



*Materiales alternativos empleados en la construcción de viviendas en Ecuador:
una revisión*

Alternative materials used in housing construction in Ecuador: a review

*Materiais alternativos usados na construção de moradias no Equador: uma
revisão*

Jacque Alejandro Sornoza-Tituano ^I
jsornoza7204@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-0506-2396>

Robert William Zambrano-Sacón ^{II}
rzambrano0197@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-4736-7769>

Beatriz Irene Caballero-Giler ^{III}
beatriz.caballero@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-2008-864X>

José Fabián Veliz-Párraga ^{IV}
Fabian.veliz@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-5356-4537>

Correspondencia: jsornoza7204@utm.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Revisión

***Recibido:** 26 de febrero de 2022 ***Aceptado:** 14 de marzo de 2022 * **Publicado:** 04 abril de 2022

- I. Egresado de la carrera de Ingeniería Civil, Facultad de ciencias matemáticas, físicas y químicas, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- II. Egresado de la carrera de Ingeniería Civil, Facultad de ciencias matemáticas, físicas y químicas, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- III. Magister, Docente de la carrera de Ingeniería Civil, Facultad de ciencias matemáticas, físicas y químicas, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- IV. Ingeniero, Docente de la carrera de Ingeniería Civil, Facultad de ciencias matemáticas, físicas y químicas, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.

Resumen

El trabajo es una revisión referente a los materiales alternativos utilizados en la construcción de viviendas, teniendo como objetivo central el determinar cuáles son los principales materiales alternativos que se están empleando para la construcción de viviendas en Ecuador. La metodología aplicada consistió en la revisión sistemática de 50 manuscritos como fuentes de información consultadas en bases de datos indexadas del tipo Latindex, Google Scholar, ScIELO, Redalyc, Science Direct, las cuales fueron clasificadas por tipos como artículos académico científicos, trabajos de grado y pos grado, libros y documentos, mediante el uso de una ficha bibliográfica para referir datos como año de publicación, título, objetivo, metodología y resumen. Se obtuvieron resultados producto de la revisión, en dos categorías de tipos de materiales alternativos empleados en la construcción de viviendas en el país, relacionados con los materiales naturales u orgánicos y los materiales naturales mezclados con inorgánicos; los primeros incluyen la tierra, la madera, la tapia, el adobe, bahareque, los bambúes, la caña guadua; los segundos refieren a elementos bloques o ladrillos fabricados con elementos naturales en combinación con desechos inorgánicos como el plástico y otros; elementos como las mezclas geopoliméricas, bloques de suelo cemento y de tierra, paneles aislantes. A manera de conclusión se tiene que el reto de las nuevas construcciones está en la incorporación de materiales ecoamigables con el entorno ambiental que promueven la investigación de procesos más sustentables para la industria de la construcción considerando la calidad de los materiales y el precio para lograr ser competitivos.

Palabras claves: construcción ecoamigable; construcción sostenible; materiales alternativos de construcción; materiales ecológicos; viviendas eco amigables.

Abstract

The work is a review regarding the alternative materials used in the construction of houses, with the main objective of determining which are the main alternative materials that are being used for the construction of houses in Ecuador. The applied methodology consisted of the systematic review of 50 manuscripts as sources of information consulted in indexed databases of the type Latindex, Google Scholar, ScIELO, Redalyc, Science Direct, which were classified by types such as scientific academic articles, degree works and postgraduate, books and documents, through the use of a bibliographic record to refer data such as year of publication, title, objective, methodology and abstract. Results were obtained from the review, in two categories of types of alternative materials

used in the construction of houses in the country, related to natural or organic materials and natural materials mixed with inorganic; the first include the earth, the wood, the wall, the adobe, bahareque, the bamboos, the guadua cane; the second refers to block or brick elements made with natural elements in combination with inorganic waste such as plastic and others; elements such as geopolymeric mixtures, cement and earth blocks, insulating panels. As a conclusion, the challenge of new constructions is in the incorporation of eco-friendly materials with the environment that promote the investigation of more sustainable processes for the construction industry considering the quality of the materials and the price to achieve being competitive.

Keywords: eco-friendly construction; sustainable construction; alternative building materials; Ecological materials; eco friendly homes.

Resumo

O trabalho é uma revisão sobre os materiais alternativos usados na construção de casas, com o objetivo principal de determinar quais são os principais materiais alternativos que estão sendo usados para a construção de casas no Equador. A metodologia aplicada consistiu na revisão sistemática de 50 manuscritos como fontes de informação consultadas em bases de dados indexadas do tipo Latindex, Google Scholar, ScIELO, Redalyc, Science Direct, que foram classificados por tipos como artigos acadêmicos científicos, trabalhos de graduação e pós-graduação, livros e documentos, por meio da utilização de um registro bibliográfico para referenciar dados como ano de publicação, título, objetivo, metodologia e resumo. Foram obtidos resultados da revisão, em duas categorias de tipos de materiais alternativos utilizados na construção de casas no país, relacionados a materiais naturais ou orgânicos e materiais naturais misturados com inorgânicos; os primeiros incluem a terra, a madeira, a parede, o adobe, o bahareque, os bambus, a cana-de-guadua; a segunda refere-se a elementos de blocos ou tijolos feitos com elementos naturais em combinação com resíduos inorgânicos como plásticos e outros; elementos como misturas geopoliméricas, blocos de cimento e terra, painéis isolantes. Como conclusão, o desafio das novas construções está na incorporação de materiais ecologicamente corretos com o meio ambiente que promovam a investigação de processos mais sustentáveis para a indústria da construção considerando a qualidade dos materiais e o preço a ser competitivo.

Palavras-chave: construção ecológica; construção sustentável; materiais de construção alternativos; Materiais ecológicos; casas ecológicas.

Introducción

Varios estudios a nivel internacional, nacional y local referentes a la utilización de materiales alternativos en la construcción de viviendas considerando el impacto al medio ambiente, la eco eficiencia energética, el aislamiento térmico y acústico, etc., como opciones de construcción más amigables con el entorno que posibilitan el reciclaje energético por los habitantes y a costos bajos, han sido ejecutados, demostrando que existen múltiples opciones cuando de hábitats familiares se trata, así, publicaciones como la de Andrade (2015), refieren hallazgos en los sistemas constructivos en seco que permiten uniones reversibles entre elementos para cumplir con condiciones de adaptabilidad y flexibilidad que además facilitan el reúso de sus componentes.

El trabajo de Reyna (2016) desarrolla una técnica innovadora y sostenible de bajo costo y resistencia a la tracción, ductilidad estructural y aislante termo eléctrica de la matriz de concreto, que incorpora el uso de residuos sólidos como el plástico, papel y fibras de bagazo de caña en las mezclas de concreto simple sustituyendo completamente y en parte al agregado grueso, grava, para proporcionarle propiedades similares a las de cualquier concreto simple y tratar de mejorarlas en algunos aspectos, considerando un enfoque de desarrollo sostenible y sustentable que implica el cuidado del entorno natural,

López y Guerrero (2020) en su estudio promueven la fabricación de prototipos de bloques denominados Ecoblocks o ladrillos ecológicos para uso en paredes de división de interiores y muros confinados, que fácilmente pueden combinarse con otros procesos de construcción como materiales o nuevas técnicas constructivas en la implementación de viviendas sociales, urbanizaciones y otras edificaciones.

La investigación de Viegas et al., (2016), comprende la elección de materiales de reúso y vegetales, obtenidos de los ecosistemas aledaños, con un costo muy bajo y en casos casi cero, tales como las fibras naturales y de la tierra, fardos de paja de trigo, arroz, escanda y centeno, empleados como aislantes tanto del frío como del calor, en viviendas familiares de bajos recursos de zonas rurales de Argentina.

Son muchas las investigaciones que nivel del planeta coinciden en el impacto negativo que la industria de la construcción ejerce en el medio ambiente, así, es la mayor consumidora de energía,

la segunda en consumo de materias primas, provoca el agotamiento de los recursos naturales (McLaughlin et al., (2019), la contaminación del agua y del aire, la generación de residuos no degradables y la contaminación acústica (Del Río et al., (2019), autores como (Sánchez et al. (2019), refieren que “la actual tasa de utilización de los recursos naturales y del medio ambiente por parte de esta industria supone una disminución del potencial de los recursos para las generaciones futuras”, de tal manera que, una de las formas para afrontar esta problemática mundial, estima un mejoramiento de los procesos de esta industria que conlleve a la reducción de residuales generados (Navarrete & y Rubio, 2018).

Basándose en el problema que antecede, se formula la pregunta de investigación ¿Cómo determinar los materiales alternativos de construcción de viviendas que se emplean en Ecuador?, en virtud de lo cual, el objetivo de este trabajo se circunscribe en realizar una revisión bibliográfica que permita determinar los materiales alternativos de construcción de viviendas que se emplean en Ecuador.

Metodología

Localización

La investigación tuvo lugar en Ecuador continental, localizado geográficamente en el hemisferio occidental al noreste de América del Sur, que debido a su latitud sobre la línea ecuatorial, tiene los dos hemisferios, norte y sur, así, sus coordenadas geográficas $1^{\circ}49'52.5''$ de latitud Sur y $78^{\circ}11.004'$ de longitud Oeste, involucran además: Al norte la desembocadura del Río Mataje (Bahía de Ancón de Sardinas en el Océano Pacífico) $01^{\circ}21'$ de Latitud Norte y $78^{\circ}44'$ de Longitud Oeste. Al sur la confluencia de la quebrada de San Francisco con el río Chinchipe 05° de Latitud Sur y $78^{\circ}55'$ de Longitud Oeste. Al este la confluencia del río Aguarico con el Napo, a $00^{\circ}57'$ de Latitud Sur y $75^{\circ}11'49''$ de Longitud Oeste. Al oeste la puntilla de Santa Elena, a $02^{\circ}11'$ de Latitud Sur y $81^{\circ}01'$ de Longitud Oeste. El Ecuador insular, conformado por el Archipiélago de Galápagos, se localiza geográficamente al extremo norte de la Isla Darwin a $01^{\circ}39'$ de Latitud Norte y $91^{\circ}S4'$ de Longitud Occidental; al sur con el extremo Sur de la Isla Española a $01^{\circ}22'$ de Latitud Sur y $89^{\circ}38'$ de Longitud Occidental. Al este con el extremo de la Isla San Cristóbal a $00^{\circ}42'$ de Latitud Sur y $89^{\circ}15'$ de Longitud Occidental; y, al oeste con el extremo oeste de la Isla Darwin a $01^{\circ}38'$ de Latitud Sur y $91^{\circ}55'$ de Longitud Occidental. La figura (1) muestra la ubicación en el mapa (IAEN, 1992).

Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio.



Fuente: Elaborada por los autores.

La investigación es una revisión bibliográfica sistemática de 59 fuentes confiables de información referentes al objeto de estudio, materiales alternativos de construcción, en el contexto ecuatoriano, la cual está sujeta a la accesibilidad a documentos publicados en bases de datos indexadas como Google Scholar, Latindex, Redalyc, ScIELO y Science Direct.

De estas bases se seleccionaron artículos académico-científicos, tesis de grado y posgrado, libros y documentos relacionados publicados entre los años 2000 a 2021, tanto en idioma español como en inglés, mediante las palabras claves materiales alternativos de construcción, construcción sostenible de viviendas, materiales ecológicos, materiales eco amigables, materiales naturales, construcción ecoamigable, las que facilitaron la búsqueda y profundización de la información bibliográfica en esta área temática, ya que mediante la revisión del título del manuscrito no fue suficiente (Granda et al., (2003).

Se utilizó además el método deductivo para poder establecer las conclusiones particulares a las que se llegó, una vez realizada la investigación.

Se consideraron como criterios de exclusión a los documentos relacionados con los sistemas de construcción de viviendas encontrados que no contribuían al objetivo de determinar los materiales alternativos de construcción de viviendas, no referían las palabras claves especificadas anteriormente y tampoco se encontraban indexados en las bases mencionadas en esta metodología, del tipo ensayos, monografías, tesinas, presentaciones multimedia, ponencias, pósteres y afines, en idiomas diferentes al español e inglés.

Población y muestra

La población y muestra corresponden a las primeras 59 fuentes de información de acceso abierto que se consultaron en las bases mencionadas. Se seleccionaron 32 artículos científicos, 12 tesis de grado y posgrado, 15 libros e informes, los cuales fueron referenciados mediante el gestor bibliográfico Mendeley.

En la tabla (1) a continuación se describe la población y muestra inherentes a las fuentes de información consultadas.

Tabla 1. Población y muestra

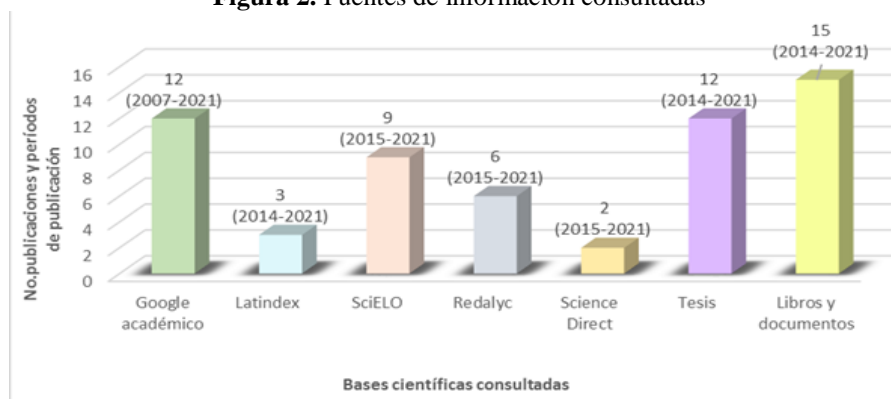
Fuente de información	#	Actualidad (%)
Tesis	12	83%
Artículos	32	75%
Libros y documentos	15	70%
Total	59	Media 76%

Fuente: Elaborado por los autores

Resultados y discusión

La investigación tiene un alcance nacional, es decir es una revisión de información publicada en tesis de posgrado, artículos científicos, proyectos, libros y documentos relacionados a nivel de Ecuador. Se realizó la revisión de 56 trabajos referentes al tema objeto de estudio, en base a la accesibilidad a los trabajos publicados en las fuentes confiables de información. La figura (2) muestra el detalle.

Figura 2. Fuentes de información consultadas



Fuente: Elaborado por Autores

De acuerdo al enfoque y diseño de la investigación, un total de trabajos corresponden al tipo de investigación descriptiva. A continuación, se describen los principales hallazgos inherentes a los materiales de construcción sostenibles empleados en la edificación de viviendas en Ecuador.

Los materiales de construcción sostenibles y afines son aquellos que están elaborados en base al respeto de las normas ambientales que implican el uso de insumos reutilizables, ya sean orgánicos e inorgánicos, biodegradables y no degradables, que se caracterizan por mantener las condiciones adecuadas de temperatura interior que protegen de las temperaturas externas. Generalmente tienen mucha durabilidad e inclusive se adaptan a tecnologías de disminución de contaminantes como CO₂ y siguen teniendo bajo costo. Mayormente provienen de los ecosistemas del entorno donde se levantará la construcción (Aguilar, 2018).

Contribuyen a la edificación de viviendas sostenibles en armonía con el medio ambiente, generalmente proveen una solución práctica al problema del gasto energético al proveer confort térmico, enfriamiento o calor en la habitabilidad de la vivienda, aunque también lo hacen durante la etapa de construcción, incorporando además una sensación de bienestar integral que solo la transmiten los materiales eco amigables (Moreira, 2019). Varios estudios sobre el tema revelan el gran potencial con el que cuentan estos materiales geopoliméricos en una posible aplicación, ya que sustituyen al cemento hidráulico de uso general tipo I. De esta manera, se obtiene una idea del aprovechamiento constructivo que se le puede dar por la facilidad con la que se puede adecuar a las instalaciones existentes en la industria actualmente (Castaño et al., (2013).

Tipos de materiales de construcción sostenibles

Como materiales de construcción sostenibles se tienen 2 grandes tipos, los materiales naturales u orgánicos y los materiales inorgánicos o reciclados.

Materiales naturales

Entre los materiales naturales se encuentra la tierra, la piedra, la arena, la madera, el bambú, la guadua, la arcilla, la tierra, la tapia, y otros.

La tierra

El uso de la tierra como material de construcción es ancestral, ya que está en todas partes del mundo donde hay habitabilidad de los seres humanos; su empleo en la edificación de viviendas es totalmente inocua, partiendo del supuesto de que no haya sido sometida a agentes contaminantes.

La tierra, siempre y cuando no se haya mezclado con contaminantes puede ser reciclada en su

totalidad; y por lo general todo tipo de tierra es útil, y si en algunos casos sus características no son las deseables para realizar una determinada edificación, se puede mezclar con otros elementos naturales como la paja, el yeso, la cal y diferentes tipos de plantas (Sánchez, 2007).

La construcción con tierra requiere un bajo coste energético y como se puede usar la de la zona donde se va a construir no genera grandes gastos en transporte; si se hace una selección adecuada del terreno, no debe llevar asociada problemas como la deforestación. Además, tiene excelentes propiedades térmicas por su alta capacidad para almacenar el calor y cederlo posteriormente lo que permite mantener una temperatura confortable al interior de las edificaciones, evitando así los efectos dañinos de los cambios extremos de temperatura. Posee también importantes propiedades acústicas pues no es buena transmisora de las vibraciones sonoras, lo que convierte los muros fabricados en tierra en verdaderas barreras para evitar la contaminación acústica.

La madera

Es un elemento presente en la naturaleza en diversas especies endémicas e introducida de flora maderable, ya sea de árboles o arbustos (Macías et al., (2018). Sus propiedades de regulación ambiental equilibran la humedad, filtran y purifican el aire en el interior de la edificación; de porosidad facilita la ventilación (Hernández et al., (2021). La madera tiene resistencia mecánica alta, elasticidad y ligereza lo que hace sea demandada en diversos tipos de construcciones (Ruiz et al., (2011).

Es el material natural de construcción más fuerte, es un material vivo que respira, uno de los materiales más sanos empleado para la construcción que existen en el planeta, mantiene los “sutiles campos magnéticos y eléctricos naturales”, crea ambientes acogedores, confortables y agradables, neutralizadora cuando es tratada con esencias y ceras naturales (Kusha, 2011). Tiene la cualidad de entrar en conexión natural al ser humano con la madre tierra de la que es parte sustancial, con la vida misma presente en las diversas especies florísticas y faunísticas, minerales y piedras, y los ecosistemas intrínsecos en donde está presente, vinculándose armoniosamente, como un elemento precioso que transmite vida (Macías, 2021).

Piedra

La piedra es “uno de los materiales más comunes y usados de la tierra. Su uso en la construcción ha estado presente en todas las etapas de la civilización, desde la prehistoria se utilizaba sin tallar para la elaboración de viviendas y muros” (Rocha et al., (2020). Las piedras son consideradas como

material pétreo y pueden encontrarse en cualquier tipo de tamaño. Estos materiales han sido utilizados para la construcción de pirámides, acueductos, templos, entre otros. Las piedras o rocas más utilizadas han sido: granito, pizarra y mármol. Este material utilizado para la construcción ha estado perdiendo importancia debido a materiales como concreto y acero, que para su ejecución se requiere más tiempo (Cladera et al., (2021).

La piedra tiene un impacto ancestral muy significativo en las personas y su calidad de vida, así, ya sea como elemento de construcción o de diseño natural de ambientes, interiores y exteriores, se integra a cualquier tipo de arquitectura, urbana y rural, vivienda o complejo habitacional. Implica un valor de calidad constructiva superior inherente a la arquitectura vernácula, cuyas ventajas de resistencia a la flexión, densidad aparente, absorción del agua, porosidad abierta, no conductor del fuego, resistencia a la cristalización de sales, a la abrasión, a las heladas, a las sales, al choque térmico, al deslizamiento, a la compresión, permeabilidad al vapor, tactilidad, provocan fenómenos hermenéuticos vinculados con la identidad social (Mendiola et al., (2014)

Arena

La arena junto a la piedra es uno de los elementos más abundantes en el planeta, y también uno de los materiales que más se ha utilizado en la construcción. Ha estado presente en todas las etapas de la civilización que dada sus características se puede comprimir con facilidad y utilizarse para reforzar estructuras. La arena se conoce como un material cuyas partículas de tamaño varían entre 0,063 y 2 milímetros (Rocha et al., (2020)

El cáñamo

El cáñamo industrial, cuya taxonomía es *Cannabis Sativa L vari (var) sativa*, “es un derivado genético del *cannabis*, con niveles de tetrahidrocannabinol (THC) inferiores a 0,3 % en peso seco, siendo este el componente psicoactivo de la planta *cannabis*” (Montacchini, 2018). Se diferencia completamente del *cannabis* aunque se parecen físicamente, debido a su utilidad histórica el cáñamo se ha empleado mucho a escala industrial sobre todo en la industria textil, de la construcción, en la alimenticia y relacionadas, inclusive para producir bioenergía que ha cobrado fuerza en la actualidad (Fike, 2016). El *Cannabis sativa L* es una planta leñosa, con potenciales propiedades como aislante térmico, al igual que su riqueza en aminoácidos, y su contenido aproximado de 30% de aceite oleico, cuyas propiedades de conservación y mejoramiento de suelos la convierten en amigable con el medio ambiente pues no requiere agroquímicos para su crecimiento y desarrollo (Huertas & y Toro, 2021).

Dada su versatilidad, es empleada para confeccionar bloques de su tallo, denominados Cannabric, cuyas propiedades aislantes proveen confort térmico en interiores, tiene alta resistencia mecánica pues no presenta nutrientes en su composición que impiden el ataque de plagas o parásitos, es perdurable en el tiempo y al concluir su ciclo de vida puede ser reciclado, es amigable con el medio ambiente ya que no emite gases de efecto invernadero en su fabricación, por el contrario retiene el CO₂, además es resistente a la combustión, siendo óptimo para ambientes que soportan temperaturas elevadas como cocinas en la industria hotelera y otras (Dobón, 2018).

La paja

Es un material natural con alta disponibilidad a nivel mundial, que se caracteriza por ser compostable al finalizar su vida útil, por lo que, a diferencia de los materiales convencionales, no resulta una problemática relevante su disposición al finalizar una obra de construcción (Hernández et al., (2021).

La paja es un material que la naturaleza produce anualmente y se encuentra disponible en muchas partes, sus residuos pueden devolverse a la biosfera o utilizarse como abono de los cultivos y para oxigenar el suelo, reúne tantos requisitos que la hacen sustentable más que la madera, pues requiere menos energía para producirse. La utilización de las pacas de paja, como elemento estructural o bien, como relleno o material aislante; constituye a su vez, una alternativa en la construcción de edificios verdes con bajo consumo de energía, ya que el material contribuye a mantener la temperatura óptima dentro de un edificio por sus características de aislación térmica (Bernal, 2018).

La paja es una fuente renovable con excelentes propiedades térmicas. Es de bajo costo y apropiada para usar en autoconstrucción. Incluso obras en gran escala pueden ser hechas usando estructuras de madera rellenas con paja. Al ser una especie vegetal constituye una alternativa como material de construcción eco amigable, ya sea empelado para relleno, como material aislante térmico o como elemento estructural, debido a su bajo consumo de energía provee confort térmico en los interiores. Es muy durable, existiendo registros de edificaciones del siglo XIX que perduran actualmente. Pruebas realizadas en Alemania denotan un valor de resistencia al fugo de F90, un material de construcción clase B2 o inflamable normal, una conductividad de 0,0456W/mK, por lo cual se puede construir y cerrar locales habitables con fardos de paja de hasta 2 pisos, de los cuales puede participar la familia, algo imposible con los materiales tradicionales (Minke & y Mahlke, 2018).

El bambú

Con el nombre bambú (bambúes en plural) se designa a una categoría “paraguas” que contiene alrededor de 1.600 especies diferentes distribuidas en todo el mundo. El bambú es considerado un material ecológico del grupo C4 de la flora que requiere replantarse dada su cualidad de regeneración automática de sus rizomas, crece en diversos tipos de terrenos, altos y bajos, en que otros cultivos no pueden hacerlo, siendo un complemento óptimo de los sistemas agroforestales diversos, tiene la capacidad de secuestrar carbono en grandes volúmenes, de producción de biomasa debido a su rápido crecimiento (Añazco & y Rojas, 2015).

Representa una alternativa de construcción con características suficientes de disponibilidad, resistencias físico mecánica, capacidad de renovación, accesibilidad, bajo costo, producción sencilla, durabilidad, rápida propagación y crecimiento, sin necesidad de ser replantado y tecnologías locales adaptables. Debido a sus propiedades estructurales de versatilidad, alta relación resistencia-peso, facilidad de trabajo y disponibilidad es empleado para reemplazar al concreto, la madera o el acero es denominado el “acero vegetal”, ya que la distribución de sus fibras que aumenta desde el interior hacia el exterior, actúan como un refuerzo similar al de las barras de acero (Torres et al., (2019).

Es un vasto recurso de desarrollo sin explotar que los países de las regiones tropicales y subtropicales del mundo pueden utilizar de muchas maneras como proporcionar mitigación climáticamente inteligente y soluciones de adaptación a sus poblaciones y oportunidades de generación de ingresos. Los beneficios incluyen fuentes de energía locales baratas y renovables, componentes renovables para viviendas asequibles, rápido regeneración de suelos y pastizales, base de nuevas tipologías de pequeñas y grandes industrias, nuevas fuentes de forraje animal, y más. El bambú proporciona medios de subsistencia a las comunidades en riesgo de cambio climático, especialmente a los más marginados y miembros vulnerables, cuyas opciones de desarrollo se multiplican a medida que la investigación mejora el manejo de los cultivos y amplía la gama de productos hechos de bambú (INBAR, 2014).

Caña guadua

La caña guadua “es un material higroscópico y poroso que absorbe la humedad presente en el ambiente ya sea en forma de vapor o de líquido. Si la humedad del material se incrementa, este será más vulnerable al ataque de los factores biológicos” (Bello & y Villacreses, 2021), cuyas propiedades mecánicas de resistencia a la flexión hacen que las fibras del tallo no sufran daño al

soportar cargas, debido además a su cualidad de elasticidad; así también le otorga una alta resistencia a la compresión que es mayor en el centro. Aunque su mejor propiedad mecánica es la resistencia a la tracción, 4 veces más que la compresión (Bonilla & y Merino, 2017). Las altas resistencias que posee la caña guadua se debe a su relación de peso y a sus características en su estructura física (sección redonda, hueca y con un diafragma rígido transversal) que permite que el material se curvee sin romperse (Moreno & y Cendales, 2019).

Es una de las 20 mejores especies de bambús en el mundo, por sus cualidades de flexión y absorción de energía, capturable de CO₂, que la hacen un elemento constructivo altamente sísmo resistente, ayudante del suelo, de las colinas, de las cuencas y microcuencas hidrográficas y de la biodiversidad endémica de las zonas rurales, influenciador del paisaje y del microclima local (Vanga et al., 2021). Entre sus beneficios ecosistémicos está la captura de CO₂, alberga una importante biodiversidad de fauna y flora, protección de riveras de cursos de agua y protección de suelos especialmente de los deslizamientos que ocurren en las laderas (Añazco & y Rojas, 2015). El uso de la caña para construcciones de vivienda no es nuevo, esta planta ha sido utilizada para la construcción de viviendas vernáculas debido a sus beneficios de material renovable, económico y de propiedades físico-mecánicas que lo hacen sísmo resistente (Vanga et al., 2019).

Láminas de control acústico y control de temperatura

Este tipo de láminas consisten en un producto obtenido de la celulosa proveniente de la caña guadua. Para fabricarlas, se van tejiendo las láminas tipo piel entre las paredes que se han levantado por los tableros de bambú triturado como en el interior de un sánduche, empleando un alambre galvanizado para amarre, de tal forma que se facilite su instalación y tensado de las láminas. La celulosa será tratada, secada y con una serie de aditivos y productos de orden químico serán estandarizadas en un formato de 1,22m por 2,44m. Aunque la técnica constructiva requiere de mano de obra especializada que en la actualidad es difícil conseguir, también demanda tiempo, aun así, en la bio arquitectura o construcción amigable, actualmente se emplean mucho este tipo de técnicas ancestrales, cuya materia prima es muy económica, aunque al utilizar los llamados sistemas tradicionales, se vuelven costosas (Delgado, 2017).

Adobe

La World Reference Base for Soil Resources califica al adobe como un material tecnogénico “que tiene relación con la naturaleza o que es producido por ella” (FAO, 2014), cuyas características se basan en sus propiedades mecánicas, bajo costo, amplia disponibilidad, gran ahorro de energía,

capacidad de integración al medio ambiente, componentes biodegradables que le permiten ser reutilizado en diversos procesos, y que es modificado por los seres humanos para sus diversas necesidades, sobre todo en el campo de la construcción de viviendas rurales (FAO, 2015).

La investigación de Gama et al. (2012), revela que el adobe es “un material tecnogénico, al que se le adicionaron diferentes componentes orgánicos e inorgánicos, aún sigue presentando evidencias de procesos de alteración que son propias de un suelo”. Las muestras analizadas en su trabajo tuvieron diversas procedencias tanto de localización geográfica como de fuente y ocupación, pero aun así sus propiedades y características son muy similares unas con otras. No requiere altas temperaturas para elaborarlo, no contiene sustancias tóxicas, su gasto energético es mínimo, su obtención es de bajo impacto ambiental pues no precisa deforestar para conseguirlo y se reintegra a la naturaleza al término de su ciclo de vida.

Sus cualidades de inercia térmica permiten la creación de confort térmico, ya sea de calentar o refrescar, promueven la eficiencia energética de las viviendas reduciendo el consumo de energía; así también su propiedad de aislamiento acústico atenúa el nivel sonoro en el interior; la propiedad de no inflamabilidad retarda la combustión y el punto de ignición ante un siniestro; es económicamente accesible y la cualidad de equilibrio de la humedad por ser un material aislante natural (Hastings & Guerrero, 2020).

La tapia

Es un sistema constructivo conocido también como tapia pisada que utiliza la tierra dispuesta en dos planchas de madera verticales (formaletas), la cual de manera manual se compacta por capas formando muros sólidos con espesor entre 0,50m y 0,80 m., casi todas las tierras son aptas para emplear esta técnica ancestral, con excepción de aquellos suelos empleados en la minería que contienen níquel, hierro que hacen difícil la cohesión (Bedoya C. , 2018).

La tierra empleada para ser compactada debe estar húmeda, el procedimiento es verterla en los tapiales de madera, extenderla manualmente en capas entre 10 y 17 centímetros de espesor y compactarla en un pisón o prensa mecánica. Una vez lleno el encofrado se debe desencofrar el muro y desplazar los tapiales de forma horizontal para seguir construyendo la pared, teniendo en cuenta sus dimensiones entre 90 cm de altura, 50 cm de ancho y 300 cm de longitud y estará reforzado para resistir los esfuerzos horizontales producidos al compactar la tierra (EAR, 2015).

Bahareque

Es una estructura elaborada con caña guadua, cubierta de tierra y mezclada con estiércol de vacuno, eventualmente, muy utilizada en las zonas rurales conocida como un sistema constructivo tendinoso, que es “un sistema de cerramiento no convencional ejecutado en sitio compuesto por cemento, sacos de fique y alambre de púas confinado entre parales de bambú – guadua” (Zuluaga & y Zuleta, 2016). Representa un concreto reforzado natural en lo que se conoce dentro de las propiedades del concreto actual, sin embargo, lo preciso es decir que “el concreto reforzado es un bahareque artificial”. El bahareque y la tapia son materiales ancestrales sustentables y sostenibles que actualmente son discriminados por los constructores modernos, que desconocen sus fabulosas propiedades de resistencia mecánica y compresión, en el caso del bahareque no requiere espesores tan grandes en los muros, pues su estructura con guadua no necesita mayor inercia para soportar vientos y sismos (Bedoya C. , 2011).

Las construcciones con bahareque implican ventajas como el ahorro en pagar transporte movilizandolos materiales de construcción, sobre todo en la ruralidad, el ahorro energético, la disposición de caña guadua y madera para fabricar el esqueleto de la vivienda, la abundancia de la tierra y del estiércol de animales, el confort térmico que se obtiene al interior de la construcción debido al uso de tales materiales (Chávez et al., 2017).

Materiales reciclados o inorgánicos

Los materiales inorgánicos o reciclados empleados en la construcción actual aluden a residuos de canteras como el mármol, la pizarra, etc.; residuos provenientes de la industria como residuos sólidos urbanos, cenizas, lodos; el caucho reciclado de llantas usadas para fabricar hormigón; lodos de depuradoras de aguas residuales y restos de madera y corchos (podas, serrería, polvo de lijado, etc.) para fabricar ladrillos (Aguilar, 2018).

Bloques de suelo cemento

Este material es una mezcla homogénea de suelo pulverizado con otros materiales como el agua y el cemento portland, compacto en altas densidades y curado, resistente a los esfuerzos de compresión, termo aislante y estable, con elevados niveles de impermeabilidad y estabilidad. Las tradicionales técnicas del *adobe* (ladrillos de suelo arcilloso secados al sol) y el *tapial* (muros de suelos arcillosos con fibras vegetales conformados en el propio lugar) son ampliamente empleadas en los países del tercer mundo por extensos sectores de su población para construir viviendas e instalaciones sociales (Toirac, 2008). Una de las mayores ventajas del BSC con respecto a otros prefabricados para mampostería es la posibilidad de ser producido en el sitio sin necesidad de

instalaciones costosas con altos consumos de energía, la cual permite inferir la pertinencia que tiene esta técnica para la construcción de proyectos de vivienda en zonas no urbanas, como es el caso del oriente cercano a la ciudad de Medellín, en cuyo territorio se viene dando un crecimiento del hábitat construido con una mirada poco reflexiva en cuanto a la materialización y vida útil del inmueble (Bedoya C. , 2018).

De esta forma, la factibilidad tanto técnica como económica del uso del suelo como materia prima para la producción y uso de diversos materiales y elementos para ser usados en el desarrollo de proyectos para la construcción de viviendas y sus servicios dirigida a los sectores poblacionales de medianos y bajos recursos permitirá sin dudas racionalizar al máximo el empleo de los medios disponibles, constituyendo esto una verdadera alternativa de solución para reducir el déficit de viviendas y mejorar las condiciones del hábitat de estos sectores (González et al., 2018). Así, según Carvalho et al. (2016) los resultados de la huella de carbono del BSC frente al ladrillo cerámico son 238 veces inferiores al ladrillo, coincidentes con estudios elaborados en Alemania y Francia, considerando un contenido de 11% de cemento en peso, debido a la huella de carbono del cemento portland elaborado a altas temperaturas que superan los 1300° C.

Bloques de tierra comprimida (BTC)

El BTC es un material de construcción fabricado con una mezcla de tierra cruda y un material estabilizante, como cal, cemento, asfalto o yeso, que es moldeada y comprimida utilizando una prensa mecánica ó manual. Se ha empleado como un sustituto del ladrillo de barro recocido en actividades de construcción; utilizándose en la construcción de muros apilándolo manualmente y usando una mezcla de los mismos materiales como mortero de asiento (Rox et al., 2007).

Los estudios de Rox et al. (2007), sobre los BTC emplearon arcilla de baja plasticidad (42 kg), arena limosa (46 kg), agua (12L) e hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ al 7% como material estabilizado conocido también como hidróxido de cal, cuyas características implican una porosidad mayor a otros bloques pero que también tiene ventajas como un secado más rápido y un impacto ambiental reducido por la baja cantidad de estabilizantes utilizados a diferencia de los bloques elaborados con cemento. Presentan una mayor resistencia a la compresión (93.62 Kgf/cm²) de 7,94% comparada con los bloques estabilizados con cemento.

En cuanto a las temperaturas y tiempo de fabricación del cemento, son superiores a las del hidróxido de calcio y provocan grandes emisiones de gases de efecto invernadero hacia la

atmósfera. Las afectaciones a la salud de los trabajadores superan en el caso del cemento al desprenderse sustancias contaminantes y gases durante la fase de combustión. Los BTC estabilizados con $\text{Ca}(\text{OH})_2$ comparados con materiales de construcción convencionales tienen mejor comportamiento, tiene menor producción de CO_2 , el proceso final de construcción influye un 15% de su ciclo de vida, y el mantenimiento influye mínimamente sobre el total, a diferencia de los bloques de cemento.

Ecoladrillos o ladrillos ecológicos

Esta tendencia innovadora de la arquitectura ecológica utiliza materiales de construcción que combinan materiales reciclados como las botellas de plástico recicladas que es componente principal, conjuntamente con arena y otros desechos inorgánicos como el cartón, fundas plásticas, papel y similares, que se incorporan a un molde al cual se le agrega cemento para otorgarle resistencia. El principio de la sostenibilidad está presente en este material otorgando ventajas como la capacidad aislante del calor, ruido, frío y humedad; mínimo impacto ambiental, bajo costo en su producción y adquisición; ligereza que facilita el trabajo en la construcción de la vivienda y la preservación de la biodiversidad y ecosistemas reduciendo los desechos inorgánicos (Isán, 2018). Actualmente existen diversos tipos de ladrillos ecológicos o ecoladrillos, ladrillos de ceniza de carbón, ladrillo negro, ladrillos de cáñamo y paja o de cáscara de cacahuete, ladrillo irregular, ladrillo de tierra o arena comprimida, ladrillos de residuos domésticos, de plástico reciclado.

El ecoladrillo es un elemento de construcción innovador elaborado a partir de la combinación de desechos sólidos del hogar, las botellas plásticas con su tapa, sean de agua o de otras bebidas, debidamente compactadas. Los beneficios de su aplicación implican su facilidad de transporte y almacenamiento, una tecnología fácil y sencilla de reciclaje que usa la energía humana renovable, reduce la contaminación ambiental, es aislante y sismo resistente, es higiénica ya que emplea la botella con su tapa, y todos los desechos plásticos limpios y accesibles de compactación, aprovecha grandes volúmenes de plástico que no serán enviados a rellenos sanitarios, ahorro en el transporte de basura y de emisiones de CO_2 al reemplazar a materiales contaminantes, reduce el trabajo en los basureros municipales, ahorra la compra de materiales tradicionales de construcción (IMAP, 2012).

Según Gareca et al. (2020) el ladrillo ecológico tiene muy buenas cualidades que lo hacen competir con el ladrillo tradicional en cuanto al costo, a la resistencia similar a este y a la capacidad de absorción del agua gracias al material reciclado que lo compone lo que lo convierte en impermeable

evitando el apareamiento de hongos, por lo cual es ideal para utilizarlos en paredes o muros exteriores, y en zonas donde la humedad sea alta, de tal forma que su característica de porosidad lo torna más adherente y un mejor comportamiento físico mecánico.

Mezclas geopoliméricas

El estudio de Castaño et al. (2013) sobre las mezclas geopoliméricas con cenizas volantes activadas determina el potencial de los materiales geopoliméricos, especialmente la mezcla geopolimérica de ceniza volante activada 100% de NaOH (Hidróxido de sodio o cal), cuya aplicabilidad sustituye perfectamente al cemento de uso general tipo I, ya que iguala y mejora sus propiedades, y cuyo aprovechamiento en el sector de las construcciones indudablemente genera muchos beneficios entre los que se destacan la disminución de gases como el CO₂, y la facilidad con que se puede adecuar a las instalaciones nuevas y las presentes, sobre todo en la industria de todo tipo.

Esta pasta o mezcla puede ser empleada para la fabricación de morteros premezclados y elementos prefabricados, debido a condiciones de resistencia mínima a compresión, módulo de rotura y el mejoramiento gradual de las resistencias al incrementarse la temperatura, lo que lo convierte en un material óptimo de ser utilizado en estructuras expuesta a altas temperaturas como en la industria del vidrio, petroquímica, refinerías, entre otras. El tipo de activador alcalino como el NaOH es el detonante para activar las propiedades del mortero geopolimérico junto a las cenizas volantes, además de la temperatura entre 60° C y 150° C y el tiempo de curado para definir la estructura del geopolímero y el comportamiento mecánico de la mezcla (Castaño et al., (2013).

Morteros geopoliméricos

Gutiérrez (2018) en su estudio, desarrolló un mortero geopolimérico a base de residuo inorgánico minero y arena fina, para lo cual se trituró el residuo minero y el agregado fino, añadiéndole el hidróxido de calcio como solución activadora, inmediatamente de esto se mezclaron todos los componentes hasta obtener el mortero geopolimérico. Así mismo, los resultados mecánicos revelan una resistencia de 49 MPa (megapascal) a temperatura ambiente y resistencias de 74 MPa a temperatura de ensayo de 500°C, este material fabricado se presenta como una alternativa frente a los materiales de construcción que se comercializan en el mercado actual.

Bloque sólido con cemento y lodo de papel mineralizado

Alfonso (2018), desarrolló un bloque a base de lodo de papel mineralizado de una fábrica de papel y mezclado con cemento portland, colocando la mezcla en moldes rígidos en inmersión estanques para impedir la deformación de los ladrillos. Este material es ideal para zonas cálidas – desérticas –

secas al extremo de donde provienen los residuos, debido a sus características de resistencia mecánica y ligereza, además de sus propiedades de aislamiento térmico conductividad térmica, calor específico y masa volumétrica resistencia a la compresión, al punzonamiento, al impacto, absorción de agua, capilaridad, transmisión térmica, ignición, y otros.

Enfoques del uso de materiales naturales

El uso de materiales naturales en las construcciones ecuatorianas atienden a 3 enfoques, el primero se atiende a la construcción y el diseño creativo con los materiales disponibles, disponiendo el espacio y la comodidad, empleando materiales reciclados, naturales y modernos para crear una construcción fabulosa (Torres & Jaramillo, 2019).

En un enfoque dos se emplea materiales naturales como el bambú y la caña guadua del tipo brava y mansa en la parte estructural de las viviendas junto a la técnica del bahareque como una alternativa mejorada digna de ser usada en las viviendas de las comunidades rurales, que demuestra el rescate de las técnicas y materiales vernáculos (Durán, 2015).

Un tercer enfoque es la permacultura denominada bioconstrucción también, que utiliza materiales naturales como la tierra, la piedra, la caña y bambú, la madera, el ladrillo, el vidrio y técnicas como el súper adobe para su edificación (Toumi et al., 2017).

En los tres enfoques se puede denotar además el uso de cemento en menor cantidad para realizar ciertos recubrimientos, aunque dependiendo del gusto y necesidades de los usuarios.

Conclusiones

Los materiales de construcción sostenible representan una alternativa a tener en cuenta por las personas en el momento de requerir construir una vivienda u otro tipo de edificación, tanto en la urbe como en la ruralidad, debido a muchos beneficios que están implícitos en estos, siendo unos de los más representativos su componente de amigabilidad con el medio ambiente unido a su bajo costo económico, sin embargo es prudente considerar y buscar la mano de obra calificada para instalar este tipo de materiales, ya que el desconocimiento puede llevar a pérdidas económicas y de tiempo a quien requiere y realiza la inversión.

Una consideración importante en estos materiales, es su resistencia física mecánica, sobre todo cuando, en el caso de los bloques o ladrillos han sido elaborados con productos reciclados como el plástico con el respectivo agregado; en el caso de los bambúes, las técnicas de curado e instalación en el debido tiempo son vitales para garantizar la vida útil de la vivienda.

El bienestar, la armonía y el confort térmico son factores importantes que cada vez, más personas requieren incorporar a sus hogares, los materiales ancestrales hoy se presentan como una alternativa para quienes optan por preservar y respetar el medio ambiente, contaminar menos y reducir la huella de carbono, pensando en las futuras generaciones.

Referencias

1. Aguilar, J. (2018). *Mundoconstructor*. Obtenido de *Arquitectura sostenible: ¿qué materiales usa?*: <https://www.mundoconstructor.com.ec/arquitectura-sostenible-que-materiales-usa/>
2. Alfonso, A. (2018). Materiales de construcción con residuos industriales de vertederos ecológicamente invasivos. *Arquitectura y Urbanismo*, 39 (1), 5-26. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=376858935002>
3. Andrade, M. (2015). *Sistema constructivo modular con materiales alterativos que favorezca a la flexibilidad en la construcción de vivienda*. México: Universidad autónoma del estado de México. Obtenido de <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/79937/2015%20monica%20tesis%20MAESTRIA%2030nov15.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
4. Añazco, M., & y Rojas, S. (2015). *Estudio de la cadena desde la producción al consumo del bambú en Ecuador con énfasis en la especie Guadua angustifolia*. Quito: INBAR.
5. Bedoya, C. (2011). *Construcción sostenible, para volver al camino*. Medellín, Colombia: Biblioteca Jurídica Díké y MARES consultoría sostenible. Obtenido de https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/7378/CONSTRUCCI%c3%93N_SO_Sostenible_2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y
6. Bedoya, C. (2018). Construcción de vivienda sostenible con bloques de suelo cemento: del residuo al material. *Revista de Arquitectura*, 20 (1), 62-70. doi:<https://doi.org/10.14718/RevArq.2018.20.1.1193>
7. Bello, J., & y Villacreses, C. (2021). Ventajas y desventajas del sistema constructivo con bambú frente al sistema de hormigón armado en viviendas de interés social. *Polo del conocimiento*, 6 (9), 1987-2011. Obtenido de <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/3152/6938>

8. Bernal, M. (2018). *Uso de la paja en la construcción de paneles aislantes o estructurales, aprovechamiento de residuos de cereales de la agricultura*. Bogotá: Universidad militar Nueva Granada.
9. Bonilla, D., & Merino, J. (2017). *Estudio de las propiedades físicas de la caña guadúa y su aplicación como refuerzo en la construcción de estructuras de adobe*. Quito: Escuela Politécnica Nacional. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17267>
10. Carvalho, M., Ramos, F., Zegarra, J., & Pereira, C. (2016). Evaluación a lo largo del tiempo de las propiedades mecánicas de los bloques de suelo-cemento utilizados en pavimentos semipermeables. *Ingeniería de construcción*, 31 (1), 61-70. doi:<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732016000100006>
11. Castaño, J., Robayo, E., & Sánchez, E. (2013). Diseño e implementación de dos plataformas móviles bioinspiradas para la simulación del caza. *Tecnura*, 17 (2), 79-89. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=257059811008>
12. Castaño, J., Robayo, E., & Sánchez, E. (2013). Materiales de construcción sostenibles. Comportamiento mecánico y durabilidad de morteros con cenizas volantes activadas alcalinamente. *Tecnur*, 17 (2), 79-89. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=257059811008>
13. Chávez, C., Cepeda, F., Ávila, L., Balseca, W., Urena, J., & Basantes, S. (2017). Análisis de tipologías de construcciones alternativas aplicadas a la construcción de un centro cultural, Riobamba, Ecuador. *European Scientific Journal*, 13 (18), 1857 – 7881. doi:10.19044/esj.2017.v13n18p73
14. Cladera, A., Etxeberria, M., Schiess, I., & Pérez, A. (29 de noviembre de 2021). *Tecnologías y Materiales de Construcción Para el Desarrollo*. Obtenido de Construmática: https://www.construmatica.com/construpedia/La_Piedra_Natural_en_Construcci%C3%B3n_para_el_Desarrollo
15. Delgado, G. (2017). Ecología y Ambiente, Diseño y Sustentabilidad en construcciones con caña guadua. *DAYA. Diseño, Arte y Arquitectura*, 2 (1), 75-93. Obtenido de <http://revistas.uazuay.edu.ec/html/revistas/DAYA/02/articulo05/>
16. Del Río, e. a. (2019). *Mediciones continuas (desde 2009) de varios instrumentos CTD desplegados en el observatorio submarino cableado OBSEA*. PANGAEA. Bremen, Alemania: PANGAEA. doi:<https://doi.org/10.1594/PANGAEA.902215>

17. Dobón, B. (2018). *Materiales de construcción reciclados y reutilizados para la arquitectura sostenible*. España: Universidad Politécnica de Valencia. Obtenido de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/115062/memoria_44533185.pdf?sequence=1&isAllowed=y
18. Durán, A. (2015). Arquitectura contemporánea en Ecuador (1999-2015): El florecimiento de una crisis. *Revista indexada de Textos Académicos-RITA*, 3 (1), 40-51. Obtenido de <http://ojs.redfundamentos.com/index.php/rita/article/view/55>
19. EAR. (2015). *Tapia*. Obtenido de Arquitectura de tierra: <https://eararquitecturadetierra.weebly.com/tapia.html>
20. FAO. (2014). *International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps - Update 2015*. Roma: World reference base for soil resources. Obtenido de <https://www.fao.org/publications/card/es/c/942e424c-85a9-411d-a739-22d5f8b6cc41/>
21. FAO. (2015). *Base referencial Mundial del Recurso del Suelo, 2014, actualización 2015*. Roma, Italia: Organización de la naciones unidas para la alimentación y la agricultura. Obtenido de <https://www.fao.org/3/i3794es/I3794es.pdf>
22. Fike, J. (2016). Industrial hemp: Renewed opportunities for an ancient crop. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 35(5-6), 406-424. Obtenido de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07352689.2016.1257842>
23. Gama, J., Cruz, T., Pi, T., Alcalá, R., Cabadas, H., Jasso, C., . . . Vilanova, R. (2012). Arquitectura de tierra: el adobe como material de construcción en la época prehispánica. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 64(2), 177-188. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94326949003>
24. Gareca, A., Andrade, A., Pool, D., Barrón, F., & Villarpando, H. (2020). Nuevo material sustentable: ladrillos ecológicos a base de residuos inorgánicos. *Revista Ciencia, Tecnología e Innovación*, 18 (21), 25-61. Obtenido de <http://www.scielo.org.bo/pdf/rcti/v18n21/v18n21a03.pdf>
25. González, A., Torres, E., & Escobar, M. (2018). Materiales de construcción con residuos industriales de vertederos ecológicamente invasivos. *Arquitectura y Urbanismo*, 24(1), 05-26. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=376858935002>
26. Granda, J., García, F., & Sánchez, L. (2003). Importancia de las palabras clave en las búsquedas bibliográficas. *Rev Esp Salud Pública* 77(1), 765-767.

27. Gutiérrez, B. (2018). *Fabricación de morteros geopoliméricos ecoamigables a partir de residuos inorgánicos mineros como producto alternativo a morteros de cemento Portland*. Arequipa: Universidad Católica San Pablo. Obtenido de http://repositorio.ucsp.edu.pe/bitstream/UCSP/15575/1/GUTI%C3%89RREZ_L%C3%93PEZ_BIC_FAB.pdf
28. Hastings, I., & y Guerrero, L. (2020). Transferencia de técnicas sostenibles de conservación para la construcción de viviendas de adobe en Ixtepec, Oaxaca, México. *Journal of Traditional Building, Architecture and Urbanism*, 1 (1), 473-484.
29. Hernández, M., Jiménez, S., & Sánchez, J. (2021). Materiales alternativos oportunidad de reducción de impactos ambientales en el sector construcción. *Tecnología en Marcha*, 34 (2), 3-10. doi:<https://doi.org/10.18845/tm.v34i2.4831>
30. Huertas, S., & y Toro, M. (2021). *Bioprospección del Cáñamo Soportada en Procesos Verdes para la industria colombiana*. Bogotá: Universidad EAN. Obtenido de <https://repository.ean.edu.co/bitstream/handle/10882/10857/HuertasStiven2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
31. IMAP. (17 de agosto de 2012). *Las ventajas del eco ladrillo*. Obtenido de Instituto Mesoamericano de Permacultura [IMAP]: <https://imapermacultura.wordpress.com/2012/08/17/las-ventajas-del-eco-ladrillo/>
32. INBAR. (2014). *Bamboo : A strategic resource for countries to reduce the effects of climate change*. Beijing, China, : International Network for Bamboo & Rattan.
33. Isán, A. (30 de mayo de 2018). *Ladrillos ecológicos: qué son, tipos y ventajas*. Obtenido de Ecologiaverde: <https://www.ecologiaverde.com/ladrillos-ecologicos-que-son-tipos-y-ventajas-456.html>
34. Kusha, K. (2011). *Ecomateriales y construcción sostenible. Gestión de las Industrias*. Colombia: Unión Europea, Escuela de organización industrial. Obtenido de <https://isfcolombia.uniandes.edu.co/images/documentos/5dejulioecomateriales1.pdf>
35. López, J., & Guerrero, C. (2020). *Elaboración de bloques ecológicos implementando sistemas de producción alternativos para la construcción de viviendas sostenibles y sustentables*. Colombia: Universidad Santo Tomás. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/29584/2020juancarloslopezlagoscarlosguerreroruares.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

36. Macías, T. (2021). *Una visión ancestral a los saberes montuvios de la campiña manabita Experiencias Parte I*. Ecuador: Grupo Compás. Obtenido de <http://142.93.18.15:8080/jspui/handle/123456789/725>
37. Macías, T., Gorozabel, O., Mera, C., & Muñoz, R. (2018). Recovery of ancestral knowledge of the use of leaf and bark towards royal ceibo. *International Journal of Life Sciences*, 3(1), 41-47. doi:<https://doi.org/10.29332/ijls.v3n1.257>
38. McLaughlin, M., Rodríguez, N., & Pennock, D. (2019). *La contaminación del suelo: una realidad oculta*. Roma: FAO. Obtenido de <https://www.fao.org/3/I9183ES/i9183es.pdf>
39. Mendiola, I., Hernández, S., & Clemente, A. (2014). La piedra, elemento histórico y de calidad estética para un diseño arquitectónico sustentable. *UAEMéx*, 9 (15), 153-164. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/4779/477947303011.pdf>
40. Minke, G., & y Mahlke, F. (2018). *Manual de construcción con fardos de paja*. Alemania: EcoHabitar. Obtenido de <http://permaconstruccion.org/wp-content/uploads/2017/06/construccion-con-paja-g-minke.pdf>
41. Montacchini, E. P. (2018). The use of hemp in building components for the development of a modular house in a rural area of Cauca-Colombia. In *Advances in Natural Fibre Composites*. Springer International Publishing, 267-280. Obtenido de <https://www.springerprofessional.de/en/the-use-of-hemp-in-building-components-for-the-development-of-a-/15160398>
42. Moreira, E. (2019). Construcciones sostenibles: materiales Ecológicos en viviendas de interés social (VIS) Como aporte al hábitat urbano. *DAYA. Diseño, Arte y Arquitectura*, 7(1), 67-81. Obtenido de http://revistas.uazuay.edu.ec/html/revistas/DAYA/07/articulo04/uazuay_construcciones_sostenibles_materiales_ecologicos_en_viviendas.html
43. Moreno, J., & y Cendales, M. (2019). *Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de la guadua angustifolia Kunth*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/23924>
44. Navarrete, R., & y Rubio, R. (2018). *Materiales Alternativos - Análisis de Caso: Ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBC) como aditivo al mortero para enlucidos*. Portoviejo: Universidad San Gregorio de Portoviejo. Obtenido de <http://181.198.63.90/bitstream/123456789/895/1/ARQ-C2018-12.pdf>

45. Reyna, C. (2016). *Reutilización de plástico PET, papel y bagazo de caña de azúcar, como materia prima en la elaboración de concreto ecológico para la construcción de viviendas de bajo costo*. Perú: Universidad Nacional de Trujillo. Obtenido de <https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/3158/TESIS%20MAESTRIA%20CESAR%20ALBERTO%20REYNA%20PARI.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
46. Rocha, D., Pérez, C., & Villanueva, J. (2020). Material ecológico para construcción en vidrio, arena y poliplásticos (vapoli)*. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 30(2), 49-65. doi:DOI: <https://doi.org/10.18359/rcin.4643>
47. Rocha, D., Pérez, C., & Villanueva, J. (2020). Material ecológico para la construcción en vidrio, arena y poliplásticos (VAPoli). *Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 30(2), 49-65.
48. Rox, R., García, V., & Espuna, J. (2007). Los materiales alternativos estabilizados y su impacto ambiental. *Nova Scientia*, 7 (1), 243 – 266. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/ns/v7n13/v7n13a14.pdf>
49. Ruiz, J., Cristini, V., & Madrigal, P. (2011). *Materiales de construcción sostenibles y alternativos. Base de datos generada con plataforma cooperativa digital una*. España: Universidad Politécnica de Valencia. Obtenido de <file:///C:/Users/HP/Documents/2021/TRABAJOS%202021/TP%202021/ALEJANDRO%20SORNOZA/AC%20sf%20ruiz%20ristini%20y%20madrigal.pdf>
50. Sánchez, C. (2007). La arquitectura de tierra en Colombia: procesos y culturas constructivas. *Apuntes Universidad Javeriana*, 20(2), 11-25. Obtenido de <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/revApuntesArq/article/view/8980>
51. Sánchez, J.; Domínguez, R.; León, M.; Samaniego, J.; Sunkel, O. (2019). *Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad*. Santiago de Chile: CEPAL. Obtenido de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44785/1/S1900378_es.pdf
52. Toirac, J. (2008). El suelo cemento como material de construcción. *Ciencia y Sociedad*, 23(4), 520-571. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oaid=87012672003>
53. Torres, B., Segarra, M., & Braganca, L. (2019). El bambú como alternativa de construcción sostenible. *Extensionismo, innovación y transferencia tecnológica - claves para el desarrollo*, 5(1), 389-400. doi:<https://revistas.unne.edu.ar/index.php/eitt/article/view/3787/0>

54. Torres, M., & Jaramillo, A. (2019). Transición a la sostenibilidad de la arquitectura ecuatoriana contemporánea a través del uso de materiales naturales. *Revista Eídos*, 14(1), 45-53. doi:<https://doi.org/10.29019/eidos.v14i1.606>
55. Toumi, O., Le Gallo, J., & Rejeb, J. (2017). Assessment of Latin American sustainability. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78 (1), 878-885. doi:DOI: 10.1016/j.rser.2017.05.013
56. Vanga, M., B. O., Zevallos, I., & Delgado, D. (2021). Bioconstrucción de vivienda unifamiliar de interés social con caña guadúa para Manabí. *Novasinerгия*. 4(1), 53-73. doi:<https://doi.org/10.37135/ns.01.07.03>
57. Vanga, M., Paredes, A., & Santamaría, N. (2019). Viviendas emergentes para la comunidad de RioMuchacho, Ecuador. *Espacios*, 40(7), 1-11. Obtenido de <http://www.revistaespacios.com/a19v40n07/a19v40n07p01.pdf>
58. Viegas, G., Waish, C., & Barros, V. (2016). Evaluación cuali-cuantitativa de aislaciones térmicas alternativas para viviendas. El caso de la agricultura familiar. *INVI*, 86(31), 89-117. Obtenido de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/invi/v31n86/art04.pdf>
59. Zuluaga, C., & y Zuleta, A. (16 de marzo de 2016). *ZUARQ Diseno y arquitectura en guadúa*. Obtenido de Sistema tendinoso: <https://www.zuarq.co/sistema-tendinoso/>