

REGENERACIÓN DE VIDA DE LA TIERRA CON BTC ESTABILIZADO CON CAL

Irma Quiroz Quinteros¹, Alain Claude Vimercati²

¹Facultad de Arquitectura y Ciencias del Hábitat de la Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba Bolivia,
irmaquirozbo@yahoo.com, ir.quiroz@umss.edu

²Fundacion –Pro-Hábitat, Cochabamba Bolivia, Vimercati.alain@gmail.com

Palabras clave: vida integral, tierra cal, tierra comprimida, bloque mejorado, ciclos de vida

Resumen

La presente investigación pretende establecer características de la vida en articulación con la tierra y la cal, que permite contribuir a la producción social de la vivienda. Para ello se establece investigar las propiedades y características de uso de la tierra en la construcción del municipio de Sacaba en la provincia Chapare del Departamento de Cochabamba – Bolivia. En el predio de la familia Mamani, con participación plena de diferentes actores en la investigación del material, la fabricación de bloques de tierra comprimidos (BTC), la producción en serie del y la materialización del diseño de vivienda bioclimática con la implementación del BTC. La investigación sobre los BTC estabilizados con cal se realizó mediante un proceso colaborativo y sistemático en alianza entre la Fundación Pro-Hábitat y la Facultad de Arquitectura y Ciencias del Hábitat de la Universidad Mayor de San Simón (FAYCH UMSS) y en articulación con el Laboratorio de Control de Calidad de Materiales (LCCM) del Instituto de Investigación en Arquitectura y Ciencias del Hábitat (IIACH UMSS). La investigación surgió por unas inquietudes compartidas entre ambas instituciones por un lado sobre el impacto ambiental generado por los materiales de construcción y, por el otro, sobre cómo integrar medidas bioclimáticas y saludables en el campo de la vivienda popular bajo parámetros de asequibilidad, racionalidad constructiva y uso de materiales ecológicos y locales.

1. INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción está creciendo aceleradamente, convirtiéndose en una de las principales fuentes de contaminación no solamente en Bolivia, sino a nivel global, generando desequilibrios en la naturaleza, la Tierra y el planeta. Es de vital importancia asumir una corresponsabilidad del cuidado y el manejo adecuado de la tierra, permitiendo una regeneración de vida que es el ciclo vital de la tierra y buscando alternativas y aportes a la construcción de bioviviendas saludables que contribuyan a la mitigación al cambio climático, disminución del consumo energético sobre el proceso de fabricación de materiales de construcción como es el BTC para cerramientos de muros y contribuir al equilibrio de la madre tierra.

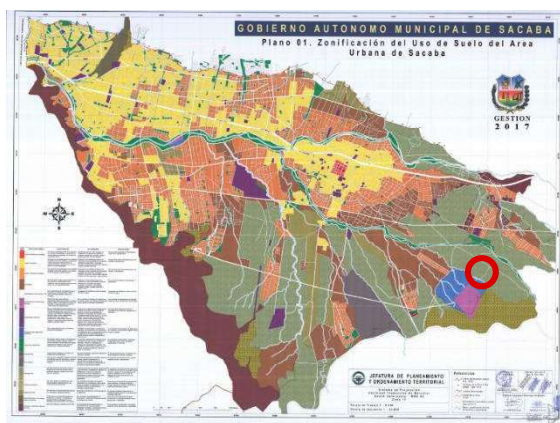
Esta investigación de fabricación de BTC ha sido realizada en el marco de un convenio de colaboración interinstitucional entre las siguientes instancias:

1. La Facultad de Arquitectura y Ciencias del Hábitat (FAYCH) con su departamento del Laboratorio de Control de Calidad de Materiales (LCCM) perteneciente al Instituto de Investigación de Arquitectura y Ciencias del Hábitat (IIACH) de la Universidad Mayor de San Simón (UMSS)¹;
2. La Fundación Pro-Hábitat (FPH) con apoyo del proyecto DAC de la Cooperación al Desarrollo de la Embajada Suiza en Bolivia / Solidar Suiza y MISEREOR² quienes trabajan en proyectos vinculados con la producción social del hábitat y de la vivienda con asistencia técnica y bajo un enfoque de diseño participativo, sostenible e inclusivo.

¹ bajo la responsabilidad de los docentes Irma Quiroz Quinteros y Ricardo Nina Vásquez, técnico laboratorista investigador

² bajo la responsabilidad del Arq. Alain Claude Vimercati

La investigación se realizó tanto en el LCCM- FAYCH, como también en el predio de la familia Mamani, en la OTB Tacopoca Alta del Distrito Rural Lava Lava del municipio de Sacaba, en el departamento de Cochabamba, Bolivia.



OTB Tacopoca Alta (Alcaldía de Sacaba, 2017)



Vivienda familia Mamani

Figura 1 – Sitios de la investigación

2. OBJETIVO

Optimizar las propiedades físicas y mecánicas de los BTC mediante la estabilización con cal para aplicarlos en un proyecto piloto de vivienda bioclimática saludable como una alternativa sostenible y asequible en el campo de la vivienda popular.

3. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

La investigación está enmarcada desde el campo experimental de prueba y error científica, durante las pruebas de ensayo experimental, de la fabricación de BTC, trabajadas en paralelo espacios de reflexión y capacitación sobre el uso de las tierras mejoradas en tres dimensiones: laboratorio, trabajo de campo y producción construcción. Cada una con la participación de la FAYCH-UMSS, con estudiantes, docentes y laboratoristas, y con la Fundación Pro-Hábitat, con técnicos, voluntarios y la familia de estudio de caso.

La investigación está dividida en tres etapas:

- Investigativa: Se realiza estudios de campo y laboratorio de los materiales del suelo;
- Productiva: identificada la formulación del BTC se inicia a la producción del producto investigado controlando la calidad de la producción;
- Constructiva: permite someter a validación del producto con la familia del estudio de caso.

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

La fabricación de BTC, al ser parte de un proyecto de vivienda saludable sostenible, se ha estructurado los resultados de manera integral para la implementación, siendo que se tiene los siguientes resultados.

4.1. Características del suelo

Determinación de resistencia de suelo para la construcción en el que se muestra la prueba de cono dinámico de penetración DCP (ASTM D-6951-03), realizando el estudio geotécnico del subsuelo para la obtención de la capacidad admisible de las muestras extraídas durante la perforación del sondeo, han sido analizadas en LCCM – FAYCH.

La colecta se realizó con el ensayo de penetración estándar (SPT)³ con la perforación del terreno, pozo 1 (figura 2), cuya relación está indicada en el perfil del subsuelo y se ha obtenido dos niveles con estratos homogéneos, cuya relación se describe en las tablas 1 y 2.



Figura 1 – Recolección de la muestra de tierra

Tabla 1 – Descripción de la muestra de tierra del pozo 1 (LCCM- FAYCH)

Nivel (m)	Clasificación USCS	Descripción	Humedad (%)	LL (%)	IP (%)	NF
Excavación 0,00 – 0,40						
0,00 – 1,00	SC	arena arcillosa	3,1	24,7	12,2	-
1,00 – 1,70	ML	limo con arena	3,8	-	NP	-

Tabla 2 – Determinaciones del ensayo SPT (LCCM- FAYCH)

Nivel (m)	N _{spt}	$\eta_1^* \eta_2^* \eta_3^* \eta_4$	N ₇₀	DCP (mm/golpe)	q _u (KN/m ²)	q _{adm} (kg/cm ²)
Excavación hasta 0,40						
0,00 – 1,00	0,84	0,480	0,389	10,00	160,46	0,80
1,00 – 1,70	0,77	0,480	0,370	12,50	180,51	0,80

Como se observa, en el cuadro anterior se presenta un perfil estratigráfico heterogéneo con un contenido de humedad bajo, de escasa plasticidad y de baja compresibilidad, el número de golpes es moderado a bajo por lo que su fatiga admisible responde a un suelo semiduro. El estudio ha sido orientado al análisis de fundaciones superficiales, debido a las características del proyecto.

Se ha realizado el análisis de la capacidad máxima segura de apoyo, la que se define como la presión bruta a nivel de fundación para el cual el riesgo de la falla al corte es mínimo. Esta

³ El ensayo SPT básicamente consiste en la hincas en el terreno de un puntazo metálico mediante golpes por lo que da idea de la resistencia del terreno ya que se contabilizan el número de golpes necesarios para clavar, y puede correlacionarse con numerosos parámetros geotécnicos

es igual a la carga bruta última de apoyo dividida por un factor de seguridad adecuado (Chacon; Nina Vásquez, 2022)

Los datos permitieron dar seguridad para el proceso constructivo y conocer del material a primera instancia, en el informe de laboratorio (tablas 1 y 2) concluyen lo siguiente.

- Se establece que el subsuelo en sus distintos estratos presenta suelos de arena arcillosa y limo con arena heterogéneos, con valores aceptables en su fatiga admisible, se sugiere su nivel de fundación en el primer estrato.
- El suelo debe mejorarse en su nivel de cimentación con un suelo granular debidamente compactado.
- El nivel que puede tomar la cimentación y su forma está en función a las cargas a las que puede estar sometida, es una decisión del ingeniero estructural.
- Se debe considerar un coeficiente de balasto para el suelo limo con arena de $k=1,9''$ (Chacon; Nina Vásquez, 2022)



Figura 2 – Procedimientos para determinar las características de la muestra de tierra

Tabla 3 – Características de la muestra M1 de tierra del pozo 1

Humedad natural del suelo	3,1%	Color	café amarillento	
Grava	9,8%	Límite líquido	LL	25%
Arena	41,4%	Límite plástico	LP	13%
Finos (limo y arcilla)	48,9%	Índice de plasticidad	IP	12%
Clasificación (UNIF.)	SC			

Tabla 4 – Características de la muestra M2 de tierra del pozo 1

Humedad natural del suelo	3,8%	Color	café amarillento	
Grava	0,2%	Límite líquido	LL	-
Arena	28,2%	Límite plástico	LP	-
Finos (limo y arcilla)	71,6%	Índice de plasticidad	IP	NP
Clasificación (UNIF)	-			

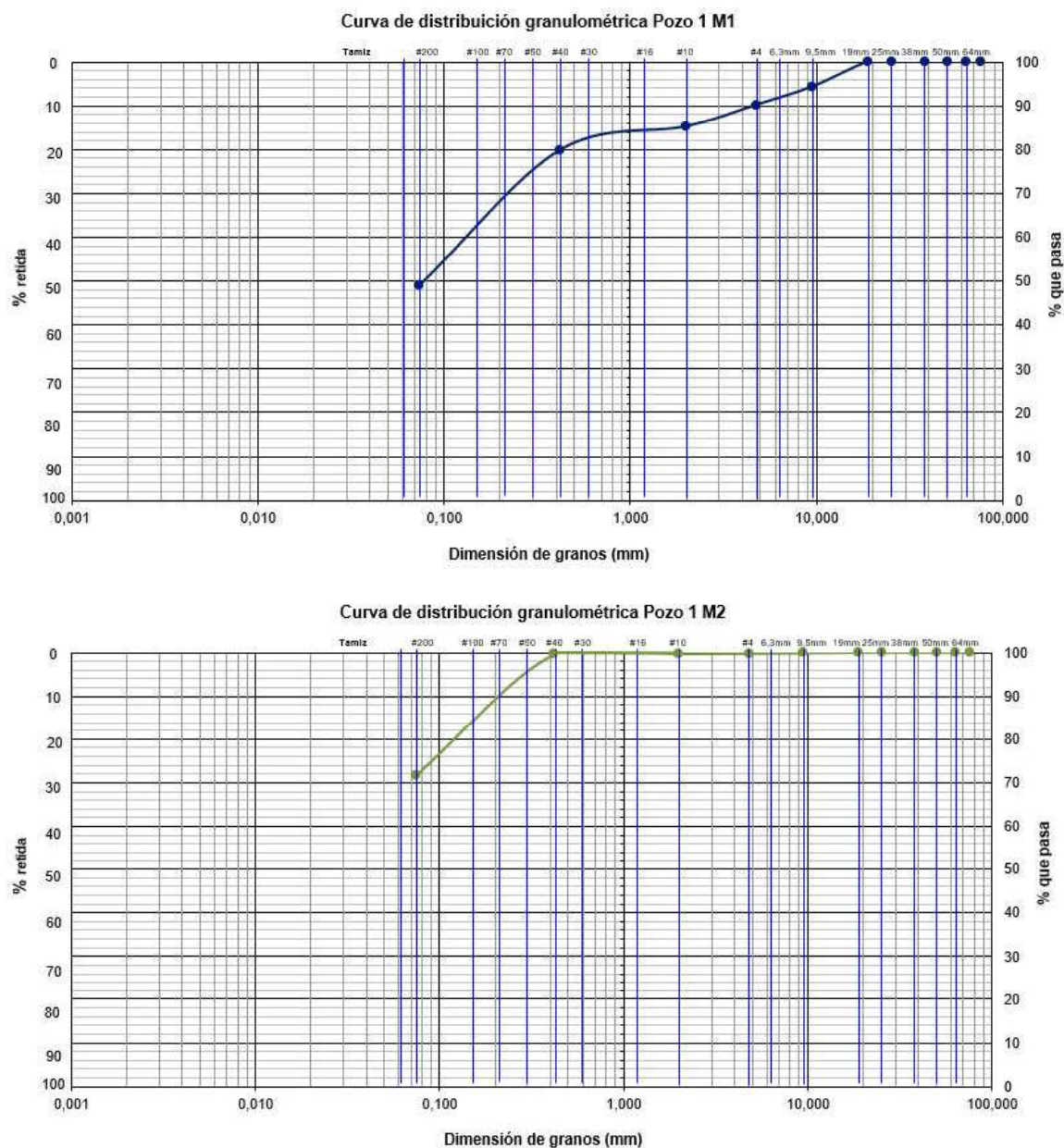


Figura 4 – Curvas de distribución granulométrica Pozo 1 M1 y Pozo 1 M2

Se evidencia que el suelo del predio de la familia Mamani tiene alto concentrado de limo, lo que no es apto para la fabricación del BTC. Se procedió a buscar otros suelos que permitan conseguir alto contenido de arcilla y se realizó el análisis del lecho de un río, siendo los siguientes resultados.

Tabla 5 – Características de la muestra M2 del lecho de río

Humedad natural del suelo	12,6%	Color	café amarillento	
Grava	0,0%	Límite líquido	LL	27%
Arena	12,9%	Límite plástico	LP	16%
Finos (limo y arcilla)	88,1	Índice de plasticidad	IP	11%
Clasificación (UNIF)	CL			

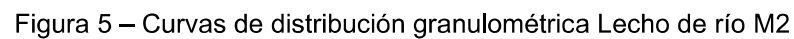


Figura 6 – Pruebas dosificación con suelo M-M2 y cal

Durante la investigación se inicia con las a la elaboración de probetas con diferentes dosificaciones

La tabla 6 presenta resultados de ensayos para determinar las características del suelo realizados en cubos de suelo-cal, con cerca de 5 cm lado, elaborados en 11 de mayo de 2022.

Tabla 5 – Determinación de las características físico-mecánicas del suelo código M

Identificación de la probeta	Densidad de la probeta (g/cm ³)	Resistencia a la compresión (MPa)	Dosificación	Observaciones
1-A	1,546	0,766	Cal H _M = 1	Compresión en capas (s/curado)
2-A	1,509		suelo #16 = 3	
3-A	1,557	0,548	agua = 175 ml	
4-A	1,488	0,445	Cal H _M = 1	Compresión en capas (s/curado)
5-A	1,474		suelo #16 = 3	
6-A	1,492	0,554	agua = 175 ml	
1-B	1,721	2,616	Cal V _{pasta} = 1	Compresión en capas (s/curado)
2-B	1,691	2,115	suelo #16 = 3	
3-B	1,647		agua = 100 ml	
1-D	1,793	2,909	Cal H _M = 1	Compresión en capas (s/curado)
2-D	1,917	1,956	suelo #16 = 3	
3-D	1,534		baba d/t = 150 ml	
4-D	1,518	0,568	Cal H _M = 1	Compresión en capas (s/curado)
5-D	1,467		suelo #16 = 3 baba d/t = 150 ml	

Referencia: cal H_M = Cal hidratada Montenegro; Cal V pasta = Cal viva en pasta; Suelo #16 = Suelo que pasa por el tamiz #16 (1,180mm)

Este es el primer ensayo que se realizó compactando las probetas, con suelo específicamente de la propietaria denominado suelo “M”, se desestimó al identificar que cada integrante que participó tenía diferentes fuerzas para comprimir el suelo.

4.2.2 Ensayo con suelo código M y microorganismos

Se ha realizado los ensayos con microorganismos activados en líquido. La recolección de sepas de microorganismos se realizó en el Valle Quebradas de la comunidad de Apote, en el mes de diciembre 2021. Se prepara para su multiplicación con agua de *chankaka*⁴ y *afrecho*⁵ (cascarilla de arroz). La crianza y multiplicación de los microorganismos tiene una duración en su proceso mínimo de un mes y posterior a ello se puede activar. La activación consiste, colocar los microorganismos sólidos en una bolsa de tela de algodón cerrado 1000 g en agua 20 L con *chankaka* de 500 g, dejar activar entre 10 a 15 días luego utilizar.

La tabla 7 presenta resultados de ensayos para determinar las características del suelo con microorganismos, realizados en cubos de suelo-cal, con cerca de 5 cm lado, elaborados en 12 de mayo de 2022.

Observando los resultados en la tabla 7, con el uso de microorganismos llegó a una resistencia compactando las probetas a 2,4 MPa (24 kgf/cm²) con una carga de 6 KN (600 kgf), resultado que se desestima por la misma diferencia de fuerzas para la compactación, sin embargo, los microorganismos siendo de composición altamente ácida y la cal de comisión altamente alcalina, permitió que el suelo se equilibrará para obtener resultados más uniformes en resistencia.

⁴ conocido como panela extraída de la caña de azúcar

⁵ conocido salvado o cascarilla de arroz u otros cereales

Tabla 6 – Determinación de las características físico-mecánicas del suelo código M y microorganismos activados en líquido

Identificación de la probeta	Densidad de la probeta (g/cm ³)	Resistencia a la compresión (MPa)	Dosificación	Observaciones
1-E	1,632	1,499	Cal H _M = 1	Compresión en capas (s/curado)
2-E	1,622		suelo #16 = 3	
3-E	1,601	0,911	micro = 150 ml	
1-F	1,448	1,096	Cal H _M = 2	Compresión en capas (s/curado)
2-F	1,476	1,343	suelo #16 = 2	
3-F	1,498		micro = 150 ml	
1-G	1,563		Cal H _M = 2	Compresión en capas (s/curado)
2-G	1,502		suelo #16 = 2	
3-G	1,554	1,107	micro = 160 ml	
1-H	1,725	1,440	Cal H _M = 2	Compresión en capas (s/curado)
2-H	1,671	1,349	suelo #16 = 8	
3-H	1,735		micro = 130 ml	
1-I	1,703	1,348	Cal R _H = 2	Compresión en capas (s/curado)
2-I	1,1853	2,400	suelo #16 = 8	
3-I	1,804		micro = 130 ml	

Referencia: cal H_M = Cal hidratada Montenegro, Cal R_H = Cal remojada hidratada, Suelo #16 = Suelo que pasa por el tamiz #16 (1,180mm)

4.2.2 Ensayo con código Z2 (combinación de suelos “M” propietario + “M2” lecho del río)

La tabla 8 presenta resultados de ensayos para determinar las características de suelos combinados, realizados en cubos de suelo-cal, con cerca de 6 cm lado, elaborados en 8 de septiembre de 2022.

Tabla 7 – Determinación de las características físico-mecánicas de la combinación Z2

Identificación de la probeta	Densidad de la probeta (g/cm ³)		Resistencia a la compresión (MPa)	Dosificación	Observaciones
	real	aparente			
1-D	1,452	1,384	0,935	Z2 = 4 M + 6 M2 Mezcla: 6 Z2 + 4 CH _M	Comprimido en máquina Probetas con curado
3-D	1,604	1,263	1,039		
4-D	1,777	1,447	0,864		
5-D	1,599	1,328	0,833		
6-D	1,419	1,417	0,833		
Promedio	1,552	1,378	0,901		
Porosidad	11,2%				
Compacidad	88,8%				

Se ha realizado 14 dosificaciones diferentes codificados de “1- A” a la “3 – Z” con la utilización de cal hidratada de ferretería, cal viva molida de fábrica⁶.

Se puede observar en tabla 8 que los resultados de laboratorio llegan a un promedio de 0,901 MPa (9,01 kgf/cm²) de resistencia a la compresión, siendo el código 3-D es el más alto en resistencia y la carga es mayor, así mismo, en general, tiene una uniformidad de resultados que permite someter a prueba.

Siendo este el resultado final para su aplicación y puesta en práctica a la producción en grandes cantidades.

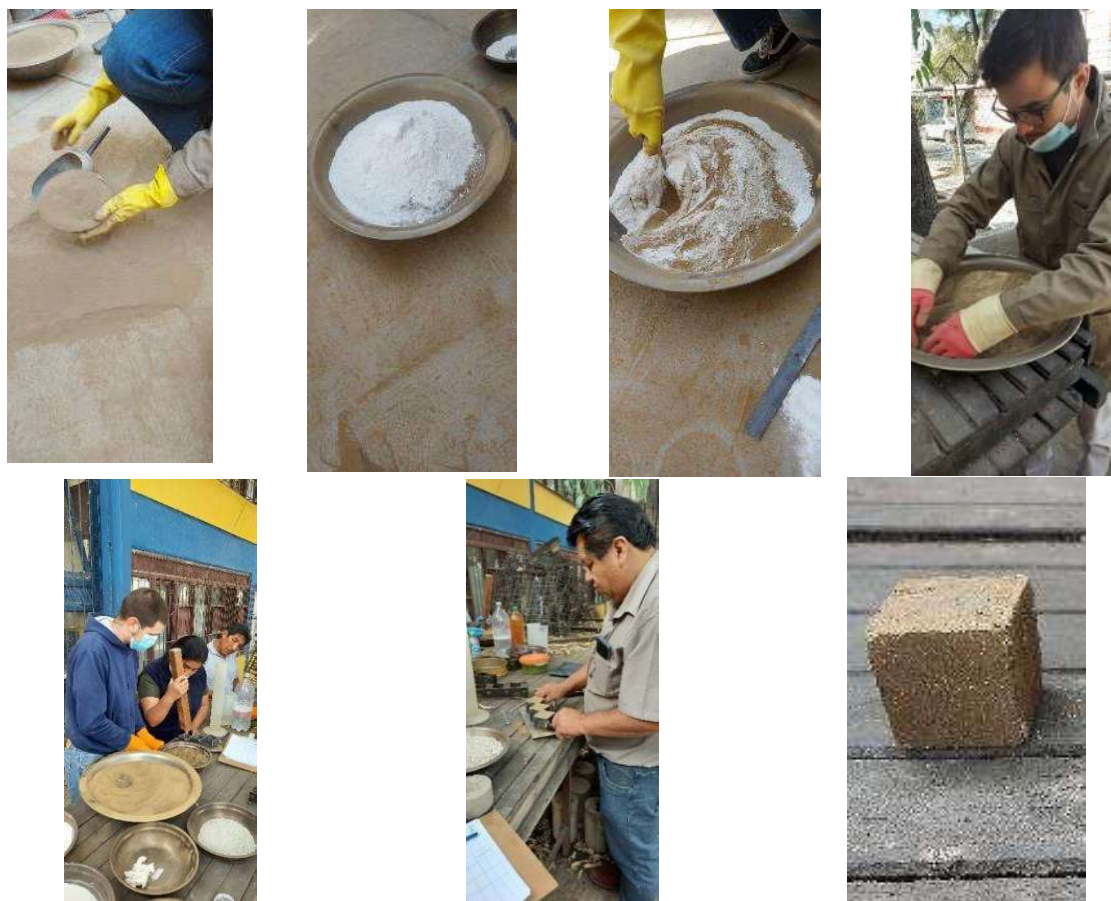


Figura 7 – Proceso de fabricación de la muestra desde el molido hasta el molde

4.3. Implementación BTC suelo cal en el proyecto “Vivienda Saludable Sostenible”

Para la implementación del BTC, la institución FPH⁷ diseña una vivienda con características bioclimáticas sostenibles, para su ejecución se inicia con la construcción estructural de soporte y, posterior a ello, la fabricación en cantidad del BTC, con la participación de todos los actores involucrados en el proyecto. Una vez producido BTC en serie se procede a análisis de la resistencia a la compresión siendo los resultados presentados en la tabla 9.

⁶ Fabricación Montenegro

⁷ por medio de Alain Vimercati

Tabla 8 – Ensayo a la compresión de prismas de mampostería (ASTM C1314)

Identificación	Fecha de ensayo	Dimensiones del prisma (cm)	Densidad (g/cm ³)	Resistencia a la compresión (MPa)	Observaciones coloración BTC
1	10/11/22	18x12,7x25 (altura; ancho; largo)	1,248	0,83	oscura
2			1,201	0,57	medio oscura
3			1,169	0,07	claro

Nota: Ensayos realizados en dos bloques (BTC), unidos con mortero.
Muestras escogidas al azar del acopio en obra



Figura 8 – Producción en serie del BTC asumido para la construcción de la vivienda

5. CONSIDERACIONES FINALES

La presente investigación propone una alternativa de uso de la tierra aplicando la cal como alternativa al medio ambiente incorporando en la fabricación del BTC, llegando a un resultado final de formulación.

Tabla 9 – Formulaciones adoptadas para la fabricación del BTC tierra-cal

Primera formulación (tierra)			Segunda formulación (tierra-cal)		
Material	Dosificación	Código	Material	Dosificación	Código
Tierra del lugar (M)	4	Z2	Z2	6	6Z2 – 4C
Arcilla lecho del río (M2)	6		Cal	4	

Llegando a resultados en el uso de la investigación en la construcción, aportando al mercado tradicional de producción de ladrillos con gastos energéticos que afectan al medio ambiente, uso de recursos económicos mínimos en la línea de autogestión de la producción de la vivienda.

La producción del BTC en el contexto actual es un desafío para la producción social de la vivienda en Bolivia, es necesario que intervengan otros actores que permita impulsar esta investigación, su fabricación, implementación y uso del BTC en familias de la sociedad.

Esta investigación es solamente un primer paso hacia la comprensión de las potencialidades ofrecidas por el uso de la tierra en el campo de la producción social de la vivienda en Bolivia a través del mejoramiento de sus propiedades físicas y mecánicas mediante la estabilización con cal. Los resultados e impactos logrados sientan un antecedente importante en el campo de la investigación aplicada y muestran la potencialidad del trabajo interinstitucional, colaborativo y articulado entre actores académicos, sociales y ONGs, para desarrollar posibles alternativas y caminos para resolver problemas concretos y reales en el campo de la problemática socio-habitacional y ambiental. Al mismo tiempo, en el proceso de investigación han surgido más preguntas y dudas que indican la necesidad de seguir profundizando la investigación en este campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO T11 (2020). Standard method of test for material finer than 75 μm (No. 200) sieve in mineral aggregate by washing. USA: American Association of State Highway and Transportation Officials

AASHTO T27 (2022). Standard method of test for sieve analysis of fine and coarse aggregates by washing. USA: American Association of State Highway and Transportation Officials

Alcaldía de Sacaba, M. (2017). Gobierno Autónomo Municipal de Sacaba. Obtenido de Plano 01: Zonificación de Uso de Suelo del Área urbana de Sacaba:
<https://sacaba.gob.bo/images/wsacaba/noticias/SACABA-ZONIFICACION-USO-DE-SUELO.jpg>

ASTM C1314 (2021). Standard test method for compressive strength of masonry prisms. USA: ASTM International

ASTM D-6951 (2003). Standard test method for use of the dynamic cone penetrometer in shallow pavement applications. USA: ASTM International

Chacon, A.; Nina Vásquez, R. (2022). Informe técnico de estudios de suelos para fundaciones. Cochabamba: FAyCH - UMSS.

AGRADECIMIENTOS

La investigación de BTC ha sido posible con la participación de varios actores a nivel interinstitucional, profesional, de interés y voluntarios y la clave de que resulte esta investigación es por la voluntad, compromiso y conciencia de doña Lidia y don Mario Mamani, dueños del predio investigado, quienes ha sido el soporte fundamental para poder realizar la investigación, Así mismo a los constructores Raúl Vázquez Rodríguez quien apoyo con su capacidad técnica constructiva en implementar los BTC.

Al técnico Ricardo Nina que realizó los ensayos presentados en este artículo en el Laboratorio de Control de Materiales de la FACH-UMSS.

AUTORES

Irma Quiroz Quinteros, docente arquitecto de la Facultad de Arquitectura y Ciencias del Hábitat- UMSS, asignaturas que imparte Teoría de la Arquitectura II y Taller de diseño arquitectónico II Línea "D" en la Carrera de Arquitectura, desarrolla metodológicas de aprendizaje desde la experiencia, trabaja con la tierra para el beneficio de familias de recursos limitados, apasionada en crear pinturas naturales con el uso de la tierra , actualmente dedicada al diseño de proyectos de viviendas saludables con enfoque sostenible.

Alain Vimercati, es un arquitecto de Suiza con una maestría en arquitectura de la ETH de Zúricho y trabajó en la FPH desde el año 2013 a 2023 como cooperante profesional de Comundo (organización suiza para el intercambio profesional). Se interesa particularmente al campo del diseño urbano y arquitectónico sostenible e inclusivo asociado a procesos participativos, colaborativos y multidisciplinarios de producción social del hábitat y de la vivienda. Ha impulsado y participado en varios proyectos con el equipo técnico de la FPH que han sido reconocidos a nivel nacional e internacional, entre los cuales se destacan; la Centralidad Urbana Max Paredes en la ciudad de La Paz y el proyecto del Corredor Biológico Urbano Waycha Mayu en el municipio de Sacaba.