



# **UNIVERSIDAD DE CUENCA**

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Maestría en Arquitectura Bioclimática: confort y eficiencia energética

Comportamiento térmico y energético del bloque de tierra compactada (BTC)

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magíster en Arquitectura Bioclimática: confort y eficiencia energética

Autor:

Arq. Juan José Zenteno Vásquez

CI: 010521021-5

Director:

Arq. Wilson Marcelo Vázquez Solórzano

CI: 030039901-1

**Cuenca - Ecuador**

29/Julio /2019



## Resumen:

La presente investigación estudia el comportamiento del BTC estabilizado con cemento y fibras vegetales provenientes de cascarilla de arroz, bagazo de caña y viruta de madera. Se investigó sobre las características de las tierras adecuadas para su fabricación en la ciudad de Cuenca, Ecuador. Se analizaron 6 tierras locales, encontradas en los sectores de *Sinincay*, *Sayausí*, *Baguanchi*, *Racar*, *Ucubamba* y *Tarqui*. Se recurrió a realizar ensayos de campo y de laboratorio a las mismas. Con la tierra *Racar* se diseñaron los siguientes grupos: bloques estabilizados con cemento al 5, 10, 15% en relación al peso seco de la tierra; bloques estabilizados con cemento y con las fibras vegetales en proporción de 1,2 y 3% en relación a la mezcla seca; bloques estabilizados únicamente con fibras vegetales. Se fabricaron bloques de 29x14x7,5cm en una máquina manual tipo "CINVA-RAM", los cuales se sometieron a los ensayos de resistencia a la compresión simple a los 30, 60 y 90 días posteriores a su fabricación; y ensayo de conductividad térmica mediante el método de la Placa Caliente. Los resultados mostraron que el incremento de cemento mejora la resistencia a la compresión y aumenta la conductividad térmica. La adición de fibras vegetales a la mezcla mejora aún más la resistencia a la compresión, además los valores de la conductividad térmica disminuyen. Los bloques estabilizados solo con fibras vegetales poseen valores bajos de resistencia a la compresión. La conductividad térmica del BTC es más baja que la de otros materiales encontrados en la bibliografía como el ladrillo, adobe, bloque de hormigón, aunque más altos que el bloque de pómez. La transmitancia térmica calculada para paredes de BTC sin recubrimientos resulta menor a los valores de paredes de ladrillo, pero más alto que la pared de bloque pómez. El proceso de fabricación manual y su bajo consumo energético en su producción, demuestran que su impacto ambiental en comparación a los bloques y ladrillos utilizados en el mercado es menor.

## Palabras clave

BTC. Arquitectura sustentable. Adobe. Conductividad térmica. Energía incorporada.



**Abstract:**

This research studies the behavior of BTC stabilized with cement and vegetable fibers from rice husks, sugarcane bagasse and sawdust shavings. The characteristics of the suitable soils for its manufacture in the city of Cuenca, Ecuador, were investigated. Six local soils were analyzed, found in the sectors of *Sinincay*, *Sayaustí*, *Baguanchi*, *Racar*, *Ucubamba* and *Tarqui*. Field and laboratory tests were applied to the soils. With the Racar soil the following groups were designed: blocks stabilized with cement at 5, 10, 15% in relation to the dry weight of the soil; blocks stabilized with cement and vegetable fibers in a proportion of 1, 2 and 3% in relation to the dry mixture; blocks stabilized only with vegetable fibers. Blocks of 29x14x7,5cm were manufactured in a manual machine type "CINVA-RAM", which were submitted to the tests of resistance to simple compression at 30, 60 and 90 days after its manufacture; and thermal conductivity test by the Hot Plate method. The results showed that the cement increase improves the compressive strength and increases the thermal conductivity. The addition of vegetable fibers to the mixture further improves the compressive strength, in addition the values of thermal conductivity decrease. The blocks stabilized only with vegetable fibers have low values of resistance to compression. The thermal conductivity of the BTC is lower than that of other materials found in the literature such as brick, adobe, concrete block, although higher than the pumice block. The thermal transmittance calculated for uncoated BTC walls is lower than the brick walls values, but higher than the pumice wall. The manual manufacturing process and its low energy consumption in its production, show that its environmental impact compared to blocks and bricks used in the market is lower.

**Keywords:**

CEB. Sustainable architecture. Adobe. Thermal conductivity. Embodied energy.



## Índice

<b>1. INTRODUCCION.....</b>	<b>7</b>
<b>1.1. EL BTC.....</b>	<b>7</b>
<b>2. ACTUALIDAD DEL BTC.....</b>	<b>8</b>
<b>3. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>9</b>
<b>4. METODOLOGÍA.....</b>	<b>10</b>
<b>4.1. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>10</b>
<b>4.1.1. SELECCIÓN DE TIERRAS.....</b>	<b>10</b>
<b>4.1.2. ENSAYOS DE CAMPO.....</b>	<b>12</b>
<b>4.1.3. ENSAYOS DE LABORATORIO.....</b>	<b>12</b>
<b>4.1.4. DISEÑO Y FABRICACIÓN.....</b>	<b>13</b>
<b>4.1.5. ENSAYOS.....</b>	<b>14</b>
<b>4.1.6. ENERGÍA INCORPORADA.....</b>	<b>14</b>
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>14</b>
<b>5.1. ANÁLISIS DE SUELOS.....</b>	<b>14</b>
<b>5.2. RESULTADOS DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE.....</b>	<b>17</b>
<b>5.3. RESULTADOS DE ENSAYOS DE CONDUCTIVIDAD MEDIANTE EL MÉTODO DE LA PLACA CALIENTE.....</b>	<b>20</b>
<b>5.4. ENERGIA INCORPORADA Y EMISIONES DE CO2.....</b>	<b>21</b>
<b>5.5. COMPARACIÓN DE VALORES TÉRMICOS OBTENIDOS CON OTROS MAMPUESTOS.....</b>	<b>22</b>
<b>6. CONCLUSIÓN.....</b>	<b>23</b>
<b>7. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>24</b>
<b>8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>24</b>
<b>9. ANEXOS.....</b>	<b>27</b>





### Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Juan José Zenteno Vásquez, autor/a del trabajo de titulación "Comportamiento térmico y energético del bloque de tierra compactada (BTC)", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 29 de julio de 2019

Juan José Zenteno Vásquez

C.I: 010521021-5



### Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

Juan José Zenteno Vásquez, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “Comportamiento térmico y energético del bloque de tierra compactada (BTC)”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 29 de julio de 2019

Juan José Zenteno Vásquez

C.I: 010521021-5

## 1. INTRODUCCION

A lo largo de la historia, las construcciones se han diseñado en base al clima del lugar, el medio que los rodea y los materiales disponibles en la zona con el fin de obtener un hábitat confortable. Antiguamente la vivienda se relacionaba con el entorno inmediato y el clima, diseños inteligentes y materiales convenientes de cada región fueron la esencia de las diferentes tipologías que esencialmente buscaban el mayor confort posible (Martinez, 2012). En la actualidad, la demanda de materiales de construcción sustentables y de bajo costo está creciendo por razones sociales, económicas y ambientales (Mostafa & Uddin, 2016), esto ha repercutido en un auge en la investigación y búsqueda de materiales que presenten características de sostenibilidad, siendo la construcción con tierra y sus distintas técnicas motivo de diversos estudios debido a sus propiedades y cualidades, además de ser el material de construcción utilizado con mayor antigüedad por la humanidad (Arteaga, Medina, & Gutierrez, 2011). El uso de la tierra del lugar posee ventajas como su manejabilidad en el sitio, el uso de mano de obra poco calificada para su fabricación, poca energía utilizada en su fabricación (Rigassi, 1995).

La tierra cruda, al ser un material abundante en la mayoría de lugares del planeta ha estado presente en diferentes sistemas constructivos dentro de muchas culturas, usada como material de construcción desde tiempos remotos hasta nuestros días. Las diferentes técnicas que emplean tierra datan de hace más de 9.000 años (Minke, 2005) y han surgido en casi todas las civilizaciones del pasado, expandiéndose a través de las invasiones y colonizaciones, comunes en la historia de la humanidad (Martins Neves & Faria, 2011). Hoy en día se calcula que aproximadamente el 30% de la población mundial vive en construcciones de tierra (Minke, 2005).

En lo que hoy es Ecuador, naciones indígenas como los Cañaris, Puruhaes y Quitus, tenían como material predominante en su arquitectura la tierra, con técnicas como el bahareque (tierra con

entramado de caña o madera). Con la llegada de los incas, y la posterior colonización española, se produjo una fusión entre los sistemas de cada cultura (Toirac Corral, 2008), *continuando con estas técnicas constructivas en la época colonial y también en la republicana a pesar de los nuevos estilos arquitectónicos* (Aguilar, Cárdenas, Quezada, Sarmiento, & Cárdenas, 2018).

Por ello, Ecuador tiene una gran tradición en este tipo de arquitectura, a tal punto que posee los centros históricos de Quito y Cuenca declarados Patrimonio Cultural de la Humanidad, lo que es de gran valor, teniendo en cuenta que, según la UNESCO, el 17% de este patrimonio cultural en el mundo está construido en tierra (Figura 1). (Auroville, 2010).

Existen varias técnicas de construcción con tierra cruda, sin embargo, las de mayor representación son el adobe, el bahareque y el tapial, a éstas se suman nuevos procesos como paneles, bloques estabilizados, superadobes, los cuales lidian frente a procesos constructivos industriales en los países desarrollados y frente a piezas de albañilería como el ladrillo y bloque en países en vías de desarrollo. (Taallah, Guettala, Guettala, & Kriker, 2014). En el caso del Ecuador, según el INEC, el 61,6% de las edificaciones se construyen actualmente con bloque y el 35,1% con ladrillo cerámico, a diferencia del adobe y tapia con el 0,1%, en tanto que el bahareque se encuentra dentro de categoría "otros", con un porcentaje de 1,2% (INEC, 2014).

### 1.1. EL BTC

A inicios del siglo XX se realizaron estudios para la estabilización de la tierra con aglomerantes como la cal y el cemento, posteriormente ésta técnica ganó fuerza con el desarrollo de una prensa manual para fabricación de bloques, creada en 1952 en el Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento Colombia, por el Ingeniero Raúl Ramírez, conocida por el nombre de CINVA-RAM, así surgió el mampuesto identificado como BTC, en inglés *Compressed Earth Block CEB* (Martins Neves & Faria, 2011).



Figura 1 Arquitectura de tierra en el mundo. Fuente: Instituto Craterre (1979).



Su fabricación consta de dos procesos que lo hacen diferente a las técnicas tradicionales, el primero es la utilización de maquinarias semi-mecanizadas o mecanizadas para producirlo, lo que supone un avance en su calidad estética, y el segundo proceso es la estabilización, en donde se adicionan materiales que mejoran las características originales de la tierra, mejorando las propiedades de la misma significativamente. La maquinaria disponible para su fabricación es diversa, se puede utilizar desde un sencillo equipamiento de prensado, hasta complejas unidades de producción industrial, que engloban pulverizador de suelo, tamizador, mezcladora, dosificador, prensa y otros accesorios (Rigassi, 1995). Fabricado correctamente, es un material durable, no desprende ningún tipo de radiación ni productos tóxicos, a menos que el suelo con el que se fabrique presente algún tipo de contaminación (Barbeta, 2002). El procedimiento para la fabricación posee las siguientes etapas: identificación, preparación, mezclado, prensado, curado y embalaje (Rigassi, 1995).

**Identificación:** Se realiza un análisis de las propiedades físicas y químicas de la tierra con lo cual se obtienen datos como color, olor, granulometría, plasticidad, humedad óptima, etc. Proterra, (2009) recomienda que, antes de su fabricación, se realicen una serie de pruebas al suelo tales como ensayos de laboratorio, entre ellos la composición granulométrica y plasticidad; además existen pruebas de campo como los test de la caída de bola, del vidrio, de la cinta y del cordón. Cualquier suelo, con excepción de los altamente orgánicos o presencia dominante de arcillas expansivas, puede ser utilizado como material de construcción.

**Preparación:** Dependiendo de la tierra se debe realizar un cribado y triturado de la tierra ya sea en forma manual o maquinaria menor como tolva o tornillo sin fin.

**Mezclado:** Se realiza en dos etapas, la mezcla seca, en la que se incorporan los materiales principales, es decir la tierra y los estabilizantes; y la mezcla húmeda, en la que se incorpora el agua de manera homogénea. La estabilización de suelos se refiere a todo proceso a través del cual éste mejora sus características (Proterra, 2009). Existen diferentes tipos de estabilización de suelos. Rigassi (1995) sugiere que existen tres tipos: mecánica (compactación del suelo), física (controlando su granulometría) y química (adición de otras sustancias). Generalmente se recomienda la adición de estabilizante en porcentajes entre 4 y 10% del peso de la mezcla seca. (Mesbah, Morel, Walker, & Ghavami, 2004). Los criterios que se deben tomar en cuenta para la elección de un estabilizante debe ser su disponibilidad regional, minimización del impacto ambiental, en el cual se englobará todo el ACV del estabilizante; la evaluación económica y las condiciones de mantenimiento y uso (Barbeta, 2002).

**Prensado:** Es la operación principal en el proceso de fabricación, la calidad final del bloque depende en gran medida de esta fase. El rendimiento productivo viene determinado principalmente por la velocidad de trabajo de la prensa y de la eficacia de la maquinaria utilizada. En el mercado existen máquinas manuales,

las cuales poseen un rendimiento de 63 bloques / hora, e hidráulicas, las cuales funcionan con electricidad o diésel, con un rendimiento aproximado de 240 bloques / hora (Figuroa, 2012).

**Curado:** El curado húmedo se realiza entre los 5-8 días posteriores a su fabricación. Posterior a esto se mantiene a los bloques bajo una lámina de plástico.

## 2. ACTUALIDAD DEL BTC

Existen varios manuales, documentos técnicos y normativas que regulan ensayos, fabricación del BTC y otras técnicas en tierra (Cid, Mazarrón, & Cañas, 2011). Así, Francia (XP P13-901,2001), Nueva Zelanda (NZS 4297-4299) España (UNE 41410), poseen normativas vinculadas al bloque de tierra. En Sudamérica, Brasil ha emitido trece normas desarrolladas por la Asociación Brasileña de Normas Técnicas (ABNT) desde 1986 hasta 1996 sobre el suelo cemento y sus aplicaciones constructivas, Colombia posee la normativa (Ntc5324), la cual es una transcripción de la normativa francesa, además en Perú existe la normativa (NTE E 080), la cual hace referencia a la construcción en tierra con adobe y tapial. Existen también institutos internacionales dedicados a la investigación y conocimiento sobre tierra como PROTERRA y CRA-TERRE, los cuales poseen manuales (Proterra, 2009) (Craterre, 1979) y libros (Minke, 2005) (Rigassi, 1995) que proporcionan métodos para la selección de suelos, fabricación, producción y ensayos sobre los bloques y han servido como base para normativas.

En el marco nacional, la norma NEC-SE-VIVIENDA no menciona en sus capítulos al BTC, y en el caso de otros sistemas constructivos en tierra como el adobe, tapial, bahareque, pide regirse al Código peruano, citando dentro de cada técnica constructiva el texto: *Para el diseño de muros portantes de (adobe, tapial, bahareque) regirse al Código de Construcción con Adobe del Perú. Norma E.080 para construcción con adobe.* (MIDUVI, 2014). Con este contexto, las investigaciones actuales sobre el BTC se centran en mejorar sus características mecánicas, como el mejoramiento de su resistencia a la compresión, absorción de agua, estabilización. La norma española UNE 41410 (AENOR, 2008) establece para la resistencia a la compresión simple valores desde 1,3 hasta 5Mpa. La norma colombiana posee valores para la compresión tanto en húmedo 1-3 Mpa, como en seco 2-6Mpa, mientras que la norma brasileña posee un único valor de 2 Mpa a partir de los 7 días de curado como mínimo. (Tabla 1).

Tabla 1. Valores para la Resistencia a la compresión simple

Normativa	Condición	Valores		
		BTC1	BTC2	BTC5
UNE 41410	Seca	1,3	3	5
		BSC 20	BSC 40	BSC 60
NTC 5324 XP P13-901	Seca	2	4	6
	Húmeda	1	2	3
NBR 8492	Húmeda	Tijolos de solo cemento		
		2		

Valores presentados en unidades: Mpa. Fuente: AENOR (2008), ICONTEC (2004). ABNT (1986)



En cuanto a la estabilización, se ha encontrado que el cemento, la cal y el yeso son los estabilizantes más eficientes, la adición de cemento reduce la porosidad del bloque y mejora al contacto con el agua (Omar Sore, Messan, Prud'homme, Escadeillas, & Tsobnang, 2018a), sin embargo necesitan más energía que el resto de materiales para ser producidos, especialmente el cemento, lo que aminoraría un poco las características sostenibles de la construcción con tierra (Carcedo Fernández, 2012). Existen también estudios con estabilización mediante geopolímeros (Omar Sore, Messan, Prud'homme, Escadeillas, & Tsobnang, 2018b), (Yepes, Montoya, & Gómez, 2012). La estabilización con fibras vegetales posee varias ventajas, el adicionamiento adecuado puede mejorar la resistencia a la compresión y flexión, reducir la retracción además de incrementar la cohesividad de la mezcla (Minke, 2014). Así, James et al. (2016) y Lima, Varum, Sales, & Neto (2012) propone el estudio de BTC estabilizado con bagazo de caña, concluyendo en que la adición de bagazo de caña a la mezcla aumentó la resistencia a la compresión de los bloques y aumentó ligeramente la absorción de agua, en el segundo caso se demuestra que se puede adicionar esta fibra vegetal sin restar las propiedades mecánicas de los bloques. Cabo (2011), propone BTC ecológicos estabilizados con cascarilla de arroz, recuperando un elemento que si no se reutiliza termina en grandes quemas y emitiendo CO<sub>2</sub> al ambiente. Mostafa & Uddin (2016), realizó un análisis de bloques con la adición de fibras de guineo, mejorando la resistencia a la compresión de los mismos en base al tamaño de las fibras. Danso, Martinson, Ali, & Williams (2015) investiga las propiedades de los BTC estabilizados con fibras de residuos agrícolas (Cáscara de coco, bagazo y palma aceitera), se encontró que las propiedades físicas, mecánicas y de durabilidad de los bloques en general mejoraron. En lo que respecta al contexto local Mejía Pacheco, (2018) propone el BTC con agregados de residuos de la construcción, Pinos Coronel, (2015) estudia el mortero de pega en paredes fabricadas con BTC, afirmando que mientras más resistente el mortero de pega, mayor será la resistencia a la compresión axial del murete.

La experimentación e investigación en el ámbito térmico viene dada por la escasez de valores en las normativas. La conductividad térmica (que es la capacidad de un material para transmitir el calor), la resistencia térmica (resistencia de un elemento al paso de calor), la transmitancia térmica (cantidad de calor que atraviesa un sistema constructivo del material) además de la inercia y retardamiento térmico son las propiedades más estudiadas. En el caso del estudio de las características térmicas, Ferreira da Silva (n.d.) realiza un estudio de bloques de suelo-cemento adicionado con fibra de coco, concluyendo en que los bloques mejoraron su desempeño con la adición de esta fibra, en referencia a su conductividad térmica. Zhang et al. (2017) afirma que la conductividad térmica puede reducir disminuyendo la densidad de los bloques. Ashour, Korjenic, Korjenic, & Wu, (2015) estudian la conductividad térmica en bloques de tierra estabilizados con fibras, cemento y gypsum. En cuanto a la estabilización mecánica, Mansour, Jelidi, Cherif, & Jabrallah (2016) ha demostrado que la presión de compactación tiene una influencia importante en la densidad aparente, por lo tanto tiene un impacto directo sobre su rendimiento térmico y mecánico. En el estudio publicado por (Ashour, Korjenic, Korjenic, & Wu,

2015b) afirma que la conductividad térmica disminuye con el aumento de fibras a la mezcla, alcanzando resultados idóneos con bloques estabilizados con fibras de paja. Galindez (2009) propone la fabricación de BTC sin la adición de estabilizantes, enfocándose en las propiedades del tipo de suelo y su nivel de plasticidad, afirmando en que a mayor plasticidad, se obtiene mayor resistencia a la compresión, además si no se desea incluir cemento ni otro compuesto que genere grandes consumos de energía en su fabricación, se puede aumentar la compactación y hacerlo con tierras de mayor plasticidad, con esto se podría afirmar que el proceso es más ecológico, sin embargo debe plantearse un límite pues una mayor plasticidad podría traer problemas en la contracción y genera ración de fisuras en el proceso de secado.

En el ámbito energético los estudios se inclinan al análisis de ciclo de vida y energía incorporada de los materiales. Figueroa (2012) presenta datos sobre emisiones de CO<sub>2</sub> y energía incorporada del material, afirmando que su producción es ecológica si se trabaja con maquinaria manual y la extracción de arcilla no es tan lejana, siendo el mayor impacto del proceso su embalaje y transporte posterior a obra. (Barbeta, 2002) propone también el análisis del ciclo de vida del material y las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas. Existen también estudios locales como el análisis del ciclo de vida del ladrillo propuesto por Alvear & Palomeque (2017).

### 3. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Si bien la construcción con tierra cruda es conocida desde hace muchos años, en la actualidad se utiliza en muy escasa medida, lo que se debe a causas tanto económicas, es decir costos más bajos de ciertos materiales y sistemas constructivos, y por otro lado culturales, vinculada a la asociación de esta arquitectura con pobreza e insalubridad (Galindez, 2009) (Cuitiño, Esteves, Maldonado, & Rotondaro, 2015). En la actualidad existen zonas del Ecuador en donde se sigue manteniendo la construcción con técnicas como adobe, tapial y bahareque, sin embargo, materiales como el ladrillo o el bloque de pómez han desplazado largamente a la utilización de éstos sistemas constructivos, los mismos que en muchos casos han caído en el abandono (Figura 2) y falta de mantenimiento adecuado en el caso de construcciones existentes.



Figura 2 Construcciones de tierra en malas condiciones en la ciudad de Cuenca, Ecuador. Fuente: Autor.

El problema del ladrillo en torno al medio ambiente se debe principalmente a los hornos utilizados en la industria, que consumen gran cantidad de combustibles fósiles, esto conlleva a problemas como generación de residuos al momento de su fabricación (empleo de materiales fósiles al momento de la quema y emisión de CO<sub>2</sub> en este proceso); transporte (utilización



de transporte pesado que produce CO2); demolición (residuo de la construcción). Específicamente en la ciudad de Cuenca, la producción de ladrillos se realiza mayoritariamente de manera artesanal, por lo que existe una gran contaminación al medio ambiente, resultando una práctica poco sustentable (Alvear & Palomeque, 2017), además de los problemas que esto conlleva como bajas resistencias en los bloques, falta de uniformidad y distintas medidas (Piedra, 2014). En el caso del bloque de pómez, posee la ventaja de su versatilidad, además su peso en relación a sus dimensiones lo hacen liviano y fácil de colocar en obra, sin embargo, al ser el cemento su principal compuesto, lo hace un material poco amigable con el medio ambiente.

Ante esto, el BTC puede presentar ventajas en aspectos ecológicos y ambientales, sin embargo, hace falta obtener valores térmicos concretos del material, los cuales son escasos (Roux & Gallegos, 2015), pues al existir un sin número de tierras, tipos de mezclas y formas de fabricación en el mundo hace que no existan valores ciertos del material como conductividad, calor específico, transmitancia térmica; haciendo que las diferencias en bibliografía sean sustanciales (Sandoval, n.d.). Es necesario realizar muestras y ensayos para la obtención de datos reales para efectuar estudios comparativos con otros materiales como el ladrillo y el bloque, como se afirma en la Norma NEC-HS-EE: *“En un futuro, las propiedades que se muestran en este documento deben ser contrastadas con datos obtenidos en laboratorios nacionales de caracterización térmica de materiales de construcción ya que las proporciones químicas y procesos usados en la fabricación de los materiales pueden variar incluso por fabricante”*.

La estabilización mediante la adición de fibras vegetales podría ayudar a mejorar tanto las características mecánicas como térmicas, además de la contribución a generar prácticas sostenibles en los procesos de construcción, reutilizando residuos provenientes de la industria maderera como la viruta, y agrícola, como la cascarilla de arroz y el bagazo de caña, lo cual representa un problema ambiental, dado por la forma de eliminación de éstos residuos, siendo esto realizado por medio de incineración, evacuación en carreteras cercanas o fuentes de agua cercanos, lo cual genera un impacto perjudicial al medio ambiente (Pozo, 2011).

Así, el estudio del BTC estabilizado con cemento y fibras vegetales puede presentar varias mejorías para el sector de la construcción en el ámbito térmico y energético: la utilización de residuos agrícolas como estabilizantes permitirá mejorar el impacto medioambiental de este sector, la determinación de valores térmicos de este material, los cuales son inexistentes en la normativa nacional (MIDUVI, 2018) conviene para mejorar la base de datos nacional con valores reales, la comparación con valores de otros mampuestos y materiales permite establecer ventajas y desventajas del material propuesto.

#### 4. METODOLOGÍA

Se plantea la hipótesis de que el BTC es un material sostenible que posee un buen comportamiento térmico, además de un menor consumo energético a lo largo de su ciclo de vida.

El objetivo de esta investigación es contribuir al desarrollo de conocimientos sobre los BTC sostenibles, analizando su

comportamiento térmico, mecánico y energético, en base a la estabilización mediante fibras vegetales. La metodología que se siguió fue la siguiente:

- Recoger información sobre el proceso de fabricación del BTC.
- Buscar un suelo de buenas características dentro de la ciudad de Cuenca y realizar ensayos en campo y de laboratorio al mismo.
- Fabricar BTC estabilizados y realizar análisis mecánicos y térmicos.
- Comparar los resultados en términos térmicos, energéticos y mecánicos.

La presente investigación se ha realizado en la ciudad de Cuenca, Ecuador, a una altura de 2550 msnm. La ciudad posee antecedentes históricos en la construcción con elementos de tierra cruda (INPC, 2015), sumado también a la producción de materiales de tierra cocida como el ladrillo y teja (Alvear & Palomeque, 2017).

#### 4.1. MATERIALES Y MÉTODOS

##### 4.1.1. SELECCIÓN DE TIERRAS

Se ha realizado un muestreo no probabilístico, localizando minas o depósitos de tierras, delimitando la zona de estudio a la zona de expansión urbana del cantón Cuenca, para ello se ha realizado una revisión de las diferentes formaciones geológicas del sector, bibliografía sobre construcción con tierra y terro-cemento en la ciudad y región (Buñay, Guzmán, & Monsalve, 1991), (Ochoa, 1994), (Pinos Coronel, 2015), (Guzmán & Iñiguez, 2015), (Mejía Pacheco, 2018), La tierra ha sido seleccionada de depósitos y minas dentro del cantón Cuenca, Ecuador. La ciudad se encuentra dentro de un valle y en el existen varias formaciones geológicas, dentro de las que se destacan las formaciones Turi, Racar, Tarqui, Santa Rosa, además de los depósitos aluviales, depósitos coluviales, arcillas expansivas.

LOCALIZACION DE LAS TIERRAS		
Puntos	X	Y
elipsoide wgs 84 17 Sur		
Racar	718970	9683980
Sinincay	720437	9684558
Sayausí	713677	9681706
Baguanchi	726538	9678092
Ucubamba	732461	9685668
Tarqui	718735	9676421
Coordenadas referenciales tomadas en los sitios. UTM Datum WGS 84, zona 17 SUR.		

Cuadro 1 Coordenadas georeferenciadas de la localización de tierras

En la Figura 4 se observa las zonas en donde se procedió a realizar la recolección de tierra. Las tierras que se extrajeron para su posterior análisis fueron las siguientes:



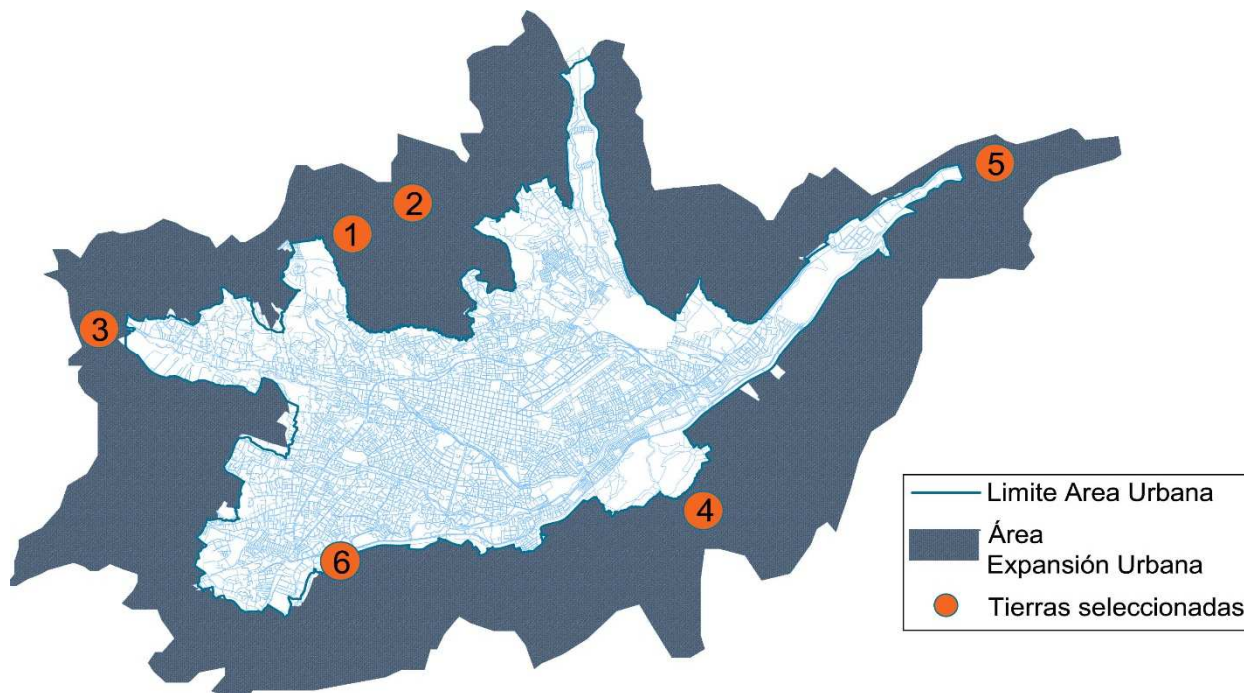


Figura 4 Ubicación de las tierras dentro del área de expansión urbana de la ciudad de Cuenca. Fuente: GAD del cantón Cuenca. Elaboración propia

**Fibras Vegetales:** Se ha planteado la utilización de residuos madereros y agrícolas (Figura 3), analizando sus características físicas, accesibilidad en la zona y también su coste económico. En la tabla 2 se encuentran algunas características de las fibras.

**Cascarilla de arroz:** En la industria arrocera, se denomina cascarilla o *tamo* al desecho generado por la cáscara que recubre al arroz luego del proceso de pilado. Este residuo es de difícil biodegradación. La procedencia de la cascarilla utilizada se encuentra a 150km al oeste de la ciudad de Cuenca, específicamente en el sector de Puerto Inca, Guayas. El material se puede encontrar en zonas agrícolas de la ciudad a costos económicos (1\$/saco), se utiliza como abono.

**Viruta de madera:** Se denomina viruta a los fragmentos de material residual con forma de lámina curvada o espiral que se desprende al aserrar la madera, además de este también se genera aserrín, que es el conjunto de partículas o polvillo. Para este estudio se encontró viruta proveniente de industria maderera de mediana escala. La misma es utilizada por fábricas artesanales de ladrillo para alivianar el peso del material.

**Bagazo de caña:** Es el residuo obtenido de la caña de azúcar a la salida de la molienda. El bagazo empleado se obtuvo de molineras de caña ubicadas en el cantón Santa Isabel, Azuay; aproximadamente 70km de distancia de la ciudad de Cuenca, la misma no tuvo ningún costo, pues al ser un desecho se lo mantiene apilado dentro de la misma molienda o utilizado como abono.



Figura 3 Fibras Vegetales provenientes de residuos agrícolas y madereros. Fuente: MAGAP

Tabla 2. Características de las fibras vegetales propuestas para la estabilización del suelo

Nombre	Proveniente de	Dimensiones	Distancia (radio)	Costo	Homogeneidad
Cascarilla de Arroz	Piladoras de arroz	1-3cm	1km	\$0-\$1/ saco	buena
Bagazo de Caña	Molineras	1-8cm	50km	\$ 0	mala
Viruta de Madera	Carpinterías	2-4cm	1km	\$0-\$0,5 / saco	buena

Nota. Elaboración propia

**Cemento:** El cemento utilizado es de tipo Portland puzolánico tipo IP, marca comercial Guapán. La planta se encuentra a 30km de la ciudad de Cuenca. La adición del mismo ayuda a mejorar las propiedades mecánicas del suelo.

**Agua:** El agua en la ciudad de Cuenca es potable, proporcionada por la empresa local. En el caso del agua lo importante es la cantidad antes que la calidad de la misma.

## 4.1.2. ENSAYOS DE CAMPO

Los análisis de campo nos permiten obtener características cualitativas de la tierra. Durante la toma de muestras se realizó una verificación sensorial, color, textura de los suelos (*figura 5*) tratando de obtener las características requeridas (Proterra, 2009). Los ensayos de campo que se realizaron fueron los siguientes:



Figura 5 Tierras analizadas en ensayos de campo y laboratorio.  
Fuente: elaboración propia.

**Test de caída de la bola:** especifica el tipo de tierra en función de su cohesión. El mismo consiste en formar una pelota de 5cm de diámetro, la cual se debe lanzar a una altura aproximada de 1-1,5m al piso, y observar si la bola se rompe o se mantiene consistente. Las tierras arenosas se fragmentarán, mientras que las que posean mucha arcilla se mantendrán firmes.

**Test de la cinta:** evalúa a la tierra en un determinado estado de humedad. Este ensayo permite apreciar la maleabilidad y flexibilidad de la tierra, con lo que una cinta larga y sin fisuras nos indicará que la muestra posee una buena plasticidad. El procedimiento sencillo, se toma una muestra de tierra y se añade agua en cantidad mesurada, luego sobre una base sólida con ayuda de las dos manos se forma una cinta, expandiéndola hasta que se rompa o genere grietas a la vista.

**Test del vidrio:** en base a la sedimentación presentada en un envase se observa la cantidad de arena, limo y arcilla presentes en la tierra. El procedimiento consiste en introducir un puñado de

tierra dentro de un envase con agua, se agita el envase y se deja reposar por 24 horas (Proterra, 2009), para luego medir las alturas de cada capa y calcular los porcentajes de cada una. Se puede acelerar el proceso con el adición de sal a la mezcla.

- % arena =  $(h_1/h_3) \times 100\%$
- % limo =  $(h_2-h_1) / h_3 \times 100\%$
- % arcilla =  $(h_3-h_2) / h_3 \times 100\%$

**Test de la pastilla:** Este ensayo consiste en formar una bola de unos 5-6cm de espesor, y aplastarla formando una pastilla, y deformarla con los dedos. La dureza que presente al romperla determinará si presenta una buena resistencia a la compresión.

## 4.1.3. ENSAYOS DE LABORATORIO

**Análisis Granulométrico:** Muestra la composición de los suelos en cuanto al tamaño de las partículas presentes (grava, arena, finos). Este análisis fue realizado siguiendo el procedimiento del ensayo NTE 696 (INEN, 2011) en el cual determina la distribución granulométrica de las partículas de áridos finos y gruesos por tamizado (*Figura 6*).

**Análisis por sedimentación:** Se basa en el procedimiento NTE 697 (INEN, 2010). Este ensayo de laboratorio se omitió en este estudio, pues con los datos obtenidos en plasticidad, compactación y granulometría se pudo establecer las características de cada tierra y su uso en la fabricación.

**Límites de Atterberg:** Las pruebas realizadas a los diferentes suelos para establecer su límite líquido se determinaron en concordancia con los ensayos NTE 691 (INEN, 1982). El límite plástico se realizó usando la norma NTE 692 (INEN, 1982). El índice plástico (IP) viene dado por la ecuación (1):

$$1) IP = LL - LP$$

**Ensayo Proctor:** Este ensayo determina la densidad y humedad óptima del suelo mediante el ensayo ASTM D-698, con lo que nos da una pauta para la compresibilidad de la tierra, pues al aumentar la densidad del suelo, menor será su porosidad.



Figura 6 Equipos de ensayos de laboratorio de la Universidad del Azuay. (1) Método Casagrande. (2) Tamices para ensayo granulométrico. Fuente: Autor

Con los resultados tanto de los ensayos de campo y de laboratorio se realizó una ponderación a cada tierra analizada, en valores entre 1 y 5, en donde 5 es muy bueno y 0 muy malo.



4.1.4. DISEÑO Y FABRICACIÓN

Los bloques se fabricaron en una máquina manual tipo CINVA RAM, posee un molde prismático de dimensiones 29cm de largo, 14 cm de ancho y altura 7,5cm. Se diseñaron 5 grupos:

- TC: Bloques estabilizados con cemento al 5, 10 y 15% del peso de la mezcla seca.
- TCR: Bloques estabilizados con cemento al 10% del peso de la tierra y fibras vegetales (cascarilla de arroz) al 1,2 y 3% del peso de la mezcla seca.
- TCB: Bloques estabilizados con cemento al 10% del peso de la tierra y fibras vegetales (bagazo de caña) al 1,2 y 3% del peso de la mezcla seca.
- TCA: Bloques estabilizados con cemento al 10% del peso de la tierra y fibras vegetales (viruta de madera) al 1,2 y 3% del peso de la mezcla seca.
- TR: Bloques estabilizados con la fibra vegetal que mejores condiciones mecánicas posea entre los grupos anteriores, al 1,2 y 3% del total de la mezcla seca.

Dentro de cada grupo se realizaron 3 tipos de mezcla según la proporción del estabilizante, lo que da un total de 15 tipos de bloques, que se encuentran especificados en la *Tabla 3*.

*Tabla 3* Diseño de mezclas para fabricación de BTC

Nombre	T	C %	% Fibras vegetales			Agua %
			R	B	A	
TC5	100	5	0	0	0	5-8
TC10	100	10	0	0	0	5-8
TC15	100	15	0	0	0	5-8
TCR1	100	10	1	0	0	5-8
TCR2	100	10	2	0	0	5-8
TCR3	100	10	3	0	0	5-8
TCB1	100	10	0	1	0	5-8
TCB2	100	10	0	2	0	5-8
TCB3	100	10	0	3	0	5-8
TCA1	100	10	0	0	1	5-8
TCA2	100	10	0	0	2	5-8
TCA3	100	10	0	0	3	5-8
TR1	100	0	1	0	0	5-8
TR2	100	0	2	0	0	5-8
TR3	100	0	3	0	0	5-8

La mezcla seca se formula con combinaciones de tierra (T), cemento (C), fibras vegetales: cascarilla de arroz (R), bagazo de caña (B) y viruta de madera (A). El porcentaje de agua varía entre el 5 y 8%.

**Nota.** Elaboración propia

En el caso de la disposición de las fibras de bagazo en la mezcla, ésta se trató de colocar en sentido horizontal y paralelo a la *tabla* de la muestra; en el caso de las otras fibras se ha optado por realizar la mezcla directa con el resto de materiales.

El procedimiento para la fabricación se basa en los pasos adoptados por Rigassi (1995) (*Figura 7*). Se preparó una superficie lisa apta para la mezcla, para evitar el contacto de la mezcla seca con el suelo. Se pesan las diferentes cantidades de tierra, cemento y agregados dependiendo de la preparación que se va a realizar. Se combinan los materiales de la mezcla seca hasta lograr su homogeneidad. Se agrega el agua, la cantidad de la misma dependerá de un ensayo in situ, realizando el test de la caída de bola, la cual no deberá exudar demasiada agua al formarla, así como al impactar con el suelo deberá formar terrones, pues un exceso de agua influirá en el prensado. Las cantidades establecida para cada mezcla fluctúa entre el 5 y el 8%. Una vez realizada la mezcla húmeda, se pesa la cantidad justa que ingresará en el molde, lo cual varía entre 5-6kg de esta composición para formar un bloque. La compresión depende la fuerza humana aplicada a la máquina. En esta etapa se puede determinar si existe un exceso de agua en la preparación, pues el bloque se estanca en el molde cuando exuda líquido, generando un mayor trabajo para lograr retirarlo de la máquina. Se extrae con cuidado el bloque y se coloca en filas, dejando un espacio entre uno y otro para una correcta ventilación y posterior curado. El curado en húmedo se lo realiza los 5 días posteriores a su fabricación, para luego dejarlos en un espacio cerrado.



*Figura 7* Etapas de Fabricación del BTC. Fuente: Rigassi (1995). Elaboración propia.

#### 4.1.5. ENSAYOS

##### 4.1.5.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE

Las pruebas de resistencia a la compresión simple se realizaron en el Laboratorio de Suelos de la Universidad del Azuay siguiendo los parámetros establecidos por la Norma española UNE 41410, entre el 10 de septiembre de 2018 y el 10 de marzo de 2019. Se utilizó una prensa hidráulica HUMBOLDT (ver *Figura 8*). La norma permite realizar el ensayo posterior a los 28 días de curado, por lo que se realizaron a los 30, 60 y 90 días posteriores a la fabricación de los bloques, esto con el fin de valorar si la resistencia mejora luego del proceso natural de secado (Milani & Freire, 2008), (Kinuthia, 2014). Así mismo, la norma no establece el número de muestras a ensayar por lo que se optó por analizar 3 muestras enteras de cada mezcla. A los 90 días se realizó también el ensayo en estado húmedo (sumergidos durante dos horas en agua), este ensayo no consta dentro de la Norma española UNE 41410, sin embargo, se decidió realizarlo para obtener datos sobre el comportamiento de los bloques ante el contacto con el agua.



*Figura 8* Aparato utilizado para el ensayo de resistencia a la compresión en el Laboratorio de Suelos de la Universidad del Azuay. Fuente: Autor

##### 4.1.5.2. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

El ensayo mediante el método de la placa caliente (ISO 8302). La norma establece criterios para la medida del flujo unidireccional y estacionario de calor a través de una muestra plana y homogénea de caras paralelas y espesor conocido testadas a temperaturas constantes mediante un sistema de placa caliente y placa fría (Hidalgo, 2018). Los ensayos se realizaron en el “Laboratorio de Ensayos Térmicos en Materiales y Elementos de Construcción” (LABET) de la Escuela Politécnica del Litoral, ubicado en la ciudad de Guayaquil entre el 15 de marzo y el 30 de marzo de 2019. Se utilizó un medidor de conductividad térmica  $\lambda$ -meter EP500 (*Figura 9*). Para el cálculo de  $k$  se usan las temperaturas de estado estacionario, el espesor del bloque, el área medida del espécimen y el flujo de calor introducido en la placa caliente.

$$(1) k = q \frac{L}{\Delta T}$$

Se analizó 1 muestra por cada mezcla, de dimensiones 15cmx14cmx7.5cm, es decir la mitad de una muestra entera, dado las dimensiones proporcionadas en la máquina CINVA-

RAM. Este ensayo fue realizado a 11 de los 15 grupos fabricados. Las muestras se adecuaron previamente por un lapso de 24 horas a 23°C y humedad menor a 80%. Las mezclas TR1, TR2 y TR3 y TC5 no pudieron someterse al ensayo debido a dos factores: primero, al momento de dividir el bloque para obtener la dimensión deseada para el ensayo (150mmx140mm), se fragmentaron y sus aristas no quedaron finas; segundo, las caras de estos bloques no eran totalmente planas y limpias, debido a las fibras de cascarilla de arroz, por lo que al tener caras rugosas la máquina tiende a generar errores, de modo que se optó por descartar estas muestras. Obtenidos los valores de conductividad térmica ( $k$ ) se determina la resistencia térmica ( $R$ ), con la ecuación (2), en donde ( $L$ ) es el espesor del material y ( $k$ ) la conductividad térmica.

$$(2) R = \frac{\Delta T}{q} = \frac{L}{k}$$

$$(3) R_t = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n + R_{se}$$

El valor de transmitancia térmica o valor  $U$  es inversamente proporcional a la resistencia térmica total ( $R_t$ ).

$$(4) U = \frac{1}{R}$$



*Figura 9* Aparato utilizado para la determinación de la conductividad térmica en el laboratorio LABET, de la Escuela Politécnica del Litoral. Fuente: Autor

#### 4.1.6. ENERGÍA INCORPORADA

Dado que dentro de la ciudad de Cuenca no existe una industria dedicada a la producción de este bloque y la fabricación del mismo se ha dado por métodos manuales *in situ*, los datos son referenciales de otros estudios. Así también se realizó una búsqueda de estudios que presenten valores de energía incorporada (MJ/U) y emisiones de CO<sub>2</sub> (kg CO<sub>2</sub>/U), como el ladrillo y el bloque de pomez.

### 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 5.1. ANÁLISIS DE SUELOS

Si bien los ensayos de campo son empíricos, éstos permitieron comparar directamente las propiedades físicas de las diferentes tierras, como su plasticidad, maleabilidad, textura, color (*Figura 11*).

**Test del vidrio:** Se observó la granulometría de las tierras y se verificó según los parámetros establecidos por Rede Iberoamericana Proterra, (2009) sobre la composición granulométrica (Figura 10). El envase una vez sedimentada la tierra deja observar los diferentes porcentajes tanto de gruesos como de finos presentes en la tierra. En el suelo *Sayausí* se observa gran cantidad de material fino, al contrario de la mayor cantidad de arenas que se aprecian en el suelo *Ucubamba*; la tierra *Racar*, *Baguanchi*, *Sinincay* y *Tarqui* se nota un balance entre las diferentes granulometrías, volviéndose difícil determinar los porcentajes, por lo que este ensayo requiere de cierta experticia para determinar los porcentajes de los diferentes tamaños de granos, pero es un indicador cuando existen tierras

**Test de la cinta:** Las tierras con más arcilla, *Sinincay*, *Sayausí*, generan una mejor adhesión y forma en el test, logrando formar una cinta de más de 20cm en ambos casos, no así la tierra *Ucubamba*, en donde es muy difícil formarlas más allá de los 8cm. Con las tierras *Baguanchi*, *Racar* y *Tarqui* se logra formar la cinta con mayor esfuerzo, además presenta grietas al estirla más allá de los 15cm.

**Test de la pastilla:** El proceso para formar la pastilla permite verificar la maleabilidad, y luego, al aplastar con los dedos la bola formada se determina la compactación que estas pueden obtener, en este caso, las tierras con mayor arena o grava (*Ucubamba*, *Tarqui*) presentan mayor dureza al tratar de aplastarlas, mientras que las que contienen más granos finos se aplastan sin ejercer mayor problema (*Sayausí*, *Sinincay*).

Los resultados de estos ensayos se encuentran descritos en la tabla 4.

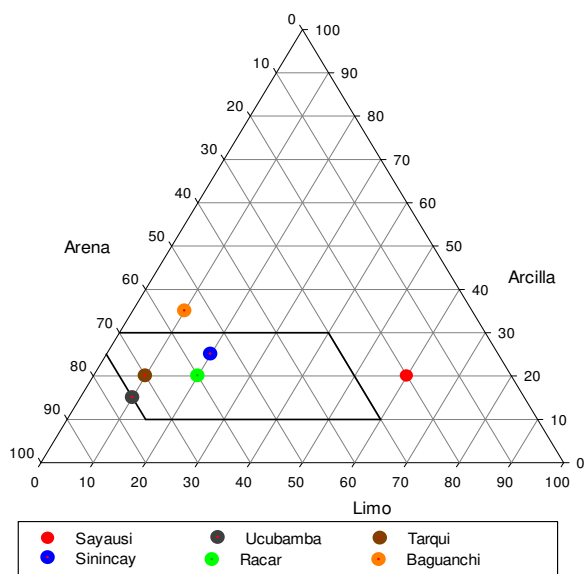


Figura 10 Resultados de la granulometría según el Test del vidrio. Fuente: Red Proterra. Elaboración propia.

extremadamente arcillosas o arenosas.

**Test de la caída de Bola:** Este ensayo permitió palpar los tamaños de partícula presentes en las tierras, las que poseen más arena y grava como *Tarqui* y *Ucubamba* presentan cierta rugosidad y presentan dificultad para formar la esfera. Con tierras como *Sayausí*, *Racar*, *Sinincay* se puede formar la esfera sin ningún problema. Al lanzar la bola en caída libre hacia el piso, *Racar*, *Sinincay*, *Sayausí* y *Tarqui* se mantienen firmes, *Baguanchi* resultó quebrarse parcialmente en terrones y la tierra *Ucubamba* se rompió fácilmente en varios terrones al tocar el piso.



Figura 11 Imágenes de los ensayos de campo a la tierra Baguanchi. Fuente: Autor

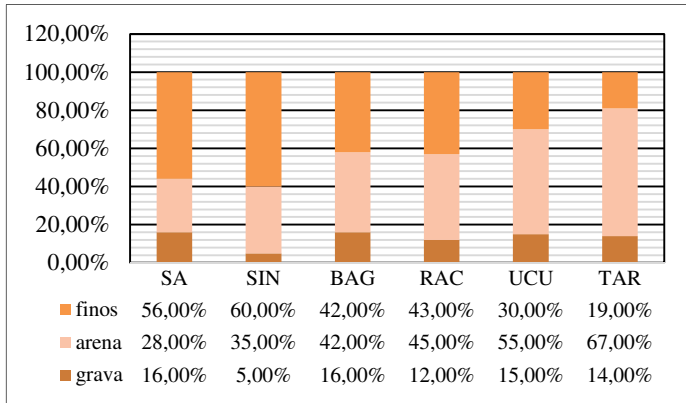
Tabla 4. Resultados de los ensayos de campo a las tierras

NOMBRE	TEST DE CAIDA DE BOLA	TEST DE LA CINTA	TEST DE LA PASTILLA	TEST DEL VIDRIO
RACAR	Se mantiene	16 cm	No se aplasta fácilmente	60% arena / 20% arcilla / 20% limo
SININCAY	Se mantiene	22 cm	Se aplasta fácilmente	55% arena / 25% arcilla / 20% limo
SAYAUSI	Se mantiene	21 cm	Se aplasta fácilmente	20% arena / 20% arcilla / 60% limo
BAGUANCHI	Se rompe parcialmente	19 cm	No se aplasta fácilmente	55% arena / 35% arcilla / 10% limo
UCUBAMBA	Se rompe	5-8 cm	Se aplasta con dificultad	75% arena / 15% arcilla / 10% limo
TARQUI	Se mantiene	11 cm	Se aplasta con dificultad	70% arena / 20% arcilla / 10% limo

Nota. Elaboración propia



**Análisis granulométrico:** Se determinó los porcentajes de grava, arena y finos de las diferentes tierras. En la *Figura 12* se puede observar los diferentes porcentajes de grava, arena y finos de las tierras. A priori, las tierras *Sayausi*, *Baguanchi* y *Sinincay* obtienen un porcentaje de retención en el tamiz 200 de más 50%, mismo que no debería ser mayor a ese valor, por lo que en teoría no son idóneas para la fabricación, debido a su alto contenido de material fino (Buñay et al., 1991). La curva granulométrica muestra las diferencias entre las tierras y sus diferentes composiciones (*Figura 13*).



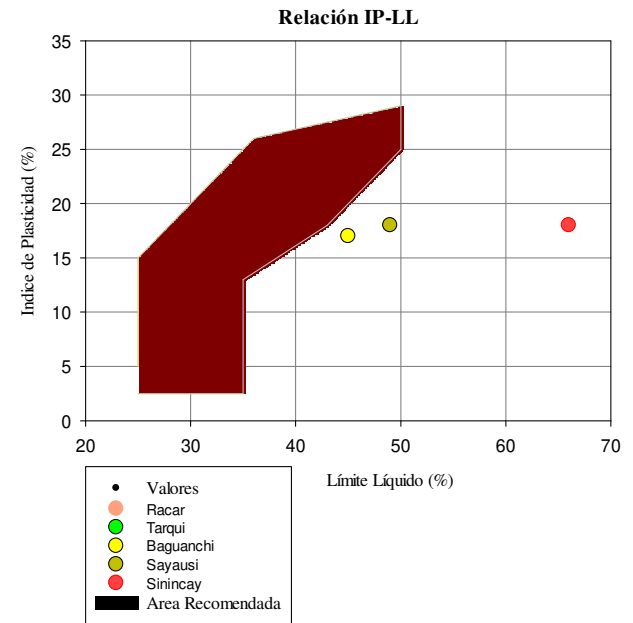
*Figura 12* Porcentajes de grava, arena y finos de las tierras analizadas.

**Límites de Atterberg:** Los resultados se encuentran presentados en la *tabla 5*, las tierras que se encuentran dentro de los parámetros establecidos y cumplen tanto el límite líquido (32-46) como el índice plástico (16-28) son, *Racar* y *Tarqui*, aunque los valores de *Baguanchi* se encuentran cercanos al límite señalado. (Jiménez Delgado & Guerrero, 2007). La tierra *Ucubamba* resultó ser una tierra *no plástica*. (Craterre, 1979P) recomienda encontrar una tierra que se encuentre dentro del área recomendada (*Figura 14*).

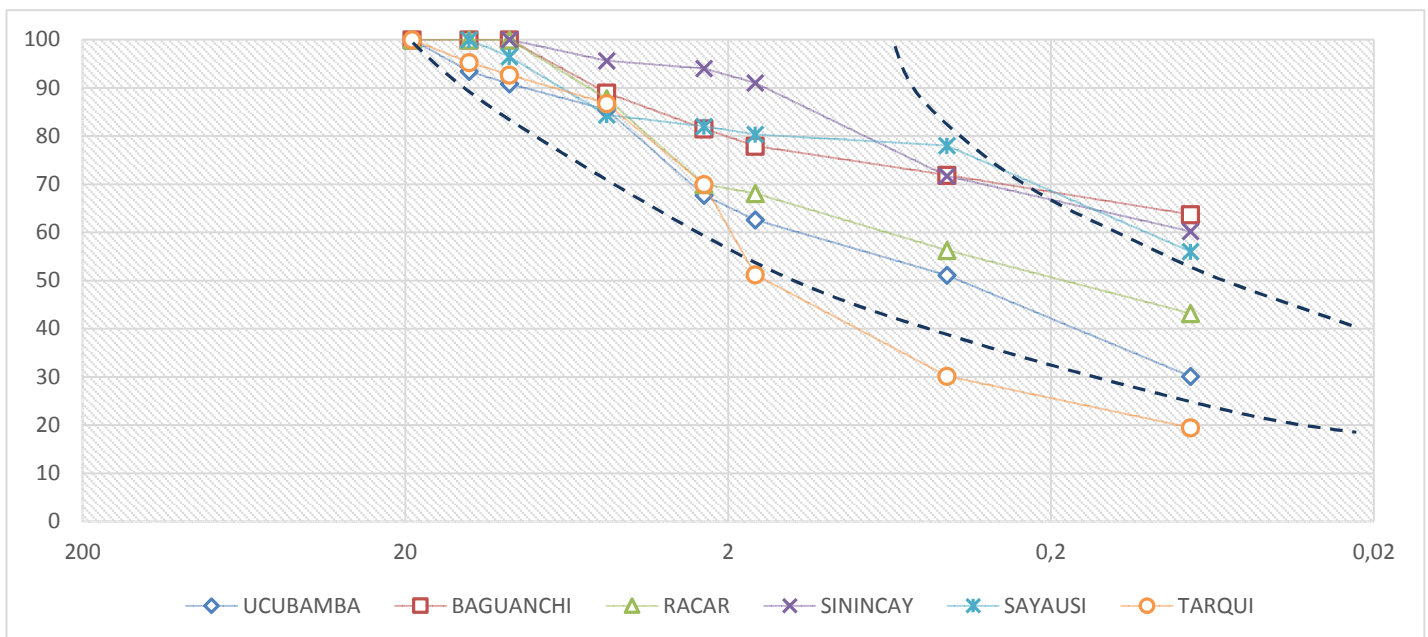
*Tabla 5. Resultados Límites de Atterberg en laboratorio*

SUELO	L.L.	L.P.	I.P.
RACAR	39,23%	22,98%	16,25%
SININCAY	66,25%	47,86%	18,39%
SAYAUSI	49,34%	31,46%	17,88%
BAGUANCHI	45,62%	28,92%	16,70%
UCUBAMBA	N.P.	N.P.	N.P.
TARQUI	42,82%	24,8%	18,02%

Límite Líquido (L.L.). Límite plástico (L.P.). Índice Plástico (I.P.). No plástico (N.P.) Nota. Elaboración propia. **Fuente:** Resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos de la Universidad del Azuay



*Figura 14* Área recomendada para la fabricación de BTC en función de la plasticidad. Fuente: Instituto Craterre (1979).



*Figura 13* Curva granulométrica de las tierras seleccionadas. Elaboración propia. Fuente: Laboratorio de Suelos UDA.

*Ensayo Proctor:* Este ensayo permite conocer la humedad óptima y la máxima densidad de la tierra, la cual según la normativa internacional debería encontrarse en el rango de 7-16%, con lo que tierras como *Baguanchi* poseen datos negativos en esta característica, los resultados se muestran en la *tabla 6*. Las tierras con la menor densidad son *Sinincay* y *Baguanchi*.

Tabla 6. Resultados ensayo Proctor estándar

SUELO	Densidad máxima	Humedad óptima
RACAR	1580	15%
SININCAY	1443	33%
SAYAUSI	1530	23%
BAGUANCHI	1445	23%
UCUBAMBA	1582	10%
TARQUI	1545	21%

Fuente: Laboratorio de Suelos de la Universidad del Azuay. Elaboración propia

Con todos los ensayos realizados tanto de campo, como de laboratorio, se pudo verificar las principales características de las tierras y sus diferencias en los diferentes parámetros. En cuanto a la plasticidad, las tierras *Ucubamba* por un lado y *Sayausí* y *Sinincay* por el otro, poseen notables diferencias, pues al trabajar con la primera se puede notar su baja plasticidad debido a su mayor porcentaje de arenas y su rugosidad al formar las bolas o los cordones, al contrario de la segunda y la tercera, que poseen demasiada arcilla, con lo que su maleabilidad es muy buena, se logran cordones largos y las bolas fabricadas soportaron las caídas. Las tierras restantes, *Baguanchi*, *Racar* y *Tarqui* presentan resultados medios. Se han cuantificado los resultados de los ensayos de campo y de laboratorio, ponderando de 0 a 5 cada ítem. Ver Figura 15.

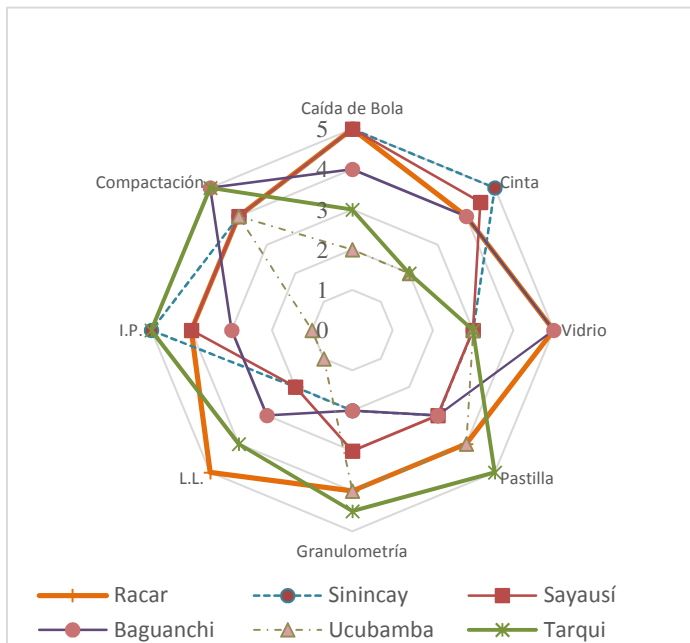


Figura 15 Matriz de ponderación ensayos realizados. Elaboración propia.

En la *tabla 7* se encuentra las ponderaciones de las diferentes tierras en los ensayos realizados. Siendo así, la tierra *Ucubamba* es una tierra arenosa, que cumple con parámetros como la granulometría, sin embargo, en ensayos como de la bola y del cordón se pudo ver su poca plasticidad, comprobada luego en los valores de los límites, en donde resultó ser no plástica. Por otro lado, tierras como *Sinincay* y *Sayausí*, que resultaron ser tierras arcillosas, sobrepasan los valores permitidos en granulometría y plasticidad para la fabricación del BTC, sin embargo, las mismas son aptas para la producción de ladrillos o adobes (Cid et al., 2011), pues para estas piezas se necesita de tierra, con alta plasticidad, de ahí su utilización histórica en la región para confección de piezas cerámicas para la construcción. Las tierras *Baguanchi*, *Tarqui* y *Racar* cumplen con ciertos parámetros, en el caso de *Baguanchi* sus valores bordean los límites establecidos en plasticidad y granulometría. *Yanuncay* y *Racar* poseen valores que se encuentran dentro de las normativas, en granulometría y plasticidad, además en los ensayos de campo se encontraron trabajables, por lo que estas dos tierras son aptas para la fabricación del BTC (Craterre,1979). Para este estudio se ha propuesto la utilización de la tierra *Racar*.

Tabla 7. Parámetros para la obtención de una tierra óptima

	Racar	Sinincay	Sayausí	Baguanchi	Ucubamba	Tarqui
Caída de Bola	5	5	5	4	2	3
Cinta	4	5	4,5	4	2	2
Vidrio	5	3	3	5	3	3
Pastilla	4	3	3	3	4	5
Granulometría	4	2	3	2	4	4,5
L.L.	5	2	2	3	1	4
I.P.	4	5	4	3	1	5
Compactación	4	4	4	5	4	5
Total	35	29	28,5	29	21	31,5

Límite Líquido (L.L.) Índice Plástico (I.P.) Nota. Elaboración propia

## 5.2. RESULTADOS DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE

El análisis realizado a las muestras TC5, TC10 Y TC15 determinó que la resistencia aumentó con el incremento de cemento en la mezcla. (Ammari, Bouassria, Cherraj, Bouabid, & Charif D'ouazzane, 2017). A los 30 días las muestras ya se encuentran cerca o por encima del valor mínimo (1,3 N/mm<sup>2</sup>) que establece la normativa española para resistencia a la compresión. Los bloques obtienen mejores resultados a los 60 días posteriores a su fabricación, en el tramo entre los 60 y 90 días el incremento es despreciable y en algunas muestras se

determina un valor menor que a los 60 días, entendiéndose que en esta etapa los bloques se encuentran secos (Figura 16) A los 90 días la muestra TC5 registra un valor promedio de 2,93N/mm<sup>2</sup>, mientras que TC10 3,48N/mm<sup>2</sup> y 6,28N/mm<sup>2</sup> para la muestra TC15, es decir se dio un incremento del 18% con el aumento de 5% de cemento entre TC5 y TC10 y un incremento de 80% entre TC10 y TC15.

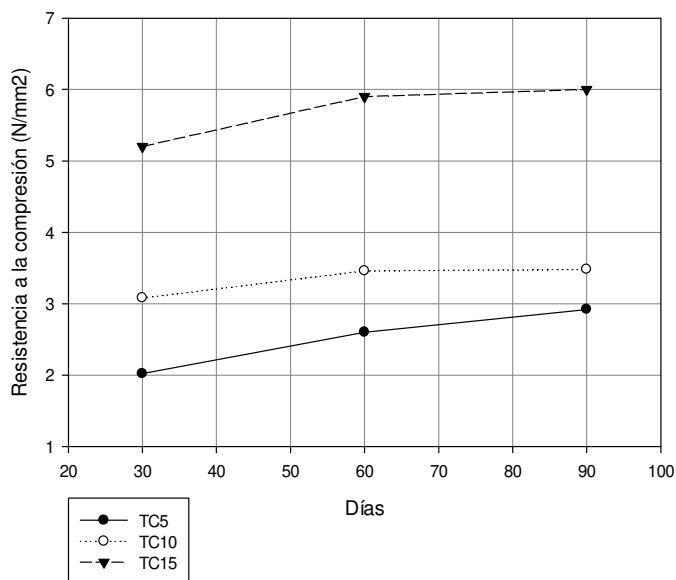


Figura 16 Resistencia a la compresión de grupo TC en función de los días de curado. Elaboración propia.

En el análisis en húmedo, las muestras TC5 se disgregaron dentro del agua y no se pudo realizar el ensayo, por lo que no se obtuvo valores. Las muestras TC10 alcanzaron un valor promedio de 0,58N/mm<sup>2</sup> y TC15 1,90N/mm<sup>2</sup> (Figura 17).

En base a estos resultados se optó por utilizar la mezcla TC10 para la fabricación de los grupos estabilizados con fibras vegetales, considerando que solo un 5% de cemento en la mezcla no obtuvo buenos resultados en el ensayo de resistencia en húmedo. Al contrario de TC15, que posee buenos resultados, pero se estima que 15% de cemento a la mezcla es un porcentaje

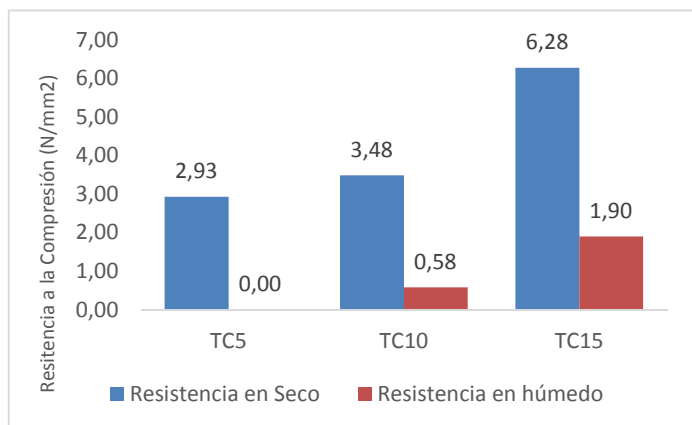


Figura 17 Resistencia a la compresión simple de grupo TC a los 90 días de curado. Elaboración propia.

alto (Mejía Pacheco, 2018), además que afectaría también a la energía incorporada del material.

Sobre los grupos TCA, TCB y TCR en sus diferentes proporciones, se puede afirmar que los tres grupos obtienen valores dentro del rango determinado en la normativa española para ensayos en seco. En la Figura 18 se aprecia la curva que se forma en función de los días de realización de los ensayos de resistencia, con un incremento considerable entre los 30 y 60 días, para luego mantenerse o disminuir en ciertos casos el valor a los 90 días. Así, en el caso de los TCR1 presentaron un valor promedio de 6,42N/mm<sup>2</sup>, TCR2 a 6,78N/mm<sup>2</sup> y TCR3 6,25N/mm<sup>2</sup>, es decir un incremento de 5% entre 1 y 2% de fibra, y una disminución entre 2 y 3% de fibra de 8%. Las muestras además reaccionan mejor al ensayo, disgregándose en sus aristas mas no presentan desmoronamientos graves (Figura 19). A los 90 días se puede aseverar que la mejor dosificación de fibras vegetales se presenta cuando se incluye un 2% a la mezcla seca. En la mezcla con viruta de madera, los valores a los 90 días

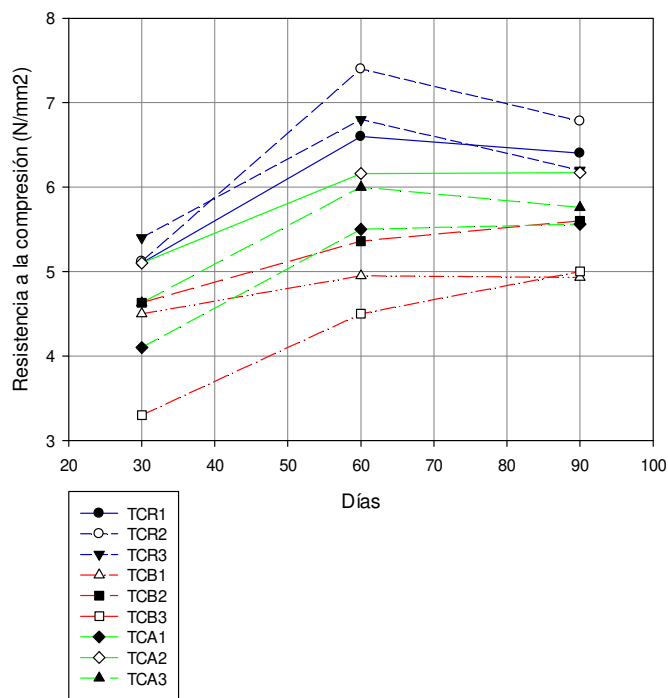


Figura 18 Resistencia a la compresión de grupos TCA, TCR y TCB a los 30, 60 y 90 días. Elaboración propia.



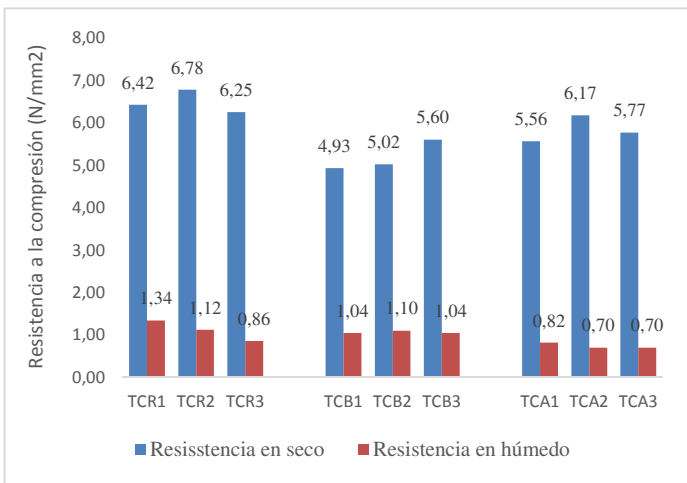
Figura 19 Bloques con fibras vegetales luego del ensayo de resistencia a la compresión. Fuente: Autor

fueron para el TCA1 de 5,56N/mm<sup>2</sup>, TCA2 de 6,17 N/mm<sup>2</sup> y TCA3 de 5,77 N/mm<sup>2</sup>.

El ensayo de resistencia en húmedo para estos grupos determinó que los bloques poseen una baja resistencia frente al agua, similar al grupo estabilizado con cemento, en este caso la mezcla TCR también posee valores altos en sus dosificaciones TCR1 (1,34N/mm<sup>2</sup>) y TCR2 ( 1,12N/mm<sup>2</sup>), la mezcla TCR3 no logró superar el mínimo (0,86N/mm<sup>2</sup>); el subgrupo TCB alcanzó superar o mantener el mínimo requerido en sus tres dosificaciones, y en el caso de los bloques TCA, ninguna de las tres dosificaciones logró llegar al valor de 1N/mm<sup>2</sup>, pues se obtuvo en el caso de TCA1 0,82N/mm<sup>2</sup>, TCA2 y TCA3 un valor de 0,70N/mm<sup>2</sup>. Al comparar los valores obtenidos de resistencia en estado seco y húmedo podemos apreciar al agua como el principal factor de debilitamiento de los bloques (Figura 20).

ensayos en seco, como se aprecia en la *Figura 21*. Los valores promedio más altos se dieron en la mezcla TR2, que obtuvo 1.94N/mm<sup>2</sup> a los 30 días, 2,2N/mm<sup>2</sup> a los 60 días y ,35N/mm<sup>2</sup> a los 90 días.

No se pudo determinar valores para la resistencia en húmedo debido a que las muestras no lograron permanecer consistentes dentro del agua, desprendiéndose parcial o totalmente antes del ensayo, como se muestra en la *Figura 22*.

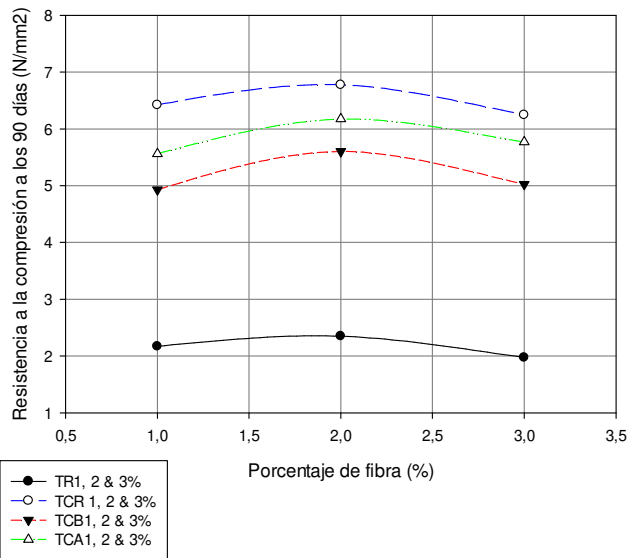


*Figura 22 Bloques TR1 y TR2 previo al ensayo de resistencia a la compresión en húmedo. Fuente: Autor*

Para todos los grupos estabilizados con fibras vegetales, el incremento del 1 al 2% de adición aumentó la resistencia a la compresión, sin embargo, al incrementar este porcentaje al 3% disminuyeron los valores de la misma, como se aprecia en la *Figura 23*.

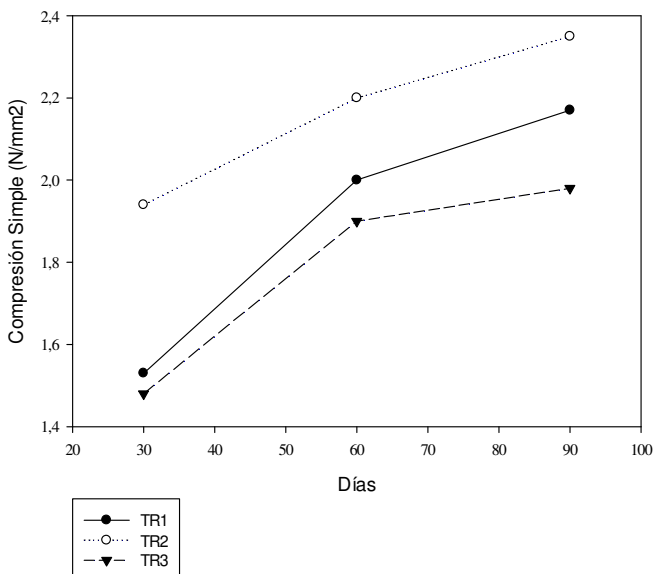
*Figura 20 Resistencia a la compresión de grupos TCR, TCA, y TCB realizados a los 90 días de curado, en estado seco y húmedo. Fuente: Autor.*

Los valores del grupo TR son mucho menores a los anteriores, sin embargo, se puede rescatar que se acercan al mínimo establecido en la norma española UNE 41410 de 1,3N/mm<sup>2</sup> para



*Figura 23 Resistencia a la compresión de grupos en función del porcentaje de fibra adicionado. Fuente: Autor*

La adición de fibras vegetales ha mejorado a resistencia de los bloques (Figura 24). Las mezclas TCR, TCA y TCB lograron aumentos significativos en relación a la mezcla TC10, teniendo en cuenta que todas estas mezclas poseen un 10% de adición de cemento a la mezcla. Si se compara al bloque TC10 con los bloques con fibras adicionados en un 2%, que fueron los que mejor resistencia obtuvieron en sus subgrupos, se puede notar un aumento del 94% para el caso de TCR2, 77% en TCA2 y 62% para TCB2 en el ensayo a los 90 días.



*Figura 21 Resistencia a la compresión de grupos TR en función de los días de curado. Elaboración propia.*



Resistencia a la Compresión

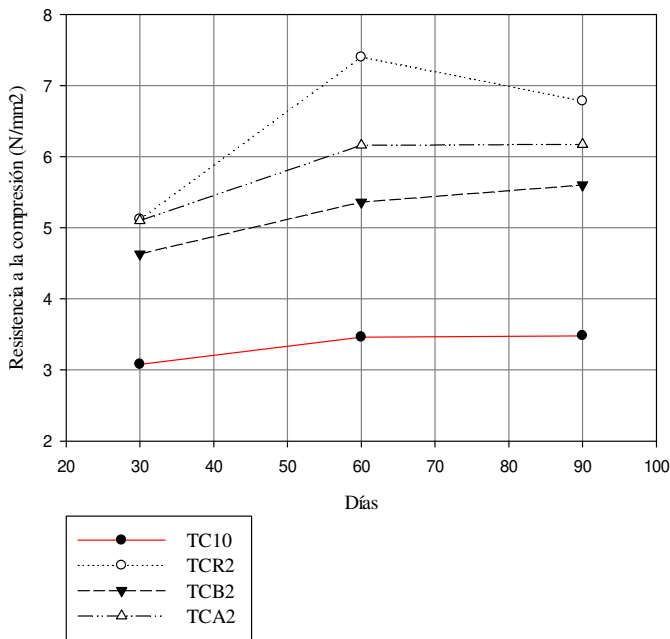


Figura 24 Comparación de la resistencia a la compresión entre mezcla con cemento y mezclas adicionadas cemento y fibras vegetales a los 30,60 y 90 días. Elaboración propia.

### 5.3. RESULTADOS DE ENSAYOS DE CONDUCTIVIDAD MEDIANTE EL MÉTODO DE LA PLACA CALIENTE

Se obtuvo los valores de conductividad térmica en base a la Norma ISO 8302 y resistencia térmica de las mezclas TC10, TC15, TCB, TCA y TCR. Sobre la mezcla TCR, el incremento de cascarilla de arroz del 1 al 2% logró bajar la conductividad térmica en un 17%, y un 26% al aumentar al 3% el porcentaje en la mezcla. En el subgrupo TCB, el aumento del 1 al 2% no logró disminuir la conductividad, no así al aumentar el porcentaje al 3%, el cual logró una disminución del 17% con respecto al bloque con 1% (Figura 25).

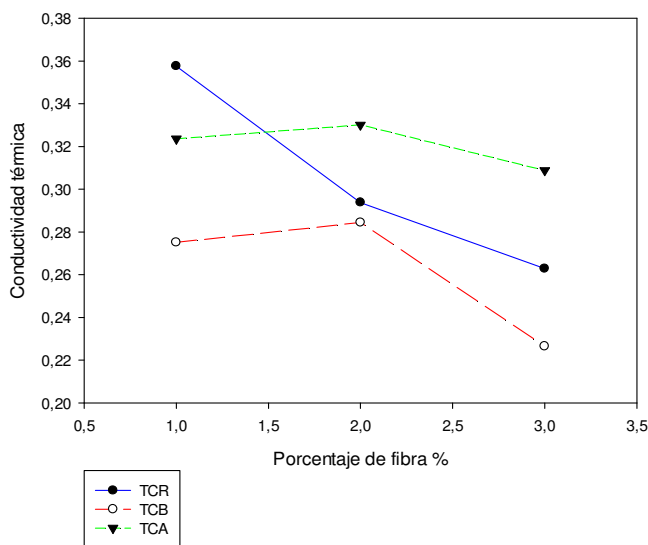


Figura 25 Valores de conductividad térmica en función del porcentaje de fibra adicionado. Elaboración propia.

Las muestras estabilizadas con viruta de madera (TCA) obtuvieron valores muy similares, al igual que con el bagazo, no existe una disminución en la conductividad térmica al aumentar del 1 al 2% la fibra, pero si con respecto a la mezcla del 3%, la cual baja en un 4% con relación a la primera. Los valores resultantes se encuentran en la tabla 8.

Tabla 8. Resultados Ensayo Conductividad Térmica

Nombre	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Conductividad Térmica (W/m <sup>°K</sup> )	Resistencia Térmica (m <sup>2</sup> °K/W)
TC5	-----	-----	-----
TC10	1574	0,35	0,40
TC15	1562	0,34	0,41
TCR1	1591	<b>0,36</b>	0,39
TCR2	1524	0,29	0,48
TCR3	1418	0,26	0,53
TCB1	1465	0,28	0,51
TCB2	1454	0,28	0,49
TCB3	1427	<b>0,23</b>	0,62
TCA1	1543	0,32	0,43
TCA2	1535	0,33	0,42
TCA3	1534	0,31	0,45

Nota. Elaboración propia. Fuente: Resultados obtenidos en el Laboratorio de Ensayos Térmicos en Materiales y Elementos de Construcción de la ESPOL

Se esperaba que el aumento de fibras en la mezcla disminuyera la conductividad térmica. (Ashour et al., 2015a), sin embargo esto solo sucedió en los bloques TCR. En los casos de los bloques TCB y TBA, se puede suponer entre otros aspectos, el hecho de la mezcla y prensado manual de los bloques, por lo que también se analizó la conductividad en función de la densidad aparente, como se muestra en la Figura 26, en la que se puede apreciar que, a mayor densidad, mayor es el valor de la conductividad térmica.

Relación Densidad / Conductividad Térmica

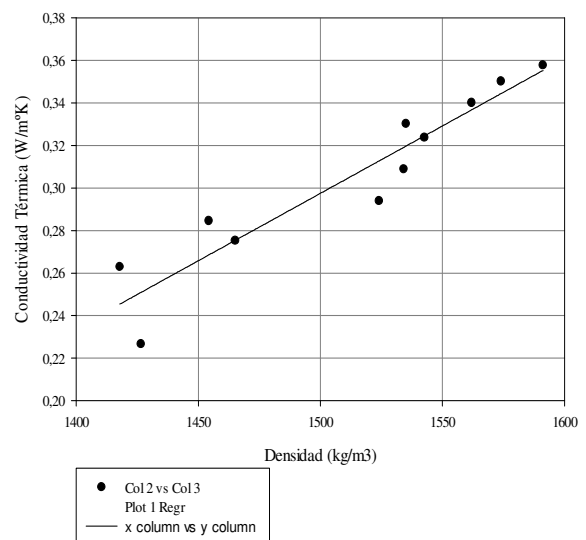


Figura 26 Conductividad térmica en función de la densidad. Elaboración propia.



(Mansour et al., 2016). Entre los tres subgrupos, la mezcla TCB es la que posee los valores más bajos de conductividad térmica.

El incremento de cemento a la mezcla también aumentó la conductividad térmica del bloque, similar al estudio Sindanne, Ntamack, Sanga, Moubeke, & Sallaboui (2014), con lo que la resistencia térmica disminuye y, consecuentemente la propiedad de aislamiento térmico también. La mayoría de las nueve mezclas que contienen fibras vegetales poseen una menor conductividad térmica y por lo tanto mayor resistencia térmica que los bloques TC10 y TC15 (excepto la mezcla TCR1) los cuales no poseen ningún porcentaje de fibra en su mezcla, como se aprecia en la Figura 27.

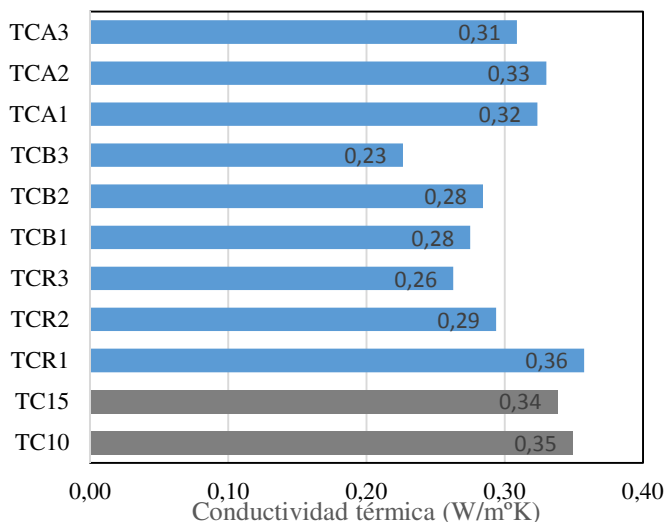


Figura 27 Valores de conductividad térmica de BTC. Elaboración propia

#### 5.4. ENERGÍA INCORPORADA Y EMISIONES DE CO2

Para el estudio se realizó una revisión de estudios que presentan inventarios de ciclo de vida, analizando brevemente los diferentes pasos dentro del proceso de fabricación del BTC.

**Extracción:** El proceso de extracción puede darse con herramientas menores o con excavadora, además depende si el lugar de extracción será el mismo lugar de construcción o se trata de una mina, lo que repercutiría posteriormente en el proceso de transporte de la materia prima.

**Transporte de la materia prima:** Considerando que el BTC se fabrica con tierra del lugar de emplazamiento, no produciría entradas ni salidas. El cemento para la estabilización se encuentra en centros de acopio como ferreterías, por lo que se puede estimar un radio de 5km a la redonda para su obtención. La mayor entrada la generarían el transporte de las fibras vegetales al sitio, el mismo debe escogerse según el sitio de emplazamiento de la obra y según su disponibilidad en la región (Barbeta, 2002), en el caso de la ciudad de Cuenca, el que menos producción de energía tendría debido al transporte sería la viruta de madera, que se puede encontrar en fábricas de pequeña y mediana escala en un radio menor a 20km. Si bien la cascarilla y el bagazo se pueden

encontrar de venta en la ciudad a un costo económico, éste ha sido transportado dentro de un radio no menor a 70km.

**Mezclado:** El mezclado se lo realiza de forma manual, sin ningún tipo de maquinaria. Para la producción de BTC, se podría utilizar maquinaria como tolva, tamiz vibrador.

**Prensado:** la fabricación del bloque se realiza en una prensa tipo CINVA-RAM (Figura 28), misma que no consume energía pues su funcionamiento es manual. En el caso de la utilización de maquinaria hidráulica para la producción, se debe estimar la cantidad de combustible que la misma utilice.



Figura 28 Máquina tipo CINVA-RAM fabricada para la producción manual de BTC. Fuente: Autor

**Curado:** Este proceso no genera carga ambiental pues se lo realiza regando con agua durante 5 a 8 días y posterior a eso se almacena el producto.

En la Tabla 9 se encuentran los valores obtenidos para el BTC según (Figuerola, 2012) mediante el método de cuna a puerta, los que cuales son de 1,03MJ/u de energía incorporada, mientras que la emisión de CO2 el valor es de 0,05 kg CO2 /u para un BTC de fabricación manual, lo que en comparación al ladrillo *tochano* que posee 9,34MJ/u y 1,69kgCO2/u (Venegas Tomalá, 2018) y al bloque de pómez 26,33 MJ/u y 2,09kgCO2/u posee una energía incorporada y emisiones de CO2 mucho menores, en el caso del ladrillo debido principalmente a la quema en horno, y el bloque por los materiales utilizados como el cemento.

Tabla 9. Energía incorporada y emisiones de CO2 de materiales

Material	Energía Incorporada MJ/u	Emisiones CO2 kg CO2 /u	Fuente
BTC	1,03	0,05	2
Bloque de pómez	26,33	2,09	3
Ladrillo Tochano	9,34	1,69	4
Ladrillo Tochano	9,33	1,041	5

Fuente: (2) Figuerola (2012); Pinos (3) Urgilés (2017); (4) Alvear & Palomeque (2017); (5) Venegas, (2018)

### 5.5. COMPARACIÓN DE VALORES TÉRMICOS OBTENIDOS CON OTROS MAMPUESTOS

La conductividad térmica obtenida para los grupos TCA, TCR, TCB se encuentra en el rango de 0,23-0,36 W/m<sup>2</sup>K, con un promedio de 0,30 W/m<sup>2</sup>K, lo que en comparación con el valor del ladrillo (0,85 W/m<sup>2</sup>K), bloque de hormigón (0,49 W/m<sup>2</sup>K) se comprueba que el BTC posee valores más bajos, y por ende su resistencia térmica será mayor, (ver *tabla 10*). En el caso del valor para el bloque de piedra pómez (0,27 W/m<sup>2</sup>K), el mismo posee un valor más bajo que el promedio de los valores de BTC (0,30 W/m<sup>2</sup>K).

Tabla 10. Conductividad térmica de materiales

Nombre	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Conductividad (W/m <sup>2</sup> K)	Referencia
madera OSB	---	0,12	2
pino	---	0,14	1
ladrillo	1500	0,85	1
ladrillo hueco	1200	0,49	1
adobe	1600	0,95	1
adobe	1280	0,58	1
barro	750	0,2	3
bloque de pómez	---	0,27	2
bloque de concreto	1040	0,52	1
bloque hueco de hormigón	1200	0,49	1

Fuente: (1) NEC-HS-EE, (2) Hidalgo (2018), (3) Minke (2006).

Se han encontrado valores referenciales de transmitancia térmica (*U*) para mampostería en MIDUVI (2018). Además, Hidalgo (2018) obtiene valores para mampostería mediante el método de la placa caliente. En el caso de los valores calculados para los BTC de esta investigación (2,50 W/m<sup>2</sup>K para BTC estabilizado con cemento, 2,1 W/m<sup>2</sup>K para BTC estabilizado con cemento y cascarilla de arroz, 2,03 W/m<sup>2</sup>K para BTC estabilizado con cemento y bagazo de caña, 2,36 W/m<sup>2</sup>K para BTC estabilizado con cemento y viruta de madera) sin ningún tipo de revestimiento exterior o interior, posee valores similares a una pared de adobe sin revestimientos (2,26 W/m<sup>2</sup>K), valores menores a paredes de ladrillo sin revestimientos (2,79 W/m<sup>2</sup>K) y ladrillo con revestimientos (2,55 W/m<sup>2</sup>K), y valores mayores en comparación con la pared de bloque enlucida en ambas caras (1,71 W/m<sup>2</sup>K) (*Tabla 11*).

Estos valores se pueden mejorar con la adición de capas sean éstas internas o externas a la tabiquería, por ejemplo enlucido o placas de madera prefabricada, como OSB o gypsum, que pueden generar un confort térmico mucho mejor, pero a costos más elevados.

En la *figura 29* se puede observar los valores calculados en la investigación y los encontrados en la bibliografía. Los valores del ladrillo resultan más altos que los otros mampuestos, mientras que el bloque de pómez posee el valor más bajo. Para mejorar este *valor U* se puede plantear el adiconamiento de capas a la pared que disminuyan la transmitancia térmica, con recubrimientos exteriores o interiores que sigan la misma directriz de los BTC, es decir de fácil disponibilidad en la región, con menor impacto ambiental; a su vez el confort interior, se debe trazar partiendo de un diseño con estrategias pasivas, con la

Tabla 11. Valores calculados de transmitancia térmica y valores obtenidos de la bibliografía

Nombre		espesor (mm)	Conductividad Térmica (W/m <sup>2</sup> K)	Transmitancia térmica (U) (W/m <sup>2</sup> °K)	Fuente
BTC estabilizado con cemento	TC10	14	0,35	2,50	1
BTC estabilizado con cemento y cascarilla	TCR2	14	0,29	2,10	1
BTC estabilizado con cemento y bagazo de caña	TCB2	14	0,28	2,03	1
BTC estabilizado con cemento y viruta de madera	TCA2	14	0,33	2,36	1
Adobe sin revestimientos	Adobe	30	0,76	2,26	2
ladrillo sin revestimientos	ladrillo	15	0,72	2,79	2
bloque de piedra pómez con enlucido	enlucido	20	0,465	1,71	3
	bloque de pómez enlucido	90	0,273		
ladrillo con revestimientos	enlucido exterior	1	0,50	2,55	2
	ladrillo	15	0,72		
	enlucido interior	1	0,72		
bloque de concreto	enlucido exterior	1	0,50	2,35	2
	bloque de concreto enlucido interior	15	0,62		
		1	0,72		

Fuente: (1) Elaboración propia, (2) NEC-HS-EE, (3) Hidalgo (2018)

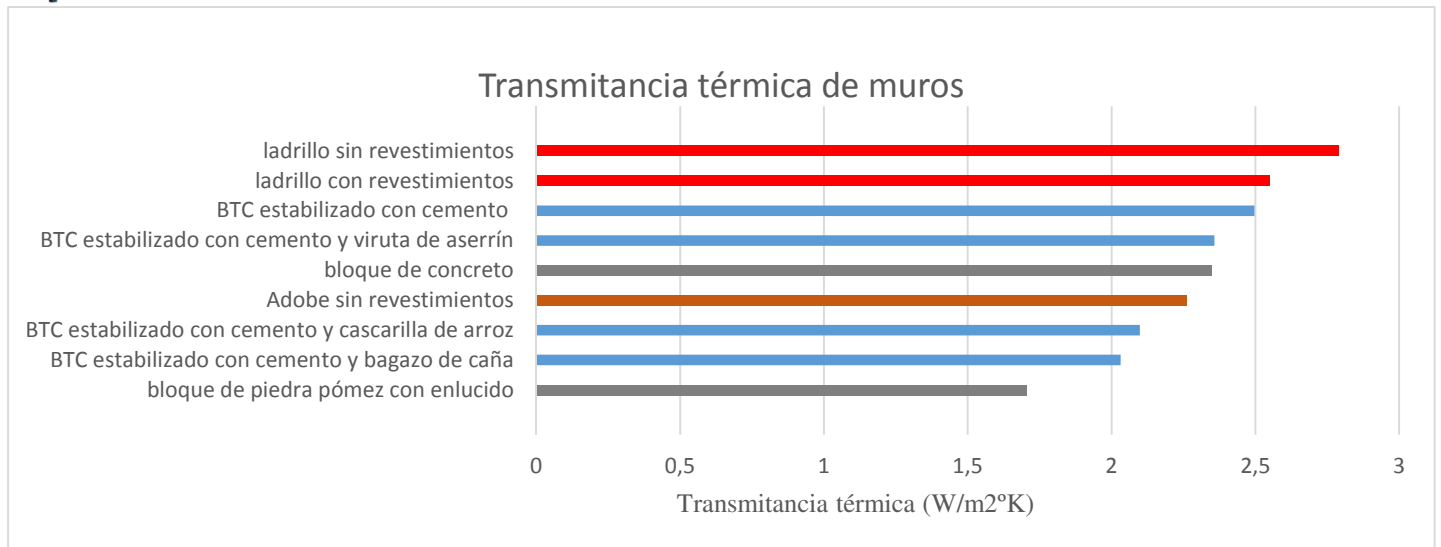


Figura 29 Transmitancia térmica de muros. Fuente: NEC-HS-EE, Hidalgo (2018), elaboración propia.

utilización óptima de los materiales no solo en paredes sino en toda la envolvente de la construcción.

## 6. CONCLUSIÓN

Se ha investigado sobre el proceso de fabricación del BTC en libros, normativas y manuales de construcción en tierra cruda, se puede afirmar que la bibliografía es variada, y no es estandarizada en cuanto a métodos, ensayos de las tierras, valores de resistencia a la compresión, procedimiento para la ruptura de los bloques, valores térmicos y análisis de ciclo de vida para BTC.

En base al análisis y ensayos tanto de campo como de laboratorio, se ha logrado encontrar un suelo apto para la fabricación de los bloques, comparando parámetros empíricos mediante ensayos de campo y análisis de laboratorio, como granulometría, límite líquido, índice plástico, compactación. Las tierras analizadas presentan características únicas, las mismas podrían utilizarse y mejorarse mediante la estabilización ya sea esta física o química.

Con la tierra *Racar* se han fabricado BTC en diferentes mezclas, estabilizados con cemento y también con fibras vegetales provenientes de residuos de la industria agrícola y maderera, sometiéndolos primero al ensayo de resistencia a la compresión simple, el cual ha determinado que todos los bloques se encuentran cerca del mínimo exigido en la norma española UNE 41410, llegando en algunos casos puntuales a superar el valor máximo estandarizado. El mismo ensayo fue realizado en húmedo, lo que ha expuesto que el principal problema de los BTC son su relación con el agua, pues al grupo TR no se pudo realizar el ensayo de resistencia, el grupo TCB no alcanzó el valor mínimo permitido, mientras que los otros grupos TC, TCR, y TCA superaron por muy poco los valores determinados en la norma (1,3N/mm<sup>2</sup>).

Como segundo punto se ha realizado el ensayo mediante el método de la placa caliente, el cual nos ha proporcionado los valores de la conductividad y resistencia térmica del material,

mismos que sirve como punto de partida para encontrar el valor de la transmitancia térmica o *valor U* de un muro de BTC.

Se han comparado los resultados de ambos ensayos entre los diferentes grupos:

- Los BTC fabricados con tierra sin ningún tipo de estabilización posee una resistencia a la compresión que cumple con los valores mínimos permitidos en la norma española, sin embargo, no pudo realizarse el ensayo en húmedo, por lo que no son recomendables para su producción, al menos con la presión ejercida en prensa manual y el tipo de tierra utilizada.
- Los BTC mejoran su resistencia mecánica mediante la estabilización con cemento, aumentando su resistencia a medida que se incrementa el porcentaje de estabilizante a la mezcla.
- Los BTC mejoran su resistencia a la compresión al estabilizar también la mezcla con fibras vegetales, obteniendo los mejores valores cuando se adiciona un 2%, seguido de un 1% y finalmente, los valores más bajos cuando se ha agregado un 3% a la mezcla seca, sin importar el tipo de fibra adicionada.
- Los BTC estabilizados con cemento y cascarilla de arroz obtuvieron los mejores valores en resistencia a la compresión, esto puede deberse a la uniformidad de las fibras, lo que repercute también en homogeneidad de la mezcla. Estos bloques obtuvieron valores iguales o cercanos a la normativa en cuanto a la resistencia a la compresión en estado húmedo, por lo que es uno de los puntos débiles de este material.
- Los BTC que han sido estabilizados con fibras vegetales y cemento, presentan una menor conductividad térmica que los que se agregaron solo cemento, así mismo su resistencia térmica es mayor.
- Los BTC en promedio presentan un valor de conductividad térmica menor al ladrillo y adobe, pero mayor al bloque de pómez encontrado en la bibliografía.



- Los valores de conductividad térmica se encuentran en función de la densidad del bloque, a mayor densidad mayor es la conductividad térmica.
- La transmitancia térmica o valor U de una pared construida con BTC de 14cm de ancho puede llegar a obtener valores menores que una pared de ladrillo enlucida.
- La transmitancia térmica o valor U depende de las capas que contenga la pared, por lo que si se adicionan capas sean éstas exteriores o interiores como paneles prefabricados o aislantes, se puede obtener una mejora sustancial en el confort interior, sin embargo, esto generaría un costo más elevado de la construcción.
- La energía incorporada de los BTC es mínima a lo largo de su fabricación, pues en sus diferentes etapas como extracción, obtención del material en sitio, prensado manual y la poca contaminación al momento de su fabricación, hacen que posea una menor energía incorporada y emisión de CO<sub>2</sub> que las piezas más representativas del mercado como el ladrillo y el bloque de pómez.

Se responde a la hipótesis de que efectivamente los BTC son un material sustentable desde el punto de vista térmico, pues posee mejores valores que el ladrillo artesanal, con lo que, acoplado a una buena estrategia bioclimática, podría mejorar las condiciones de confort interior en las construcciones; desde el punto de vista energético, se podría afirmar que la fabricación del bloque generada in situ con maquinaria manual presenta una menor cantidad de energía incorporada que la producción de los otros mampuestos, con lo que se considera un proceso con menor daño al medio ambiente.

### 7. RECOMENDACIONES

Los análisis visuales y de campo efectuado a los suelos dan una pauta inicial, sin embargo, si no existe la experiencia necesaria puede llegar a generar datos erróneos que necesitan comprobarse con los ensayos de laboratorio.

La consistencia y densidad de los bloques depende de la máquina a utilizar, en el caso de este estudio, la maquinaria fue fabricada artesanalmente, y la presión ejercida sobre la misma es de tipo manual, por lo que factores como la fuerza ejercida por el personal, los cálculos de volumen de material *in situ* y un mal mantenimiento de la máquina puede generar una variación en las dimensiones requeridas o normalizadas pre establecidas y por ende, en sus características posteriores.

Para la fabricación de los bloques en obra se recomienda realizar la dosificación en relación al volumen (similar a la dosificación en obra a la del hormigón), pues al tratarse de un sistema constructivo que no requiere mano de obra calificada puede tender al error si no se realiza de la manera correcta.

La manejabilidad de las fibras vegetales depende de cuan homogéneas son las fibras, pues en el caso de la cascarilla y la

viruta de madera son materiales que no requieren tamizaje pues sus dimensiones no varían, no así el bagazo de caña, el cual se debe separar con tamizaje o trituración, pues las dimensiones varían considerablemente.

Se debe considerar también la disposición de las fibras en las muestras, pues esto puede influir en los ensayos de compresión, principalmente en las fibras de bagazo que posee dimensiones variadas y heterogéneas, no así las otras dos fibras.

Los valores térmicos son escasos en la bibliografía, y dentro del país no existen datos por lo que sirven como punto de partida para el cálculo de otros como la transmitancia térmica para tabiquerías, los cuales contengan dentro de su sistema constructivo al bloque de tierra compactada.

### AGRADECIMIENTOS

A mi esposa, mis padres y hermanos, por toda la confianza y apoyo a mi persona a lo largo de este proyecto. Al personal docente de la Maestría de Arquitectura Bioclimática y la Universidad de Cuenca, en especial al Arq. Marcelo Vázquez, Subdecano de la Universidad y Director de esta investigación, así como a los docentes lectores de revisión de la misma, por sus valiosos aportes.

Se reconoce la participación del Laboratorio de Suelos de la Universidad del Azuay, dirigido por el Sr. Ramiro Bautista, así como al Laboratorio de Ensayos Térmicos en Materiales y elementos de la Construcción "LABET" y su analista Ing. José Macías. A la persona encargada del diseño y fabricación de la máquina utilizada en este estudio.

**Dedicado a mis hijos, José y Juan.**

### 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AENOR. (2008). UNE 41410.

Aguilar, D., Cárdenas, R., Quezada, R., Sarmiento, I., & Cárdenas, A. (2018). Comparación de parámetros físicos y mecánicos entre el adobe y el tapial en el austro del Ecuador, *14*, 268–279.

Alvear, P., & Palomeque, R. (2017). *Análisis del Inventario de Ciclo de Vida del Ladrillo utilizado en la ciudad de Cuenca*.

Ammari, A., Bouassria, K., Cherraj, M., Bouabid, H., & Charif D'ouazzane, S. (2017). Combined effect of mineralogy and granular texture on the technico-economic optimum of the adobe and compressed earth blocks. *Case Studies in Construction Materials*, *7*(April), 240–248. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2017.08.004>

Arteaga, K., Medina, H., & Gutierrez, O. (2011). Bloque de tierra comprimida como material constructivo Compressed earth blocks, as construction material, *20*(31), 55–68.





- Ashour, T., Korjenic, A., Korjenic, S., & Wu, W. (2015a). Thermal conductivity of unfired earth bricks reinforced by agricultural wastes with cement and gypsum. *Energy and Buildings*, 104, 139–146. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.016>
- Ashour, T., Korjenic, A., Korjenic, S., & Wu, W. (2015b). Thermal conductivity of unfired earth bricks reinforced by agricultural wastes with cement and gypsum. *Energy and Buildings*, 104, 139–146. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.016>
- Barbeta, G. (2002). Vía experimental arquitectónica . Proyectos ecobioconstructivos sostenibles con tierra estabilizada en España.
- Buñay, W., Guzmán, P., & Monsalve, G. (1991). Alternativa para la construcción mediante el uso de bloques tierra serrín cemento.pdf.
- Cabo, M. (2011). Ladrillo Ecológico como material sostenible para la construcción.
- Carcedo Fernández, M. (2012). Resistencia a compresión de bloques de tierra comprimida estabilizada con materiales de sílice de diferente tamaño de partícula.
- Cid, J., Mazarrón, F. R., & Cañas, I. (2011). Las normativas de construcción con tierra en el mundo. *Informes de La Construcción*, 63(523), 159–169. <https://doi.org/10.3989/ic.10.011>
- Craterre. (1979). Construire en terre.
- Cuitiño, G., Esteves, A., Maldonado, G., & Rotondaro, R. (2015). Analysis of thermal transmittance and resistance to soft shock in wattle walls. *Informes de La Construcción*, 67(537), 1–11. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.3989/ic.12.082>
- Danso, H., Martinson, D. B., Ali, M., & Williams, J. B. (2015). Construcción y Materiales de Construcción reforzado con fibras naturales, 101, 797–809.
- Ferreira da Silva, L. C. (n.d.). Análise Das Propriedades Mecânicas E Térmicas De Tijolos Solo-Cimento Com E Sem Adição Do Pó Da Fibra.
- Figueroa, J. M. (2012). Analisis de ciclo de vida de bloques de tierra comprimida.
- Galindez, F. (2009). Bloques de tierra comprimida sin adición de cemento.
- Guzmán, D., & Iñiguez, M. (2015). Estudio de una propuesta de mejoramiento del sistema constructivo adobe, 1–93.
- Hidalgo, E. (2018). Arquitectura bioclimática en el páramo andino de Ecuador : mejora térmica-energética de materiales como envolvente en la vivienda social.
- ICONTEC. (2005). NTC 5324.
- INEC. (2014). Anuario de estadísticas de edificaciones 2014.
- Inen. (1982). Norma Técnica Mecánica de Suelos Método de Casa Grande. *Inen*, 1–14.
- INEN. (1982). NTE INEN 0692: Mecánica de suelos. Determinación del límite plástico, 0692.
- INEN. (2010). NTE INEN 0697, 2567(200). Retrieved from <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0697.2010.pdf>
- INEN. (2011). NTE INEN 0696, 0696.
- INPC. (2015). Orientaciones para la conservación de inmuebles patrimoniales de tierra en Cuenca.
- James, J., Pandian, P. K., Deepika, K., Manikanda Venkatesh, J., Manikandan, V., & Manikumaran, P. (2016). Cement stabilized soil blocks admixed with sugarcane bagasse ash. *Journal of Engineering (United States)*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/7940239>
- Jiménez Delgado, M. C., & Guerrero, I. C. (2007). The selection of soils for unstabilised earth building: A normative review. *Construction and Building Materials*, 21(2), 237–251. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.08.006>
- Kinuthia, J. M. (2014). *The durability of compressed earth-based masonry blocks. Eco-efficient Masonry Bricks and Blocks: Design, Properties and Durability*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-305-8.00018-8>
- Lima, S. A., Varum, H., Sales, A., & Neto, V. F. (2012). Analysis of the mechanical properties of compressed earth block masonry using the sugarcane bagasse ash. *Construction and Building Materials*, 35, 829–837. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.127>
- Mansour, M. Ben, Jelidi, A., Cherif, A. S., & Jabrallah, S. Ben. (2016). Optimizing thermal and mechanical performance of compressed earth blocks (CEB). *Construction and Building Materials*, 104, 44–51. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.024>
- Martinez, I. (2012). Hacia la determinación de la viabilidad ambiental de los sistemas constructivos : el caso de los BTC en la zona central de la República mexicana \*, 25, 248–257.
- Martins Neves, C. M., & Faria, O. (2011). *Técnicas de construcción con tierra*. Retrieved from <http://www.redproterra.org/>
- Mejía Pacheco, P. (2018). *Bloques de tierra comprimida con agregados de residuos de construcción y demolición como sustitución de los agregados tradicionales en la ciudad de Saraguro, Loja, Ecuador*.
- Mesbah, A., Morel, J. C., Walker, P., & Ghavami, K. (2004). Development of a Direct Tensile Test for Compacted Earth Blocks Reinforced with Natural Fibers. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 16(1), 95–98. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0899-1561\(2004\)16:1\(95\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0899-1561(2004)16:1(95))
- MIDUVI. (2014). *NEC-SE-VIVIENDA*.



- MIDUVI. (2018). *NEC-HS-EE*.
- Milani, A. P. da S., & Freire, W. J. (2008). Avaliação física , mecânica e térmica de misturas de solo-cimento adicionadas de cinza de casca de arroz sem atividade pozzolânica Physical , mechanical and thermal evaluation of mixtures soil- cement added of rice husk ash without pozzolanic effect. *Teoria e Prática Na Engenharia Civil, 11*, 23–30.
- Minke, G. (2005). Manual de construcción en tierra.
- Minke, G. (2014). Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra. *Manual de Construcción Para Viviendas Antisísmicas de Tierra, 1*, 52.
- Mostafa, M., & Uddin, N. (2016). Experimental analysis of Compressed Earth Block (CEB) with banana fibers resisting flexural and compression forces. *Case Studies in Construction Materials, 5*, 53–63. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2016.07.001>
- Ochoa, H. (1994). *Bloques prefabricados en terra cemento*.
- Omar Sore, S., Messan, A., Prud'homme, E., Escadeillas, G., & Tsobnang, F. (2018a). Stabilization of compressed earth blocks (CEBs) by geopolymer binder based on local materials from Burkina Faso. *Construction and Building Materials, 165*, 333–345. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.051>
- Omar Sore, S., Messan, A., Prud'homme, E., Escadeillas, G., & Tsobnang, F. (2018b). Stabilization of compressed earth blocks (CEBs) by geopolymer binder based on local materials from Burkina Faso. *Construction and Building Materials, 165*, 333–345. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.051>
- Piedra, P. (2014). Universidad del azuay.
- Pinos Coronel, A. V. (2015). Evaluación Estructural del efecto del mortero de pega sobre probetas de muro de ladrillo de tierra compactada bajo esfuerzos de compresión axial.
- Pozo, P. (2011). APROVECHAMIENTO DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES ECOLÓGICOS PARA MAMPOSTERÍA LIVIANA.
- Proterra, R. I. (2009). Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra. Retrieved from <http://www.redproterra.org>.
- Proterra, R. I., Neves, C. M. M., Rotondaro, R., & Rotondaro, R. (2009). Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra.
- Rigassi, V. (1995). *Compressed Earth Blocks : Manual of Production. Network (Vol. I)*.
- Roux, R. S., & Gallegos, D. P. (2015). Construcción sustentable, Análisis de retraso térmico a bloques de tierra compactada.
- Sandoval, F. J. (n.d.). Análisis del comportamiento térmico de muros de BTC aplicado a programas de vivienda social y sostenible, 169–178.
- Sindanne, A., Ntamack, Sanga, L., Moubeke, & Sallaboui, K. (2014). Thermophysical characterization of earth blocks stabilized by cement , sawdust and lime, 58–64.
- Taallah, B., Guettala, A., Guettala, S., & Kriker, A. (2014). Mechanical properties and hygrosopicity behavior of compressed earth block filled by date palm fibers. *Construction and Building Materials, 59*, 161–168. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.02.058>
- Toirac Corral, J. (2008). el suelo cemento como material de construcción.
- Venegas Tomalá, A. (2018). Evaluación de la energía contenida, emisiones de CO2 y material particulado en la fabricación del ladrillo semi-mecanizado.
- Yepes, N. O. G., Montoya, C. M. B., & Gómez, J. D. (2012). Hacia un avance ambiental y tecnológico de la construcción con tierra como patrimonio futuro . Del bloque de suelo cemento ( bsc ) al bloque de tierra con geopolímeros ( btg )\*, 25, 240–247.
- Zhang, L., Gustavsen, A., Jelle, B. P., Yang, L., Gao, T., & Wang, Y. (2017). Thermal conductivity of cement stabilized earth blocks. *Construction and Building Materials, 151*, 504–511. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.06.047>



9. ANEXOS

9.1. CARTILLA DE CAMPO

TEST DE CAMPO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LA TIERRA					
NOMBRE DE LA MUESTRA					
UBICACIÓN					
FECHA					
CARACTERIZACIÓN TACTIL - VISUAL					
TAMAÑO					
COLOR					
TEXTURA					
TEST DEL VIDRIO					
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p><b>Clasificación de los suelos</b></p> </div> <div style="font-size: small;"> <ul style="list-style-type: none"> <li style="margin-bottom: 5px;"><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #f08080; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> arcilla</li> <li style="margin-bottom: 5px;"><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #c06040; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> tierra arcillosa</li> <li style="margin-bottom: 5px;"><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #804020; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> tierra</li> <li style="margin-bottom: 5px;"><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #406080; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> limo</li> <li style="margin-bottom: 5px;"><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #404060; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> tierra limosa</li> <li style="margin-bottom: 5px;"><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #6060c0; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> tierra limo-arcillosa</li> <li style="margin-bottom: 5px;"><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #604080; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> limo arcilloso</li> <li style="margin-bottom: 5px;"><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #404040; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> arena</li> <li style="margin-bottom: 5px;"><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #806040; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> tierra arenosa</li> <li style="margin-bottom: 5px;"><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #c08040; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> tierra areno-arcillosa</li> <li style="margin-bottom: 5px;"><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #e08060; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> arena arcillosa</li> </ul> </div> </div>					
arena	%	limo	%	arcilla	%
TEST DE LA CAÍDA DE BOLA					
FORMACION					
TEXTURA					
RESULTADO					
TEST DEL CORDÓN					
FORMACIÓN					
LONGITUD					
TEST DE LA CAÍDA DE BOLA					
FORMACION					
TEXTURA					
RESULTADO					
<b>OBSERVACIONES:</b>					



9.2. ENSAYOS LABORATORIO DE SUELOS UNIVERSIDAD DEL AZUAY

LABORATORIO DE GEOTECNIA						
PROYECTO: TESIS JUAN JOSE ZENTENO			USO:			
SECTOR: BAGUANCHI			MUESTRA:		REALIZADO: Ramiro Bautista	
ABSCISA:			PROFUNDIDAD:		FECHA: 23 de marzo de 2017	
ENSAYOS DE CLASIFICACION						
GRANULOMETRÍA (ASTM D422)				HUMEDAD NATURAL(ASTM D2216)		
TAMIZ	PESO RETENIDO PARCIAL	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA	% ESPECIFICADO	Ramiro Bautista A
3"						
2 ½"						
2"						
1½"						
1"						
¾"						
½"						
3/8"				100		
Nº4		55	11	(89,0)		
Pasa Nº4		445	(89,0)			
Nº10		62	22	78		
Nº40		96	28	72		
Nº200		140	36	(64,0)		
Pasa Nº200		360	(64,0)			
TOTAL MUESTRA	500					

HUMEDAD NATURAL(ASTM D2216)						
Nº TARRO	NºGOLPES	PESO HUMEDO	PESO SECO	PESO TARRO	% HUMEDAD	% PROMEDIO
---	---	---	---	---	---	---
59		77,4	64,9	6,51	21,41	
144		76,6	64,25	3,24	20,24	20,8

LIMITE LIQUIDO(ASTM D4318)						
Nº	NºGOLPES	PESO HUMEDO	PESO SECO	PESO TARRO	% HUMEDAD	% PROMEDIO
71	42	20,48	16	5,4	42,26	
68	31	26	19,82	5,86	44,27	
10	25	28,74	21,68	6,52	46,57	
63	13	25,08	17,99	3,59	49,24	
---	---	---	---	---	---	45,6

LIMITE PLASTICO(ASTM D4318)						
Nº	NºGOLPES	PESO HUMEDO	PESO SECO	PESO TARRO	% HUMEDAD	% PROMEDIO
60	---	13,14	11,8	7,23	29,32	
69	---	11,64	10,75	7,71	29,28	
120	---	14	12,54	7,36	28,19	28,9

HUMEDAD vs. # DE GOLPES.			
GRAVA	11 %	CUARTEO(PESO)	
ARENA	25 %	ANTES	500 grms
FINOS	64 %	DESPUES	140,4 grms

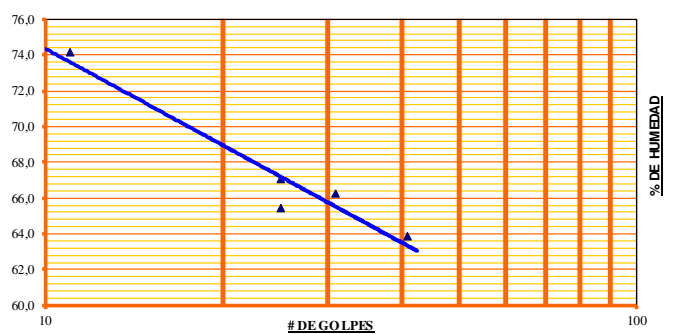
  

COLOR: AMARILLO	
CLASIFICACION: SUCS	
Limo baja plasticidad arenoso con bloques ML	
HAASTHO A-7-6	HUMEDAD NATURAL: 20,83 %
A-7-6 Suelo arcilloso	LIMITE LIQUIDO: 45,62 %
	INDICE PLASTICO: 16,70
	INDICE DE GRUPO: 9,3





<b>LABORATORIO DE GEOTECNIA</b>						
<b>PROYECTO:</b> ARQ. JUAN JOSE ZENTENO		<b>USO:</b> TESIS MAESTRIA				
<b>SECTOR:</b> TARQUI		<b>MUESTRA:</b>		<b>REALIZADO:</b>		
<b>ABSCISA:</b>		<b>PROFUNDIDAD:</b>		<b>FECHA:</b> 26 DE JUNIO 2017		
ENSAYOS DE CLASIFICACION						
GRANULOMETRÍA (ASTM D422)				HUMEDAD NATURAL (ASTM D2216)		
TAMZ	PESO RETENIDO PARCIAL	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA	Ramiro Bautista A	
3"					N° TARRO	N° GOLPES
2 ½"					PESO HÚMEDO	PESO SECO
2"					PESO TARRO	% HUMEDAD
1 ½"		-	-	100	% HUMEDAD	% PROMEDIO
1"		-	-	100	LIMITE LIQUIDO (ASTM D4318)	
¾"		-	-	100	32	42
½"		42	5	95	34	30
3/8"		65	7	93	22	22
N°4		118	13	(86,8)	8	10
Pasa N°4		774	(86,8)		---	---
N°10		365	49	51	LIMITE PLASTICO (ASTM D4318)	
N°40		582	70	30	102	---
N°200		692	81	(19,5)	68	---
Pasa N°200		200	(19,5)		85	---
<b>TOTAL MUESTRA</b>	<b>892</b>				8	7,65
					6,25	25,00
					6,25	<b>24,8</b>
		<b>HUMEDAD vs # DE GOLPES.</b>				
<b>GRAVA</b>	13 %	CUARTEO (PESO)				
<b>ARENA</b>	67 %	ANTES		892	grms	
<b>FINOS</b>	19 %	DESPUES		692	grms	
<b>COLOR:</b> CAFÉ						
<b>CLASIFICACION:</b>						
<b>SUCS</b>						
Arena arcillosa con bloques SC		<b>HUMEDAD NATURAL:</b>		12,40 %		
<b>AASTHO</b>		<b>LIMITE LIQUIDO:</b>		42,82 %		
A-2-7		<b>INDICE PLASTICO:</b>		18,03		
A-2-7 Grava y arena arcillosa o limosa		<b>INDICE DE GRUPO:</b>		0,4		





LABORATORIO DE GEOTECNIA						
PROYECTO: ARQ. JUAN JOSE ZENTENO			USO: TESIS MAESTRIA			
SECTOR: SAYAUSI		MUESTRA:		REALIZADO: RAMIRO BAUTISTA		
ABSCISA:		PROFUNDIDAD:		FECHA: 27 DE JUNIO DE 2017		
ENSAYOS DE CLASIFICACION						
GRANULOMETRÍA (ASTM D422)					HUMEDAD NATURAL (ASTM D2216)	
TAMZ	PESO RETENIDO PARCIAL	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA	% ESPECIFICADO	Ramiro Bautista A.A.
3"						
2 ½"						
2"						
1 ½"						
1"						
¾"						
½"				100		
3/8"			35	4	97	
Nº4		156	16	(84,4)		
Pasa Nº4		844	(84,4)			
Nº10		24	20	80		
Nº40		125	22	78		
Nº200		185	44	(56,0)		
Pasa Nº200		315	(56,0)			
TOTAL MUESTRA	1.000					

HUMEDAD NATURAL (ASTM D2216)						
Nº TARRO	Nº GOLPES	PESO HÚMEDO	PESO SECO	PESO TARRO	% HUMEDAD	% PROMEDIO
---	---	---	---	---	---	
22	---	130,25	115,25	30,25	17,65	
147	---	121,25	104,58	30,14	22,39	20,0

LIMITE LIQUIDO (ASTM D4318)						
Nº TARRO	Nº GOLPES	PESO HÚMEDO	PESO SECO	PESO TARRO	% HUMEDAD	% PROMEDIO
98	43	16,25	13,11	6,15	45,11	
145	32	14,58	11,85	6,14	47,81	
134	22	15,47	12,35	6,25	51,15	
157	14	15,67	12,57	6,74	53,17	
---	---	---	---	---	---	49,3

LIMITE PLASTICO (ASTM D4318)						
Nº TARRO	Nº GOLPES	PESO HÚMEDO	PESO SECO	PESO TARRO	% HUMEDAD	% PROMEDIO
8	---	9,25	8,47	5,98	31,33	
3	---	9,65	8,7	5,64	31,05	
4	---	9,41	8,52	5,74	32,01	31,5

HUMEDAD vs # DE GOLPES.			
GRAVA	16 %	CUARTEO(PESO)	
ARENA	28 %	ANTES	500 grms
FINOS	56 %	DESPUES	185 grms

COLOR: CAFÉ	
CLASIFICACION: SUCS	
Limo baja plasticidad arenoso con bloques ML	HUMEDAD NATURAL: 20,02 %
AASTHO	LIMITE LIQUIDO: 49,34 %
A-7-5	INDICE PLASTICO: 17,88
A-7-5 Suelo arcilloso	INDICE DE GRUPO: 8,3



<b>LABORATORIO DE GEOTECNIA</b>						
<b>PROYECTO:</b> Arq. Juan José Zenteno		<b>USO:</b> Tesis Maestría				
<b>SECTOR:</b> Sinincay		<b>MUESTRA:</b>		<b>REALIZADO:</b> Ramiro Bautista		
<b>ABSCISA:</b>		<b>PROFUNDIDAD:</b>		<b>FECHA:</b> 26 de mayo 2017		
<b>ENSAYOS DE CLASIFICACION</b>						
GRANULOMETRÍA (ASTM D422)				HUMEDAD NATURAL (ASTM D2216)		
TAMZ	PESO RETENIDO PARCIAL	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA	% ESPECIFICADO	Ramiro Bautista A.
3"						
2 ½"						
2"						
1½"			-	-		
1"			-	-		
¾"			-	-		
½"			-	-		
¾"			-	-	100	
N°4		22	4	(95,6)		
Pasa N°4		478	(95,6)			
N°10		24	9	91		
N°40		125	28	72		
N°200		185	40	(60,2)		
Pasa N°200		315	(60,2)			
<b>TOTAL MUESTRA</b>	<b>500</b>					
<b>GRAVA</b>	<b>4 %</b>	<b>CUARTEO (PESO)</b>				
<b>ARENA</b>	<b>35 %</b>	<b>ANTES</b>	<b>500 grms</b>			
<b>FINOS</b>	<b>60 %</b>	<b>DESPUES</b>	<b>185 grms</b>			
<b>COLOR:</b> CAFÉ						
<b>CLASIFICACION:</b>						
<b>SUCS</b>						
Limo alta plasticidad arenoso con bloques MH		<b>HUMEDAD NATURAL:</b>		<b>30,31 %</b>		
<b>AASTHO</b>		<b>LIMITE LIQUIDO:</b>		<b>66,25 %</b>		
A-7-5		<b>INDICE PLASTICO:</b>		<b>18,39</b>		
A-7-5 Suelo arcilloso		<b>INDICE DE GRUPO:</b>		<b>10,9</b>		

<b>HUMEDAD vs # DE GOLPES</b>						
N° TARRO	N° GOLPES	PESO HÚMEDO	PESO SECO	PESO TARRO	% HUMEDAD	% PROMEDIO
----	----	----	----	----	----	----
18	----	135,25	111,12	29,25	29,47	
19	----	122,36	100,25	29,25	31,14	<b>30,3</b>
<b>LIMITE LIQUIDO (ASTM D4318)</b>						
108	40	15,69	12,11	5,98	58,40	
123	32	16,47	12,03	5,14	64,44	
145	22	17,25	12,41	5,36	68,65	
124	10	16,25	11,45	5,24	77,29	
----	----	----	----	----	----	<b>66,2</b>
<b>LIMITE PLASTICO (ASTM D4318)</b>						
95	----	9,25	8,22	6,01	46,61	
8	----	9,65	8,49	6,02	46,96	
93	----	9,41	8,41	6,41	50,00	<b>47,9</b>

**HUMEDAD vs # DE GOLPES**



<b>LABORATORIO DE GEOTECNIA</b>						
<b>PROYECTO:</b> Arq. Juan José Zenteno		<b>USO:</b> Tesis Maestría				
<b>SECTOR:</b> UCUBAMBA		<b>MUESTRA:</b>		<b>REALIZADO:</b> Ramiro Bautista		
<b>ABSCISA:</b>		<b>PROFUNDIDAD:</b>		<b>FECHA:</b> 16 de mayo de 2017		
<b>ENSAYOS DE CLASIFICACION</b>						
GRANULOMETRÍA (ASTM D422)					HUMEDAD NATURAL (ASTM D2216)	
TAMIZ	PESO RETENIDO PARCIAL	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA	% ESPECIFICADO	Ramiro Bautista A.
3"						
2 ½"						
2"						
1½"		-	-			
1"		-	-			
¾"		-	-	100		
½"		97	7	100		
⅜"		135	9	91		
Nº4		214	15	(85,5)		
Pasa Nº4		1.259	(85,5)			
Nº10		134	37	63		
Nº40		201	49	51		
Nº200		324	70	(30,1)		
Pasa Nº200		176	(30,1)			
<b>TOTAL MUESTRA</b>	<b>1.473</b>					
<b>GRAVA</b> 15 %		<b>CUARTEO(PESO)</b>				
<b>ARENA</b> 55 %		<b>ANTES</b> 500 grms				
<b>FINOS</b> 30 %		<b>DESPUES</b> 324 grms				
<b>COLOR:</b> PLOMO						
<b>CLASIFICACION:</b>						
<b>SUCS</b>						
Arena limosa SM		<b>HUMEDAD NATURAL:</b>		<b>16,92 %</b>		
<b>AASTHO</b>		<b>LIMITE LIQUIDO:</b>		<b>0,00 %</b>		
A-2-4		<b>INDICE PLASTICO:</b>		<b>0,00</b>		
A-2-4 Grava y arena arcillosa o limosa		<b>INDICE DE GRUPO:</b>		<b>0,0</b>		
<b>HUMEDAD vs # DE GOLPES.</b>						



LABORATORIO DE GEOTECNIA						
<b>PROYECTO:</b> Arq. Juan José Zenteno		<b>USO:</b> Tesis Maestría				
<b>SECTOR:</b> RACAR		<b>MUESTRA:</b>		<b>REALIZADO:</b> Ramiro Bautista		
<b>ABSCISA:</b>		<b>PROFUNDIDAD:</b>		<b>FECHA:</b> 16 de mayo de 2017		
ENSAYOS DE CLASIFICACION						
GRANULOMETRÍA (ASTM D422)					HUMEDAD NATURAL (ASTM D2216)	
TAMIZ	PESO RETENIDO PARCIAL	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA	% HUMEDAD	% PROMEDIO
3"						
2 ½"						
2"						
1½"		-	-	100		
1"		-	-	100		
¾"		-	-	100		
½"		-	-	100		
3/8"		-	-	100		
N°4		89	12	(87,8)		
Pasa N°4		641	(87,8)			
N°10		164	32	68		
N°40		262	44	56		
N°200		371	57	(43,2)		
Pasa N°200		359	(43,2)			
<b>TOTAL MUESTRA</b>	<b>730</b>					
<b>GRAVA</b> 12 %		<b>CUARTEO(PESO)</b>				
<b>ARENA</b> 45 %		<b>ANTES</b>		730 grms		
<b>FINOS</b> 43 %		<b>DESPUES</b>		371 grms		
<b>COLOR:</b> Café Oscuro						
<b>CLASIFICACION:</b>						
<b>SUCS</b>						
Arena limosa con bloques SM		<b>HUMEDAD NATURAL:</b>		37,12 %		
<b>AASTHO</b>		<b>LIMITE LIQUIDO:</b>		39,17 %		
A-4		<b>INDICE PLASTICO:</b>		9,62		
A-4 Suelo limoso		<b>INDICE DE GRUPO:</b>		1,6		

HUMEDAD NATURAL (ASTM D2216)						
N° TARRO	N° GOLPES	PESO HÚMEDO	PESO SECO	PESO TARRO	% HUMEDAD	% PROMEDIO
----	----	----	----	----	----	
10		137,28	108,48	30,22	36,80	
210		137,24	108,50	31,73	37,44	37,1
LIMITE LIQUIDO (ASTM D4318)						
98	42	28,25	22	6,01	39,09	
85	31	28,74	23,4	6,02	30,72	
81	24	27,84	21,08	6,11	45,16	
1	14	27,11	21	6,24	41,40	
----	----	----	----	----	----	39,2
LIMITE PLASTICO (ASTM D4318)						
102	---	8,25	7,85	6,47	28,99	
68	---	8,33	7,84	6,25	30,82	
85	---	8,26	7,81	6,25	28,85	29,5

**HUMEDAD vs # DE GOLPES.**

# DE GOLPES	% DE HUMEDAD
10	74.5
21	67.5
31	66.5
42	65.5
100	63.5



**9.3. ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE EN LABORATORIO DE SUELOS UNIVERSIDAD DEL AZUAY**

RESISTENCIA A LA COMPRESION (30 dias)										
Lote	Muestra	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Superficie (mm <sup>2</sup> )	Velocidad de carga (N/mm <sup>2</sup> /s)	Carga (N)	Resistencia (N/mm <sup>2</sup> )	Resistencia Normalizada (N/mm <sup>2</sup> ) f=0,85	Valor medio normalizado (N/mm <sup>2</sup> )
TR1	A	290	140	75	40600	0,05	73558	1,81	1,54	1,54
	B	290	140	75	40600	0,054	72125	1,78	1,51	
	C	290	140	75	40600	0,054	74513	1,84	1,56	
TR2	A	290	140	75	40600	0,054	90275	2,22	1,89	1,94
	B	290	140	75	40600	0,054	96485	2,38	2,02	
	C	290	140	75	40600	0,054	91708	2,26	1,92	
TR3	A	290	140	75	40600	0,053	57795	1,42	1,21	1,17
	B	290	140	75	40600	0,053	55407	1,36	1,16	
	C	290	140	75	40600	0,053	54929	1,35	1,15	
TC5	A	290	140	75	40600	0,053	95052	2,34	1,99	2,03
	B	290	140	75	40600	0,054	96485	2,38	2,02	
	C	290	140	75	40600	0,053	99828	2,46	2,09	
TC10	A	290	140	75	40600	0,053	166221	4,09	3,48	3,50
	B	290	140	75	40600	0,054	165744	4,08	3,47	
	C	290	140	75	40600	0,054	169565	4,18	3,55	
TC15	A	290	140	75	40600	0,054	202045	4,98	4,23	4,16
	B	290	140	75	40600	0,052	198224	4,88	4,15	
	C	290	140	75	40600	0,052	195835	4,82	4,10	
TCR1	A	290	140	75	40600	0,054	245033	6,04	5,13	5,10
	B	290	140	75	40600	0,053	242645	5,98	5,08	
	C	290	140	75	40600	0,054	243600	6,00	5,10	
TCR2	A	290	140	75	40600	0,05	249809	6,15	5,23	5,11
	B	290	140	75	40600	0,054	240256	5,92	5,03	
	C	290	140	75	40600	0,05	241689	5,95	5,06	
TCR3	A	290	140	75	40600	0,053	249809	6,15	5,23	5,42
	B	290	140	75	40600	0,053	256019	6,31	5,36	
	C	290	140	75	40600	0,053	270826	6,67	5,67	
TCB1	A	290	140	75	40600	0,054	262706	6,47	5,50	5,16
	B	290	140	75	40600	0,05	251720	6,20	5,27	
	C	290	140	75	40600	0,05	225449	5,55	4,72	
TCB2	A	290	140	75	40600	0,054	206821	5,09	4,33	4,63
	B	290	140	75	40600	0,054	207776	5,12	4,35	
	C	290	140	75	40600	0,05	248376	6,12	5,20	
TCB3	A	290	140	75	40600	0,054	149026	3,67	3,12	3,29
	B	290	140	75	40600	0,05	183894	4,53	3,85	
	C	290	140	75	40600	0,054	138518	3,41	2,90	
TCA1	A	290	140	75	40600	0,05	188671	4,65	3,95	4,10
	B	290	140	75	40600	0,05	189626	4,67	3,97	
	C	290	140	75	40600	0,054	209687	5,16	4,39	
TCA2	A	290	140	75	40600	0,055	240734	5,93	5,04	5,11
	B	290	140	75	40600	0,054	244078	6,01	5,11	
	C	290	140	75	40600	0,05	247899	6,11	5,19	
TCA3	A	290	140	75	40600	0,05	234047	5,76	4,90	4,64
	B	290	140	75	40600	0,054	231659	5,71	4,85	
	C	290	140	75	40600	0,053	199179	4,91	4,17	

  
 RAMIRO BAUTISTA AGUIRRE  
 LABORATORISTA

  
 Ramiro Bautista-A.  
 Laboratorista  
 Registro-041 ALMS



RESISTENCIA A LA COMPRESION (60 días)										
Lote	Muestra	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Superficie (mm <sup>2</sup> )	Velocidad de carga (N/mm <sup>2</sup> /s)	Carga (N)	Resistencia (N/mm <sup>2</sup> )	Resistencia Normalizada (N/mm <sup>2</sup> ) f=0.85	Valor medio normalizado (N/mm <sup>2</sup> )
TR1	A	290	140	75	40600	0,05	95529	2,35	2,00	2,10
	B	290	140	75	40600	0,054	126576	3,12	2,65	
	C	290	140	75	40600	0,054	79289	1,95	1,66	
TR2	A	290	140	75	40600	0,054	93141	2,29	1,95	2,20
	B	290	140	75	40600	0,054	126099	3,11	2,64	
	C	290	140	75	40600	0,054	95529	2,35	2,00	
TR3	A	290	140	75	40600	0,053	74035	1,82	1,55	1,90
	B	290	140	75	40600	0,053	101261	2,49	2,12	
	C	290	140	75	40600	0,053	96962	2,39	2,03	
TC5	A	290	140	75	40600	0,053	106038	2,61	2,22	2,50
	B	290	140	75	40600	0,054	126099	3,11	2,64	
	C	290	140	75	40600	0,053	126099	3,11	2,64	
TC10	A	290	140	75	40600	0,053	180551	4,45	3,78	3,50
	B	290	140	75	40600	0,054	153325	3,78	3,21	
	C	290	140	75	40600	0,054	168132	4,14	3,52	
TC15	A	290	140	75	40600	0,054	243600	6,00	5,10	5,90
	B	290	140	75	40600	0,052	305694	7,53	6,40	
	C	290	140	75	40600	0,052	296619	7,31	6,21	
TCR1	A	290	140	75	40600	0,054	275674	6,79	6,35	6,61
	B	290	140	75	40600	0,053	358235	8,82	7,50	
	C	290	140	75	40600	0,054	285633	7,04	5,98	
TCR2	A	290	140	75	40600	0,05	383073	9,44	8,02	7,39
	B	290	140	75	40600	0,054	336741	8,29	7,05	
	C	290	140	75	40600	0,05	339129	8,35	7,10	
TCR3	A	290	140	75	40600	0,053	368266	9,07	7,71	6,88
	B	290	140	75	40600	0,053	332920	8,20	6,97	
	C	290	140	75	40600	0,053	285155	7,02	5,97	
TCB1	A	290	140	75	40600	0,054	259362	6,39	5,43	4,94
	B	290	140	75	40600	0,05	233569	5,75	4,89	
	C	290	140	75	40600	0,05	214464	5,28	4,49	
TCB2	A	290	140	75	40600	0,054	233569	5,75	4,89	5,36
	B	290	140	75	40600	0,054	252198	6,21	5,28	
	C	290	140	75	40600	0,05	282289	6,95	5,91	
TCB3	A	290	140	75	40600	0,054	174341	4,29	3,65	3,27
	B	290	140	75	40600	0,05	153325	3,78	3,21	
	C	290	140	75	40600	0,054	140428	3,46	2,94	
TCA1	A	290	140	75	40600	0,05	263184	6,48	5,51	5,51
	B	290	140	75	40600	0,05	242645	5,98	5,08	
	C	290	140	75	40600	0,054	283722	6,99	5,94	
TCA2	A	290	140	75	40600	0,055	323845	7,98	6,78	6,16
	B	290	140	75	40600	0,054	282767	6,96	5,92	
	C	290	140	75	40600	0,05	276080	6,80	5,78	
TCA3	A	290	140	75	40600	0,05	296619	7,31	6,21	6,07
	B	290	140	75	40600	0,054	280379	6,91	5,87	
	C	290	140	75	40600	0,053	292320	7,20	6,12	

  
 RAMIRO BAUTISTA AGUIRRE  
 LABORATORISTA

Ramiro Bautista A.  
 Laboratorista  
 Registro-041 ALMS





RESISTENCIA A LA COMPRESION (90 días)										
Lote	Muestra	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Superficie (mm <sup>2</sup> )	Velocidad de carga (N/mm <sup>2</sup> /s)	Carga (N)	Resistencia (N/mm <sup>2</sup> )	Resistencia Normalizada (N/mm <sup>2</sup> ) f=0,85	Valor medio normalizado (N/mm <sup>2</sup> )
TR1	A	290	140	75	40600	0,05	105082	2,59	2,20	2,17
	B	290	140	75	40600	0,054	126576	3,12	2,65	
	C	290	140	75	40600	0,054	79289	1,95	1,66	
TR2	A	290	140	75	40600	0,054	90275	2,22	1,89	2,35
	B	290	140	75	40600	0,054	125621	3,09	2,63	
	C	290	140	75	40600	0,054	120367	2,96	2,52	
TR3	A	290	140	75	40600	0,053	77856	1,92	1,63	1,98
	B	290	140	75	40600	0,053	99828	2,46	2,09	
	C	290	140	75	40600	0,053	106038	2,61	2,22	
TC5	A	290	140	75	40600	0,053	137085	3,38	2,87	2,93
	B	290	140	75	40600	0,054	139473	3,44	2,92	
	C	290	140	75	40600	0,053	143772	3,54	3,01	
TC10	A	290	140	75	40600	0,053	162400	4,00	3,40	3,48
	B	290	140	75	40600	0,054	166699	4,11	3,49	
	C	290	140	75	40600	0,054	169565	4,18	3,55	
TC15	A	290	140	75	40600	0,054	320024	7,88	6,70	6,28
	B	290	140	75	40600	0,052	248854	6,13	5,21	
	C	290	140	75	40600	0,052	330532	8,14	6,92	
TCR1	A	290	140	75	40600	0,054	331487	8,16	6,94	6,42
	B	290	140	75	40600	0,053	312381	7,69	6,54	
	C	290	140	75	40600	0,054	276080	6,80	5,78	
TCR2	A	290	140	75	40600	0,05	339129	8,35	7,10	6,78
	B	290	140	75	40600	0,054	337219	8,31	7,06	
	C	290	140	75	40600	0,05	295186	7,27	6,18	
TCR3	A	290	140	75	40600	0,053	315725	7,78	6,61	6,25
	B	290	140	75	40600	0,053	312381	7,69	6,54	
	C	290	140	75	40600	0,053	267960	6,60	5,61	
TCB1	A	290	140	75	40600	0,054	262706	6,47	5,50	4,93
	B	290	140	75	40600	0,05	218285	5,38	4,57	
	C	290	140	75	40600	0,05	225449	5,55	4,72	
TCB2	A	290	140	75	40600	0,054	219718	5,41	4,60	5,02
	B	290	140	75	40600	0,054	243600	6,00	5,10	
	C	290	140	75	40600	0,05	256019	6,31	5,36	
TCB3	A	290	140	75	40600	0,054	225449	5,55	4,72	5,60
	B	290	140	75	40600	0,05	278946	6,87	5,84	
	C	290	140	75	40600	0,054	298052	7,34	6,24	
TCA1	A	290	140	75	40600	0,05	286588	7,06	6,00	5,56
	B	290	140	75	40600	0,05	237868	5,86	4,98	
	C	290	140	75	40600	0,054	272736	6,72	5,71	
TCA2	A	290	140	75	40600	0,055	315725	7,78	6,61	6,17
	B	290	140	75	40600	0,054	287544	7,08	6,02	
	C	290	140	75	40600	0,05	281334	6,93	5,89	
TCA3	A	290	140	75	40600	0,05	249809	6,15	5,23	5,77
	B	290	140	75	40600	0,054	276080	6,80	5,78	
	C	290	140	75	40600	0,053	300918	7,41	6,30	

  
 RAMIRO BAUTISTA AGUIRRE  
 LABORATORISTA

  
 Ramiro Bautista A.  
 Laboratorista  
 Registro-041-ALMS.

RESISTENCIA A LA COMPRESION (90 días en estado húmedo)





RESISTENCIA A LA COMPRESION (90 dias en estado húmedo)										
Lote	Muestra	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Superficie (mm <sup>2</sup> )	Velocidad de carga (N/mm <sup>2</sup> /s)	Carga (N)	Resistencia (N/mm <sup>2</sup> )	Resistencia Normalizada (N/mm <sup>2</sup> ) f=0,85	Valor medio normalizado (N/mm <sup>2</sup> )
TR1	A	290	140	75	40600	0	0	0,00	0,00	0,00
	B	290	140	75	40600	0	0	0,00	0,00	
	C	290	140	75	40600	0	0	0,00	0,00	
TR2	A	290	140	75	40600	0	0	0,00	0,00	0,00
	B	290	140	75	40600	0	0	0,00	0,00	
	C	290	140	75	40600	0	0	0,00	0,00	
TR3	A	290	140	75	40600	0	0	0,00	0,00	0,00
	B	290	140	75	40600	0	0	0,00	0,00	
	C	290	140	75	40600	0	0	0,00	0,00	
TC5	A	290	140	75	40600	0,053	0	0,00	0,00	0,00
	B	290	140	75	40600	0	0	0,00	0,00	
	C	290	140	75	40600	0	0	0,00	0,00	
TC10	A	290	140	75	40600	0,053	31047	0,76	0,65	0,58
	B	290	140	75	40600	0,054	24360	0,60	0,51	
	C	290	140	75	40600	0,054	28181	0,69	0,59	
TC15	A	290	140	75	40600	0,054	78334	1,93	1,64	1,90
	B	290	140	75	40600	0,052	104605	2,58	2,19	
	C	290	140	75	40600	0,052	89798	2,21	1,88	
TCR1	A	290	140	75	40600	0,054	52541	1,29	1,10	1,34
	B	290	140	75	40600	0,053	65438	1,61	1,37	
	C	290	140	75	40600	0,054	73558	1,81	1,54	
TCR2	A	290	140	75	40600	0,05	58751	1,45	1,23	1,12
	B	290	140	75	40600	0,054	49198	1,21	1,03	
	C	290	140	75	40600	0,05	53019	1,31	1,11	
TCR3	A	290	140	75	40600	0,053	47765	1,18	1,00	0,86
	B	290	140	75	40600	0,053	49675	1,22	1,04	
	C	290	140	75	40600	0,053	25793	0,64	0,54	
TCB1	A	290	140	75	40600	0,054	53496	1,32	1,12	1,04
	B	290	140	75	40600	0,05	40600	1,00	0,85	
	C	290	140	75	40600	0,05	54929	1,35	1,15	
TCB2	A	290	140	75	40600	0,054	60661	1,49	1,27	1,10
	B	290	140	75	40600	0,054	46332	1,14	0,97	
	C	290	140	75	40600	0,05	51108	1,26	1,07	
TCB3	A	290	140	75	40600	0,054	52064	1,28	1,09	1,04
	B	290	140	75	40600	0,05	58273	1,44	1,22	
	C	290	140	75	40600	0,054	39167	0,96	0,82	
TCA1	A	290	140	75	40600	0,05	33913	0,84	0,71	0,82
	B	290	140	75	40600	0,05	48720	1,20	1,02	
	C	290	140	75	40600	0,054	34868	0,86	0,73	
TCA2	A	290	140	75	40600	0,055	27226	0,67	0,57	0,70
	B	290	140	75	40600	0,054	46809	1,15	0,98	
	C	290	140	75	40600	0,05	26748	0,66	0,56	
TCA3	A	290	140	75	40600	0,05	28181	0,69	0,59	0,70
	B	290	140	75	40600	0,054	29136	0,72	0,61	
	C	290	140	75	40600	0,053	42988	1,06	0,90	

  
 RAMIRO BAUTISTA AGUIRRE  
 LABORATORISTA

  
 Ramiro Bautista A.  
 Laboratorista  
 Registro-041 ALMS.



9.4. ENSAYOS DE CONDUCTIVIDAD TERMICA MEDIANTE EL MÉTODO DE LA PLACA CALIENTE REALIZADO EN LABORATORIO LABET DE LA ESPOL

	<b>LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA</b> <b>FORMATO TÉCNICO</b> <b>REPORTE DE CONDUCTIVIDAD</b>	<b>LABET FT 05.1</b>
	Edición 2 Fecha de Revisión: 2018/12/14 Fecha de Revisión: 2018/12/17	Pag. 3 de 3

S19-008

Resultados



**Temperatura media de ensayo:** 23 °C  
**Diferencia de Temperatura:** 15 °C  
**Conductividad Térmica:**  
 0,3576 W/m-K  
 0,2938 W/m-K  
 0,2628 W/m-K

**Id. Muestra**  
 1902007  
 1902008  
 1902009

**Observaciones:**  
  
 Responsable de Calidad

	<b>LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA</b> <b>FORMATO TÉCNICO</b> <b>REPORTE DE CONDUCTIVIDAD</b>	<b>LABET FT 05.1</b>
	Edición 2 Fecha de Revisión: 2018/12/14 Fecha de Revisión: 2018/12/17	Pag. 2 de 3

S19-008

Equipamiento:

**Equipo:** Medidor de conductividad térmica de placa caliente, Lambda-Messtechnik  
**Modelo:** Λ-Meter EP500e, Version C.  
**Accesorio:** No se aplicó  
**Muestra de Verificación:** Glas210  
**Verificación:** 2019-01-15

Condiciones de la(s) Muestra(s):

	Código	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Dens. kg/m <sup>3</sup>	Otros (Color, composición)
1	1902007	139	150	74,30	2465,00	1591,19	TCR 1
2	1902008	139	150	75,50	2399,20	1524,10	TCR 2
3	1902009	140	150	71,60	2131,90	1417,86	TCR 3
4							
5							

**Acondicionamiento de la(s) Muestra(s):**  
 24 horas a 23°C, humedad bajo 80%

**Modificaciones al procedimiento o a las muestras:**  
 1.- Configuración adaptada a materiales de construcción no aislantes  
 2.- Utilización de almohadillas térmicas

**Condiciones ambientales de ensayo:**  
 Temperatura Ambiente Promedio: 25,1 °C  
 Humedad Relativa: 56,8 %

Laboratorio de Ensayos Térmicos y Eficiencia Energética  
 km 30.5 Vía Perimetral, Campus Gustavo Galindo - Edificio 33  
 591-4269700

Laboratorio de Ensayos Térmicos y Eficiencia Energética  
 km 30.5 Vía Perimetral, Campus Gustavo Galindo - Edificio 33  
 591-4269700

LABET FT04V01

3

	<b>LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA</b> <b>FORMATO TÉCNICO</b> <b>REPORTE DE CONDUCTIVIDAD</b>	<b>LABET FT 05.1</b>
	Edición 2	Fecha de Revisión: 2018/12/14

Pag. 2 de 3

S19-006

**Equipamiento:**

**Equipo:** Medidor de conductividad térmica de placa caliente, Lambda-Messtechnik  
**Modelo:** A-Meter EPS00e, Version C.  
**Accesorio:** No se aplicó  
**Muestra de Verificación:** Glas210  
**Verificación:** 2019-01-15

**Condiciones de la(s) Muestra(s):**

Código	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Dens. kg/m <sup>3</sup>	Otros (Color, composición)
1	139	150	75,30	2422,00	1542,67	TCA 1
2	139	150	76,20	2439,00	1535,15	TCA 2
3	140,3	150	77,30	2495,80	1534,20	TCA 3
4						
5						

**Acondicionamiento de la(s) Muestra(s):**

24 horas a 23°C, humedad bajo 80%

**Modificaciones al procedimiento o a las muestras:**

- 1.- Configuración adaptada a materiales de construcción no aislantes
- 2.- Utilización de almohadillas térmicas

**Condiciones ambientales de ensayo:**

Temperatura Ambiente Promedio: 25,1 °C  
 Humedad Relativa: 56,8 %

64

	<b>LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA</b> <b>FORMATO TÉCNICO</b> <b>REPORTE DE CONDUCTIVIDAD</b>	<b>LABET FT 05.1</b>
	Edición 2	Fecha de Revisión: 2018/12/14

Pag. 3 de 3

S19-006

**Resultados**



Temperatura media de ensayo: 23 °C

Diferencia de Temperatura: 15 °C

**Conductividad Térmica:**

Id. Muestra	W/m-K	W/m-K	W/m-K
1902001	0.3236	0.3301	0.3088
1902002			
1902003			

**Observaciones:**

Responsable de Calidad

	<b>LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA</b> <b>FORMATO TÉCNICO</b> <b>REPORTE DE CONDUCTIVIDAD</b>	<b>LABET FT 05.1</b>
	Edición 2	Fecha de Revisión: 2018/12/14

**Equipamiento:** S18-007  
**Equipo:** Medidor de conductividad térmica de placa caliente, Lambda-Messtechnik  
**Modelo:** λ-Meter EP500e, Version C.  
**Accesorio:** No se aplicó  
**Muestra de Verificación:** Glas210  
**Verificación:** 2019-01-15

**Condiciones de la(s) Muestra(s):**

Código	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Dens. kg/m <sup>3</sup>	Otros (Color, composición)
1	1902004	139	151,3	75,30	2320,80	1465,51 TCB 1
2	1902005	139,5	150,5	75,30	2299,20	1454,36 TCB 2
3	1902006	139	149,5	75,80	2247,10	1426,58 TCB 3
4						
5						

**Acondicionamiento de la(s) Muestra(s):**

24 horas a 23°C, humedad bajo 80%

**Modificaciones al procedimiento o a las muestras:**

- 1.- Configuración adaptada a materiales de construcción no aislantes
- 2.- Utilización de almuadillas térmicas

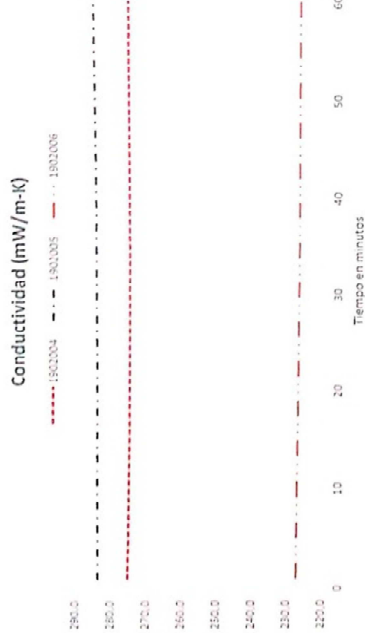
**Condiciones ambientales de ensayo:**

Temperatura Ambiente Promedio: 22,5 °C *ky*  
 Humedad Relativa: 57,0 %

	<b>LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA</b> <b>FORMATO TÉCNICO</b> <b>REPORTE DE CONDUCTIVIDAD</b>	<b>LABET FT 05.1</b>
	Edición 2	Fecha de Revisión: 2018/12/14

**Resultados**

S18-007



**Temperatura media de ensayo:** 23 °C  
**Diferencia de Temperatura:** 15 °C

**Conductividad Térmica:**  
 0,2751 W/m-K  
 0,2844 W/m-K  
 0,2265 W/m-K

**Id. Muestra**  
 1902004  
 1902005  
 1902006

**Observaciones:**

Responsable de Calidad

	<b>LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA</b> <b>FORMATO TÉCNICO</b> <b>REPORTE DE CONDUCTIVIDAD</b>	<b>LABET FT 05.1</b>
	Edición 2	Pag. 2 de 3
Fecha de Revisión: 2018/12/14		Fecha de Revisión: 2018/12/17

**Equipamiento:** S18-009

**Equipo:** Medidor de conductividad térmica de placa caliente, Lambda-Messtechnik  
**Modelo:** λ-Meter EP500c, Version C.  
**Accesorio:** No se aplicó  
**Muestra de Verificación:** Glas210  
**Verificación:** 2019-01-15

**Condiciones de la(s) Muestra(s):**

	Código	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Dens. kg/m <sup>3</sup>	Otros (Color, composición)
1	1902010	140	150	73,00	2395,00	1562,30	TC15
2	1902011	139	150	72,40	2375,70	1573,79	TC10
3							
4							
5							

**Acondicionamiento de la(s) Muestra(s):**

24 horas a 23°C, humedad bajo 80%

**Modificaciones al procedimiento o a las muestras:**

- 1.- Configuración adaptada a materiales de construcción no aislantes
- 2.- Utilización de almoadillas térmicas

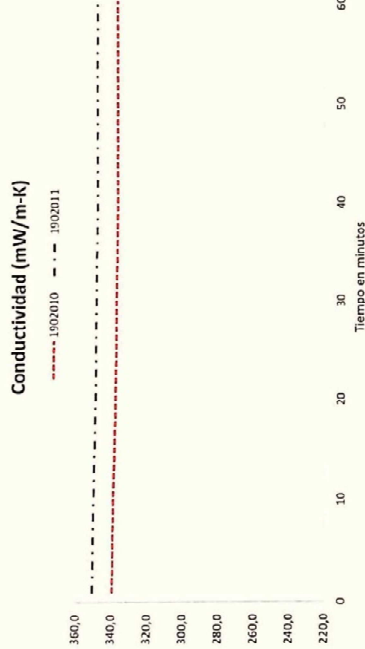
**Condiciones ambientales de ensayo:**

Temperatura Ambiente Promedio: 23,0 °C  
 Humedad Relativa: 57,5 %

Laboratorio de Ensayos Térmicos y Eficiencia Energética  
 km 30,5 Vía Perimetral, Campus Guarayo Otálinda, Edificio 33  
 593-42269703

	<b>LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA</b> <b>FORMATO TÉCNICO</b> <b>REPORTE DE CONDUCTIVIDAD</b>	<b>LABET FT 05.1</b>
	Edición 2	Pag. 3 de 3
Fecha de Revisión: 2018/12/14		Fecha de Revisión: 2018/12/17

**Resultados** S18-009



Temperatura media de ensayo: 23 °C

Diferencia de Temperatura: 15 °C

Conductividad Térmica: 0,3382 W/m-K  
 0,3495 W/m-K

Id. Muestra  
 1902010  
 1902011

**Observaciones:**

Responsable de Calidad

Laboratorio de Ensayos Térmicos y Eficiencia Energética  
 km 30,5 Vía Perimetral, Campus Guarayo Otálinda, Edificio 33  
 593-42269703