNATIVA DE SOSTENIBILIDAD EN COMUNIDADES RURALES (EL PRODIGIO – ANTIOQUIA)

Introducción

La tierra como material de obra ha sido considerado como uno de los pilares de la Arquitectura moderna, sobre la cual se tienen indicios de su aprovechamiento como material de construcción desde el año 10.000 antes de cristo en la cultura Mesopotámica; donde este material vernáculo era combinado con otros materiales para mejorar sus propiedades físico - mecánicas y garantizar la estabilidad, funcionalidad y estética de sistemas constructivos como mamposterías, pisos y acabados arquitectónicos, etc. [1]–[8]. Además de lo anterior, como componente de diferentes elementos constructivos, la tierra en su proceso de transformación e implementación no genera una alta cantidad de CO₂ ni consumos energéticos [9], por lo anterior, desde el desarrollo de la Arquitectura moderna y como alternativa ambiental, este material se ha convertido en una opción al deterioro ambiental que el sector de la construcción ha generado como consecuencia de la sobre explotación de recursos naturales y producción de materiales que en su proceso de transformación generan un impacto ambiental negativo debido al consumo energético y sobreproducción de CO₂ [10]. Por lo tanto, muchos investigadores han hecho de la arquitectura vernácula y del aprovechamiento de la tierra, una opción frente al cuidado ambiental y alternativa a la solución de problemáticas sociales ligadas con la carencia habitacional en comunidades rurales a nivel mundial. Algunas investigaciones determinan que el incremento de la concientización sobre la sostenibilidad ambiental, ha generado una mayor valorización de los materiales disponibles en el entorno, como es el caso de la tierra usada en la construcción de adobes para viviendas y espacios destinados a la producción agrícola [11]; además de lo anterior, se resalta que este material es una alternativa al cuidado ambiental frente a otros materiales de construcción, destacando la mejora de entornos vivos y la preservación de los bienes arquitectónicos e históricos que constituyen un testimonio vivo del patrimonio edificable; por otro lado, se establece que el uso de mampuestos que no requieran procesos de cocción como los adobes y los Bloques de Tierra Comprimida (BTC) reducen las emisiones de gases de efecto invernadero hasta diez veces en comparación con los ladrillos cocidos tradicionales [12]; además de lo anterior [4], [5], determinan que en cuanto al costo, construir un muro con este tipo de productos es un 20% más barato que con ladrillos de arcilla cocida. Al igual que los anteriores autores [13], determina en su estudio sobre el análisis de propiedades físico – mecánicas de ladrillos y BTC, que la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) por causa de la cocción de ladrillos de arcilla es una causa que se describió en el Inventario de GEI con relación al deterioro ambiental proveniente del sector de la construcción, por lo anterior el bloque de tierra comprimida (BTC) podría representar una iniciativa ecológica para la construcción de viviendas alternativas, permitiendo así reducir la emisión de GEI. De igual forma [14], destacan las cualidades ambientales y constructivas de la tierra cruda, así

como la disponibilidad de este material en situ, lo cual lo convierte en una opción ventajosa para la construcción de hábitats en zonas rurales y urbanas. Otras investigaciones determinan que el uso de la tierra en el sector de la construcción une el antiguo conocimiento de cada cultura con el desarrollo tecnológico actual, por lo cual estas técnicas pueden considerarse, a partir de ahora, como una alternativa consistente hacia materiales perniciosos, hoy en día hegemónicos, de una industria de la construcción que contribuye decisivamente al deterioro que ha llegado a depredar nuestro planeta [13]–[15]. Sin embargo, pese a que la tierra es una alternativa ambiental con relación al consumo energético y producción de CO₂ en comparación a otros materiales de construcción como los ladrillos cocidos, concreto, acero, etc., se debe tener presente que esta material aplicado a la construcción de viviendas puede tener desventajas derivadas de asentamientos irregulares del suelo, desastres naturales, presencia de nivel freático, agua lluvia, pero sobre todo debido a un concepto de diseño deficiente y un mantenimiento deficiente [7], debido a lo anterior, se recomienda al uso de compuestos bituminosos como alternativa de mejora a esta material frente a la humedad proveniente del terreno y de la lluvia, resaltando además la durabilidad como un aspecto de sostenibilidad ambiental [16]. Según lo mencionado por los anteriores autores, la tierra como material de construcción se convierte en una opción viable al cuidado ambiental, de ahí que en esta investigación se promueva el uso de los bloques de tierra comprimida (BTC) en zonas rurales de Antioquia como lo es el corregimiento El Prodigio del Municipio de San Luis, como alternativa a la integración social y la sensibilización ambiental en cuanto al aprovechamiento de la tierra como material de construcción en comunidades rurales con problemáticas ambientales y déficit habitacional.

Métodos

Esta investigación experimental de tipo cualitativo y cuantitativo se fundamentó en cuatro etapas las cuales permitieron la integración social, aprovechamiento de recursos, cuidado ambiental y aprendizaje en autoconstrucción con relación a la realización de BTC como alternativa constructiva en comunidades rurales; la descripción de cada una de las etapas desarrolladas para este proyecto se muestran a continuación: Etapa i) correspondiente al análisis de entorno, diálogos académicos y discusión sobre el cuidado ambiental en zonas rurales con relación al aprovechamiento de la tierra como alternativa constructiva, frente a otros materiales como el concreto, ladrillos cocidos y acero; Etapa ii) se da a conocer la importancia del uso de la tierra como material vernáculo, su uso y se procede con la recolección de materias primas; Etapa iii) Se procede a la caracterización de materiales mediante pruebas organolépticas [5] y pruebas físicas de laboratorio como: granulometría NTC 77 [17], por último en la etapa iv) se elaboran los BTC bajo parámetros de la norma NTC 5324 [18] por parte de la comunidad del corregimiento El Prodigio, posteriormente se realizan pruebas físicas de resistencia a la penetración de agua mediante el uso de la pipetas Karsten o tubo Rilem, método RILEM CPC 11.2 [19] y pruebas de resistencia a la compresión norma NTC 5324 [18], estos análisis desarrollados en el laboratorio de suelos de la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia.

Resultados

Para el desarrollo de esta investigación inicialmente en la etapa uno, en conjunto con los estudiantes pertenecientes a la tecnología en Gestión Ambiental de la institución Universitaria colegio Mayor de Antioquia, se realizaron diálogos académicos y discusión sobre en cuidado ambiental en zonas rurales, como lo es el corregimiento El Prodigio localizado en el municipio de San Luis al oriente de Antioquia, en Colombia (ver Figura 1); el cual se caracteriza por sus ecosistemas kársticos, riqueza en mármol y madera [20].

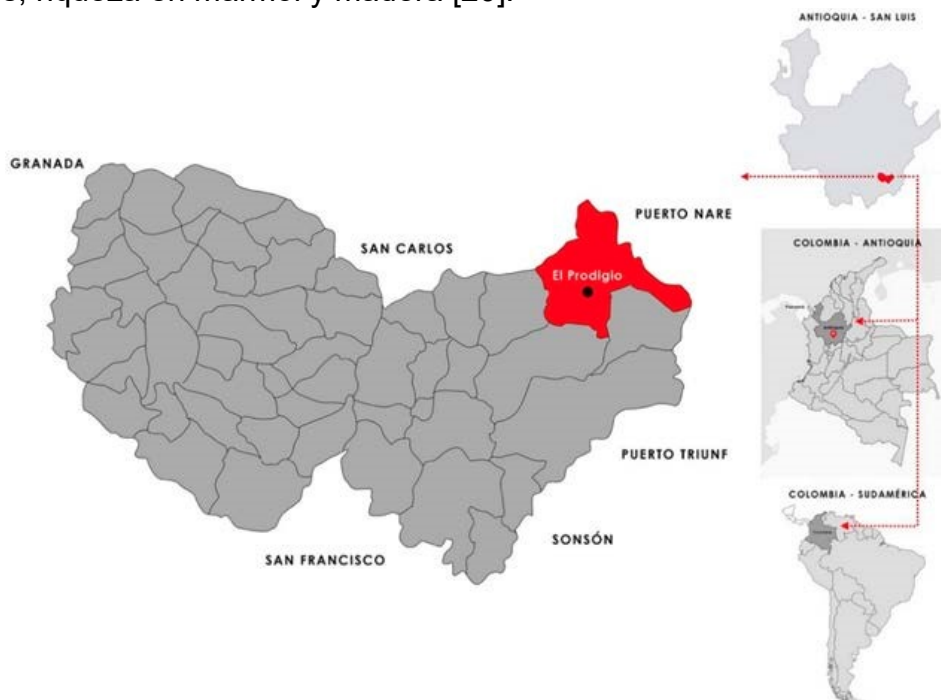


Figura 1: Localización del corregimiento El Prodigio. Fuente [20]

Durante la realización de los diálogos, se formularon preguntas con relación a los sistemas constructivos utilizados en la ejecución de viviendas rurales y la manera de obtención de los mismos; con relación a las respuestas obtenidas por parte de los estudiantes, 20 en total, el 80% respondieron que los materiales más utilizados en la construcción de viviendas, corresponden a Concreto, Acero, Ladrillos refractarios, Aluminio, Vidrio y Cerámica (ver Figura 2), el 20% restante menciona la madera, además se determinó que la obtención de los materiales en su gran mayoría se realizaba en la zona Urbana del municipio de San Luis, el cual queda a 42.3 km del corregimiento El Prodigio, o en su defecto en la ciudad de Medellín la cual queda a una distancia de 154 km de dicho corregimiento.



Figura 2: A, B) Viviendas típicas del corregimiento El Prodigio. Fuente Autores

Debido a las problemáticas ambientales presentes en la actualidad con relación a la contaminación y sobreproducción de Dióxido de carbono por el uso de materiales que en su proceso de transformación generan grandes cantidades de este gas, como alternativa al cuidado ambiental en la comunidad, se da a entender a los estudiantes de la Tecnología en Gestión Ambiental que la mejor opción para construir viviendas en dicha comunidad rural, se enfoca en el uso de la arquitectura vernácula y en el aprovechamiento de materiales propios de la región y de fácil adquisición como lo es la tierra y la madera, las cuales no representan en su proceso de utilización y transformación una alta producción de Dióxido de carbono con relación a otros materiales como los utilizados por la comunidad en la elaboración de sus viviendas tradicionales; en la Tabla 1 se muestra la producción de CO₂/ton de algunos materiales implementados en el sector de la construcción.

Tabla 1: Producción de CO₂/ton de material de construcción. Fuente Autores

Material de construcción	Producción de CO ₂ (kg CO ₂ /ton	Referencia
Tierra compactada	58.0	[21]
Madera	139.0	[22][23]
Bloques de concreto	189.5	[22]
Concreto	800.6	[22]
Ladrillos	1220.0	[21] [22]
Cerámica	1920	[22]
Acero	12207.0	[22]
Vidrio	1380.5	[21] [22]
Aluminio	35804.8	[22]

Para la etapa ii, se da a conocer a la comunidad los diferentes sistemas constructivos que se pueden realizar con tierra partiendo de la tapia pisada, el bahareque y el BTC, donde la mejor opción según las necesidades, herramientas y materiales que se podrían conseguir en la comunidad, correspondía al BTC, debido a que la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia cuenta con Cinva Ram, equipo necesario para la fabricación de los bloques de tierra comprimida. Una vez tenido claro esto, se le da a conocer a la comunidad algunas de las propuestas desarrollados por estudiantes pertenecientes a la carrera de Arquitectura de La Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia sobre los diferentes proyectos en BTC que se podrían ejecutar en El Prodigio partiendo de un área mínima de

construcción de 35m² para viviendas de interés social (VIS) en Colombia, según El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo en los decretos 2060 y el 2083 del 2004 [24], [25]. Una vez dados a conocer los proyectos se procedió con la recolección de materias primas como tierra y arena de pega para la fabricación de BTC por parte de la comunidad Rural. Para la etapa iii, se realizó la caracterización de los materiales a utilizar: arena, tierra y cemento; inicialmente se estudia la tierra, la cual fue extraída a una profundidad aproximada de 0.5m para evitar la presencia de material vegetal contenido en la muestra, posteriormente se realizan pruebas organolépticas correspondientes a: prueba de olor, mordedura, brillo, sedimentación simplificada y prueba del cordón [5], como se muestra en la Tabla 2. Posteriormente, la tierra fue tamizada y sometida a un proceso de secado durante 24 horas en el laboratorio de suelos de la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia; una vez seca, se determina su densidad mediante correlaciones de masas y volúmenes, garantizando siempre una humedad de equilibrio del 10 % al 13 %; obteniendo así una densidad de 1650 kg/m³; posteriormente se determinó el pH mediante un medidor multi-parámetros LAQUAact PC110K, con el cual se obtuvo como resultado un valor de 7.88, correspondiente a un pH básico; luego de los anteriores análisis se procedió con la toma de 1000 g de tierra, los cuales fueron sometidos a un análisis granulométricos, norma NTC 77 [17] , con lo cual se determinó un módulo de finura de 2.49 para la tierra.

Tabla 2: Pruebas organolépticas de la tierra. Fuente Autores

Prueba	Descripción	Clasificación	Fuente
Olor	No se percibe olor a moho	Inorgánico	[5], [26]
Color	Rojizo	Inorgánico, Arcilloso	[5]
Brillo	Poco brillante	Arcilloso	[25]
Mordedura	Se percibe sensación de crujido ligera al contacto con los dientes	Limoso	[26]
Cordón	Se parte a los 21 cm	Arcilloso	[26]

Posterior al análisis de la tierra se realizaron análisis en la arena de pega; estos correspondientes a pruebas de granulometría NTC 77 [17], absorción, masa unitaria suelta y compacta, además se realizaron análisis de densidad como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3: Propiedades físicas de la arena

Prueba	Valor	Unidad	Norma	Fuente
Granulometría (Modulo de finura)	2.60	-	NTC 77	[17]
Absorción	0.3	%	NTC 237	[27]
Masa Unitaria Suelta	1082	Kg/m ³	NTC 92	[28]
Masa Unitaria Compacta	1149	Kg/m ³	NTC 92	[28]
Densidad	2.68	Kg/m ³	NTC 237	[27]

Una vez realizados los análisis de la tierra y la arena, se determinó como alternativa de mejora de las propiedades físico-mecánicas de los BTC, el uso de estabilizantes;

para este caso se implementó cemento gris de uso general procedente de la empresa Argos; algunas de las propiedades físico-mecánicas del cemento se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4: Propiedades físicas y mecánicas de cemento. Fuente Autores

Prueba	Valor	Unidad	Fuente
Finura Blaine	2800	(cm ² /gr) Min.	[29]
Autoclave Expansión	≤ 0.80	-	[29]
Fraguado Inicial (Min)	≥45	-	[29]
Fraguado Final (Min)	≤ 420	-	[29]
Resistencia a la compresión 28 días	24	MPa	[29]

Para la etapa iv) se establece una dosificación de 60% de tierra, 30% de arena de pega, 10% de cemento gris de uso general como estabilizante y 15% de agua con relación al peso total de la mezcla, siempre y cuando la arena y la tierra se encontraran secas; este diseño de mezclas basado en la experiencia con base en la realización de BTC. Una vez realizados los BTC por parte de la comunidad (Ver Figura 3) se procede con la realización de pruebas físico-mecánicas de los Bloques de Tierra Comprimida.

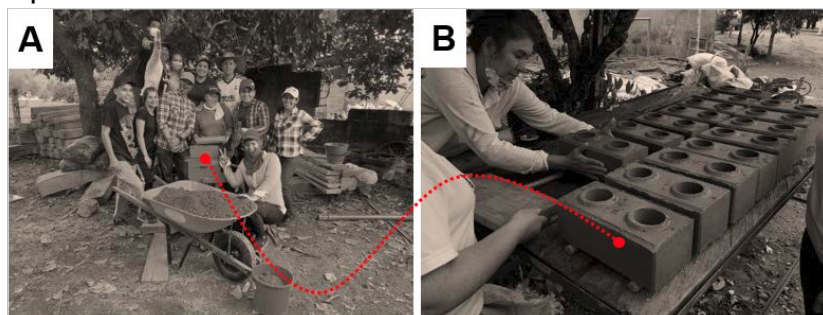


Figura 3: A, B) Fabricación de BTC por la parte de la comunidad rural. Fuente Autores

Una vez fabricados los BTC, se toma una muestra de 15 unidades, lo cuales fueron sometidos a ensayos de resistencia a la penetración de agua mediante el uso de la pipetas Karsten, método RILEM CPC 11.2 [19]; para este análisis se garantizó inicialmente que la superficie de los bloques se encontrara seca y limpia, con una humedad de equilibrio del 13%, posteriormente, se aplicó una masilla impermeable para adherir la pipeta, la cual presenta 1 cm² de sección transversal y un volumen de 5 cm³, verificando que no hubieran fugas [16] [19]. El ensayo se desarrolló durante 10 minutos, registrándose la penetración del agua durante este periodo cada minuto (ver Figura 4). En la Figura 5 se presentan los promedios de penetración al agua después de 10 minutos para cada una de las muestras analizadas

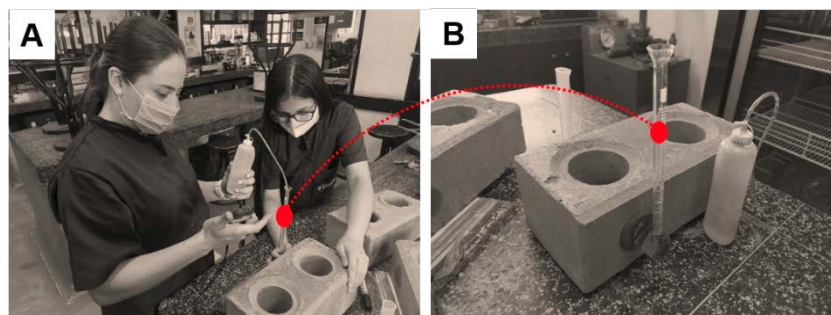


Figura 4: A, B) Ensayo de resistencia a la penetración de humedad. Fuente Autores

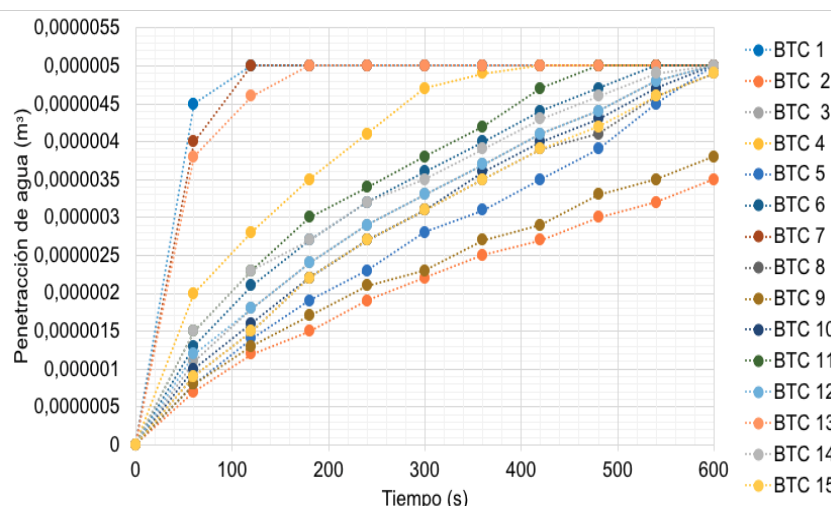


Figura 5: A) Penetración de humedad por método Rilem VS Tiempo. Fuente Autores

A partir de los datos obtenidos del análisis de resistencia a la penetración de agua mediante el uso de la pipetas Karsten [19], se determina una desviación estándar de $0,0000005 \text{ m}^3$ y un valor promedio de los muestras analizadas de $0,0000048 \text{ m}^3$, lo cual hace que los BTC confeccionados por la comunidad del corregimiento El Prodigio presentan una permeabilidad muy alta, siendo necesario el uso de barreras impermeables para garantizar su durabilidad frente a agentes externos como la lluvia en cerramientos exteriores. Por otro lado, con relación a la NTC 5424 [18], se determinó la densidad promedio de los Bloques de Tierra Comprimida y la resistencia a la compresión a los 28 días, al igual que el módulo de elasticidad promedio de las muestras mediante el uso del ultrasonido [30] (Ver figura 6), los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 5.

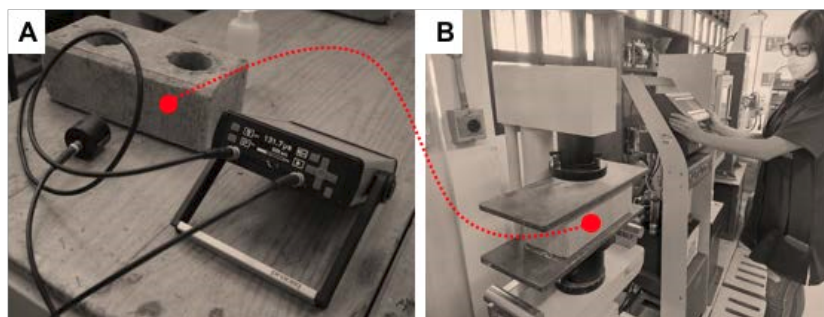


Figura 6: A) Ensayo de Ultrasonido, B) Análisis de compresión. Fuente Autores

Tabla 5: Resistencia a la compresión y módulo de elasticidad de BTC. Fuente Autores

Número de muestras	Densidad promedio (kg/m ³)	Resistencia a la compresión promedio (MPa)	Módulo de elasticidad promedio (GPa)
15	2054	3.2	1.32

Haciendo la validación de las propiedades físico-mecánicas se determina que el BTC como opción constructiva rural es una alternativa técnica y ambiental debido a que cumple con estándares de calidad direccionados por parámetros normativos como la NTC 5424 [18] y en comparación a otros sistemas constructivos presenta una menor producción de CO₂ como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6: CO₂/ m² de mampostería sin incluir el material de pega. Fuente Autores

Sistema constructivo de mampostería	Dimensiones de mampuesto (cm)	Peso/ unidad (kg)	Cantidad de mampuesto	Masa de mampuestos	Producción de CO ₂ (kg CO ₂ / ton)
Bloque de concreto	40x20x15	12.7	12.0	152.4	28.8
Ladrillo cocido	10x20x40	3.2	12.5	40.0	48.8
BTC	15x30x9,5	6.4	30.0	192.0	11.13

Conclusiones

El uso de BTC como alternativa ambiental de construcción podría considerarse como una opción sostenible frente a los sistemas tradicionales de mampostería en bloques de concreto y ladrillos cocidos en comunidades rurales como El Prodigio-Antioquia, lo anterior debido a que la fabricación de BTC implica el aprovechamiento de materiales locales como es el caso de la tierra y la arena de pega, además durante su proceso de fabricación, la producción de CO₂ es mínima frente sistemas constructivos para mampostería en bloques de concreto y ladrillos cocidos; logrando una reducción de CO₂ del 338% con relación a los ladrillos y del 159 % frente a los bloques de concreto. Por otro lado, la fabricación de BTC en comunidades rurales se convierte en una opción de integración social que promueve el trabajo colectivo, el fomento a la educación y la transformación de entornos rurales, donde se hace necesario la transmisión de conocimiento por medio de Instituciones de educación

superior como La Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, donde los procesos formativos no tienen barreras y el conocimiento sobre el cuidado ambiental se convierte en una responsabilidad social. Para futuras investigaciones en comunidades rurales sobre el aprovechamiento del BTC para la realización de sistemas constructivos, se recomienda un estudio sobre la producción de Bloques de tierra Comprimida sin cemento, pero que en su puesta en funcionamiento implementen sistemas de impermeabilización que no generen una sobreproducción de CO₂ en comparación a productos convencionales como: siliconas y productos derivados del Petróleo.

Bibliografía

- [1] J. Vyncke, L. Kupers, and N. Denies, "Earth as Building Material - An overview of RILEM activities and recent Innovations in Geotechnics," MATEC Web Conf., vol. 149, pp. 1–7, 2018.
- [2] F. Gatti, "Arquitectura y construcción en tierra. Estudio comparativo de las técnicas contemporáneas en Tierra," Univ. Politécnica Catalunya, p. 101, 2012.
- [3] J. E. Gama Castro et al., "Arquitectura de tierra: el adobe como material de construcción en la época prehispánica," Boletín la Soc. Geológica Mex., vol. 64, no. 2, pp. 177–188, 2012.
- [4] A. Almusaed and A. Almssad, "Building materials in eco-energy houses from Iraq and Iran," Case Stud. Constr. Mater., vol. 2, pp. 42–54, 2015.
- [5] M. Gernot, Building with Earth design and technology of a sustainable architecture. Boston: Birkhäuser – Publishers for Architecture, 2006.
- [6] A. Mellaikhafi, A. Tilioua, H. Souli, M. Garoum, and M. A. Alaoui Hamdi, "Characterization of different earthen construction materials in oasis of south-eastern Morocco (Errachidia Province)," Case Stud. Constr. Mater., vol. 14, no. January, 2021.
- [7] I. Hegediš, G. Karaman, A. Čeh, N. Đurić, D. Kukaras, and D. Vunjak, "Energy Sustainability of Rammed Earth Buildings," Arch. Tech. Sci., vol. 1, no. 17, 2017.
- [8] R. Přikryl, Török, M. Theodoridou, M. Gomez-Heras, and K. Miskovsky, "Geomaterials in construction and their sustainability: Understanding their role in modern society," Geol. Soc. Spec. Publ., vol. 416, no. 1, pp. 1–22, 2016.
- [9] O. B. Adegun and Y. M. D. Adedeji, "Review of economic and environmental benefits of earthen materials for housing in Africa," Front. Archit. Res., vol. 6, no. 4, pp. 519–528, 2017.
- [10] S. H. Sameh, "Promoting earth architecture as a sustainable construction technique in Egypt," J. Clean. Prod., vol. 65, pp. 362–373, 2014.
- [11] P. Picuno, "Use of traditional material in farm buildings for a sustainable rural environment," Int. J. Sustain. Built Environ., vol. 5, no. 2, pp. 451–460, 2016.
- [12] Gesprodex, "Los nuevos materiales de construcción," 2021. [Online]. Available: <https://construccionesgesprodex.com/los-nuevos-materiales-de-construccion/>.
- [13] B. M. Ramos and J. C. Lopez, "El ladrillo de bloque de tierra comprimida: una alternativa para reducir la carga ambiental," Innovare Rev. Cienc. y Tecnol.,

- vol. 8, no. 2, pp. 88–93, 2019.
- [14] F. Vegas, U. Polit, J. Merten, E. Superior, and D. Valley, *Terra Europae*, no. July. Spain: Culture Lab Editione, 2011.
- [15] A. Braga, M. Oliveira, E. Silva, and L. Viana, *Earth construction in the Algarve—Past and future*, no. January. 2018.
- [16] H. D. Cañola, A. Builes-jaramillo, C. A. Medina, and G. E. González-castañeda, “Bloques de Tierra Comprimida (BTC) con aditivos bituminosos,” *Tecnológicas*, vol. 21, no. 43, pp. 135–145, 2018.
- [17] ICONTEC, “NTC 77: Concretos. Método De Ensayo Para El Análisis Portamizado De Los Agregados Finos Y gruesos.” Bogota, p. 10, 2009.
- [18] ICONTEC, “Ntc 5324, Bloques de suelo cemento para muros y divisiones. Definiciones, especificaciones, métodos de ensayo, condiciones de entrega.” Bogota, p. 42, 2005.
- [19] R. C. 11.2, “Absorption of water by concrete by capillarity.” 1982.
- [20] H. D. Cañola, F. Granda, and K. Quintero, “Aprovechamiento de residuos en la construcción de galpones como alternativa de sostenibilidad en el corregimiento El Prodigio, en San Luis, Antioquia,” *Tecnológicas*, vol. 24, 2021.
- [21] J. Fernandes, R. Mateus, and L. Bragança, “The potential of vernacular materials to the sustainable building design,” in *Vernacular Heritage and Earthen Architecture*, no. June 2016, London: Taylor & Francis Group, 2013, pp. 623–629.
- [22] V. Tirth, S. Algarni, N. Agarwal, and A. Saxena, “Greenhouse gas emissions due to the construction of residential buildings in Moradabad, India,” *Appl. Ecol. Environ. Res.*, vol. 17, no. 5, pp. 12111–12126, 2019.
- [23] D. Chen, M. Syme, S. Seo, W. Chan, M. Zhou, and S. Meddings, *Development of an Embodied CO2 Emissions Module for AccuRate*, vol. 61, no. August. 2010.
- [24] A. Uribe, “Decreto 2060 de 2004,” Bogota, 2004.
- [25] A. Uribe, “Decreto 2083 de 2004,” Bogotá, 2004.
- [26] P. Doat, A. Hays, H. Houben, S. Matuk, and F. Vitoux, *Construir con tierra tomo II*. Bogota: Fondo rotatorio editorial, 1990.
- [27] ICONTEC, “NTC 237: Ingeniería Civil y Arquitectura. Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino,” p. 15, 2019.
- [28] ICONTEC, “NTC 92: Método de ensayo para la determinación de la densidad volumétrica (masa unitaria) y vacíos en agregados.” p. 20, 2019.
- [29] ARGOS, “Cemento Gris Uso General.” pp. 1–3, 2019.
- [30] A. S. for T. and M. (ASTM), “Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete.” West Conshohocken, 2018.