

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**



**Estudio de la resistencia a la compresión y permeabilidad en unidades de albañilería de tierra reforzada con estiércol de *Equus asinus* y estearato de calcio**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL AMBIENTAL**

**AUTOR**

**Ernesto Alonso Campos Manayay**

**ASESOR**

**Victor Manuel Tepe Atoche**

<https://orcid.org/0000-0002-1546-6212>

**Chiclayo, 2024**

**Estudio de la resistencia a la compresión y permeabilidad en  
unidades de albañilería de tierra reforzada con estiércol de Equus  
asinus y estearato de calcio**

PRESENTADA POR

**Ernesto Alonso Campos Manayay**

A la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de

**INGENIERO CIVIL AMBIENTAL**

APROBADA POR

Luis Quiroz Quiñones  
PRESIDENTE

Hector Augusto Gamarra Uceda  
SECRETARIO

Victor Manuel Tepe Atoche  
VOCAL

## **Dedicatoria**

A Dios por su infinito amor, a mi familia por ser el motivo de mi autorrealización, a mis amigos por su constante apoyo y a todos los docentes que han participado en mi formación académica.

## **Agradecimientos**

Agradezco al Programa Nacional de Becas y Crédito Educativo PRONABEC por haberme dado la oportunidad de estudiar la carrera de Ingeniería Civil Ambiental, a la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo por facilitarme el uso de sus laboratorios, al Ingeniero Victor Manuel Tepe Atoche por su asesoramiento y a todas las personas que voluntariamente participaron durante el desarrollo del presente estudio.

## TESIS

### INFORME DE ORIGINALIDAD



### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>8%</b>
<b>2</b>	<b>tesis.usat.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>4%</b>
<b>3</b>	<b>Submitted to Universidad Cesar Vallejo</b> Trabajo del estudiante	<b>4%</b>
<b>4</b>	<b>Submitted to Universidad Privada del Norte</b> Trabajo del estudiante	<b>&lt;1%</b>
<b>5</b>	<b>www.scribd.com</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>6</b>	<b>repositorio.upn.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>7</b>	<b>es.slideshare.net</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>Submitted to Universidad Nacional de Piura</b> Trabajo del estudiante	<b>&lt;1%</b>
<b>9</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>

## Índice

Resumen .....	6
Abstract .....	7
Introducción .....	8
Revisión de literatura .....	12
Materiales y métodos .....	28
Resultados y discusión .....	57
Conclusiones .....	89
Recomendaciones.....	91
Referencias .....	92
Anexos.....	96

## Resumen

La Tierra es uno de los recursos constructivos más empleados globalmente. Sin embargo, su aplicación en áreas propensas a terremotos y su susceptibilidad a la erosión por agua son aspectos que generan inquietud entre los ingenieros.

La investigación se enfocó en integrar estiércol de *Equus asinus* en la producción de unidades de tierra reforzada con el fin de aumentar su resistencia a la compresión y tracción, además de explorar el efecto de aplicar estearato de calcio en su superficie para disminuir su permeabilidad.

Se llevaron a cabo pruebas tanto en campo como en laboratorio para elegir la cantera de suelo y el agua a emplear. Se analizaron las características mecánicas (compresión y tracción) de los bloques de tierra reforzada según lo estipulado en la norma E.080. Además, se sugirieron pruebas de absorción e inundación simulada para evaluar la permeabilidad.

Los resultados indicaron un aumento del 19% en la resistencia a la compresión y un 50% en la resistencia a la tracción a nivel de unidades, y del 20% y 22% respectivamente a nivel de muros. El uso de estearato de calcio como recubrimiento permitió que las muestras absorbieran temporalmente agua sin desintegrarse, retrasando su deterioro. Por último, se determinó un aumento del 19.20% del precio de asentamiento con unidades de tierra reforzada y recubrimiento con estearato de calcio.

En conclusión, la adición de estiércol de *Equus asinus* al 6% y el recubrimiento de estearato de calcio mejoran tanto las propiedades mecánicas como las hidrofóbicas de las unidades de tierra reforzada, con un pequeño aumento en su costo de producción.

**Palabras clave:** Unidades de tierra reforzada, adobe, resistencia a la compresión, estiércol de *Equus asinus*, estearato de calcio.

## Abstract

Earth is one of the most commonly used construction materials. However, its application in earthquake-prone areas and susceptibility to water erosion are concerns for engineers.

This research aimed to enhance the compression and traction resistance of earth units by integrating *Equus asinus* manure into their production. Additionally, it explored the effectiveness of applying calcium stearate to the surface to reduce permeability.

Field and laboratory tests were conducted to select the soil quarry and water source. Mechanical properties (compression and traction) of the reinforced earth blocks were analyzed according to the E.080 standard. Furthermore, absorption and simulated flooding tests were suggested to evaluate permeability.

Results indicated a 19% increase in compression resistance and a 50% increase in traction resistance at the unit level, and 20% and 22%, respectively, at the wall level. Coating with calcium stearate allowed samples to temporarily absorb water without disintegration, thus delaying deterioration. Lastly, a 19.20% increase in settlement price was observed with reinforced earth units and calcium stearate coating.

In conclusion, the addition of 6% *Equus asinus* manure and calcium stearate coating improve both the mechanical and hydrophobic properties of reinforced earth units, albeit with a slight increase in production cost.

**Keywords:** Reinforced earth units, Adobe bricks, compression strength, tensile, *Equus asinus* manure, calcium stearate.

## Introducción

Desde que el ser humano dejó de ser una especie nómada para formar pequeñas aldeas donde el apoyo mutuo y organización colectiva tenían el fin de buscar nuevas formas de protegerse y garantizar su supervivencia, la exploración de lugares para residencia ha sido una de sus mayores prioridades y posteriormente la incursión en la búsqueda de materiales para construir refugios e ir habitando cada vez más zonas silvestres. La primera cabaña [1] edificada sobre el suelo data del periodo Holoceno y está ubicada en Hannover (Alemania), su estructuración consiste en elementos entramados de yeso con revestimientos de tierra y junto a sus semejantes en Zürich denotan la consigna de construir para vivir. Tiempo después, los mesopotámicos incursionaron en las construcciones de planta rectangular con el uso de tierra para la elaboración de adobes y descubrieron que, edificando de cierta manera, se podía conseguir temperaturas más frescas durante el día y una mayor humedad durante la noche.

El carácter religioso es un aspecto inherente al ser humano, junto con la búsqueda del sentido de la vida; han influido en su manera de pensar, actuar, y esto se observa con mayor tendencia en las civilizaciones primitivas. El caso del antiguo Egipto [2] tal vez sea el más conocido, tanto el alto y bajo Egipto conciben la vida como un sometimiento al desierto y como un desfile hacia lo eterno, las construcciones eran, en su mayoría, de barro, con techos ligeramente abovedados, las mejores edificaciones eran de adobe de arcilla aglomerada con lino de dimensiones 23x12x7 cm, vigas de madera y un tablazón cubierto con barro, este método se utilizó para edificar magnos palacios y la piedra quedó estrictamente reservada para edificaciones de carácter espiritual. Como resultado, se focalizaron en perfeccionar el material que podían producir y se inició la exploración de aditivos vegetales como el junco, mimbre, palma, estera, entre otros, con el fin de elevar el desempeño de las estructuras de barro y extender su vida útil.

En Perú, la ciudad más antigua que data el uso de adobes en sus edificaciones es la “Ciudad de las Pirámides” o “Ciudad Sagrada de Caral” [3], en adición de la piedra, cantos rodados pequeños, cascajo, trozos de revoque y madera, se edificó seis pirámides y un conjunto de construcciones que incluyen templos, residencias, plazas, anfiteatros, altares, almacenes, calles, etc. Caral denota el auge del desarrollo arquitectónico y la noción estructural de reforzar las edificaciones pues se ha encontrado debajo de las shicras la presencia de ceniza, pescado, vegetales, mesodesmas, cangrejos, heces, choros y un tipo de goma de mascar antes de adosar un muro, siendo un claro símil a los actuales procedimientos de construcción que en lugar de shicras se usan cimientos corridos.

En el valle Chimú de la región La Libertad, La Ciudad de Chan Chan [4] refleja el grado más alto de entendimiento arquitectónico, social, político, ideológico y tecnológico de la

civilización Chimú durante el siglo IX y XV a.C. Los gobernantes de ese entonces vivían en edificaciones amuralladas cuyo material era el adobe y la decoración consistía en relieves murales. Asimismo, para diferenciar a la clase alta de la clase baja, se disponía de murallas más altas y de materiales de mejor calidad que hasta hoy perduran. No obstante, al no existir evidencia del uso de aditivos en su construcción y debido a la intemperie, en 1986 fue registrada en la Lista de Patrimonio Mundial en Peligro y a partir de 1988 el Ministerio de Cultura, por Decreto Supremo N°003-2000-ED se encarga de proteger este patrimonio nacional.

En el distrito de Túcume, región Lambayeque, las Pirámides de Túcume, Cerro la Raya o Pirámides de Cerro Purgatorio [5] emergen como uno de los exponentes más importantes de las construcciones con adobe, barro y quincha del periodo prehispánico en el norte del Perú. Tras su descubrimiento en 1987 y la agilización del biólogo Thor Heyerdahl por la creación de El Museo de Túcume, se ha logrado conservar esta área y estudiar a las culturas que habitaron esta zona como la cultura Lambayeque y Chimú, en relación con la construcción se notó que el material predominante en las edificaciones era el barro y la quincha, en las pirámides y huacas, los adobes y la presencia de mesodesmas. Existe mucha evidencia para señalar que este lugar fue una metrópolis comercial, sin embargo, los fenómenos del niño hicieron que las estructuras se fueran deteriorando constantemente.

El fenómeno del Niño [6] es un suceso natural que provoca cambios climáticos significativos debido a la interacción entre el océano y la atmósfera en la región tropical del Océano Pacífico. Este fenómeno conlleva lluvias intensas y prolongadas, lo que a menudo resulta en inundaciones y el deterioro de infraestructuras como carreteras asfaltadas, edificaciones antiguas, etc. El daño es mayor aún en edificaciones cuyo material predominante es la tierra reforzada debido a su alta permeabilidad.

Actualmente, los materiales de construcción han avanzado en gran medida permitiendo la construcción de mega estructuras y el desarrollo de las actividades económicas no solo de pequeñas poblaciones, sino del país. Sin embargo, según el INEI [7], de acuerdo con el censo del 2017, el material más usado en construcción es el adobe o tapial con un total de 2 148 494 viviendas que, en términos de porcentaje, representa el 27.9% del total de viviendas. Con relación a ello y con un sentido altruista, es necesaria la investigación sobre técnicas, métodos, mejoras en los materiales e innovadoras tecnologías que permitan la construcción segura con tierra reforzada.

En 1970, el terremoto de Huaraz [8] puso de manifiesto la falta de atención estructural en las construcciones de tierra reforzada realizadas de forma autónoma, lo que resultó en la trágica

pérdida de más de 70,000 vidas. Este evento destacó la necesidad de revisar y mejorar la Norma E 080: Diseño y construcción con tierra reforzada.

Por un lado, se siguen investigando nuevos métodos e incursionando en materiales industriales, sin embargo, se está dejando de lado las técnicas de construcción ancestrales [9] en el ámbito estructural debido a que estas no se encuentran plasmadas en investigaciones científicas, sino que se van transmitiendo entre generaciones por medio del empirismo. Una de estas técnicas es la adición de estiércol de equinos durante el proceso de dormir el barro, pues empíricamente se ha notado que las unidades de albañilería de tierra reforzada con este tipo de barro dormido han perdurado más en el tiempo.

Por otro lado, con el desarrollo de la industria química, el estearato de calcio [10] o jabón de calcio ( $C_{36}H_{70}CaO_4$ ) ha tenido muchas aplicaciones por su naturaleza hidrófoba, incursionando en la industria alimentaria, textil, farmacéutica, papelería, e inclusive en la construcción de concretos al reducir la porosidad y, por tanto, proporcionar una mayor compactación.

Recapitulando la problemática del fenómeno del niño y los sismos de gran escala se formula la siguiente cuestión: ¿En qué medida la incorporación de estiércol del equino: *Equus asinus* y la adición de estearato de calcio influyen en la resistencia a la compresión y en la reducción a la permeabilidad de las unidades de albañilería de tierra reforzada en la ciudad de Ferreñafe-Lambayeque?

En relación con la pregunta de investigación se plantea la hipótesis que la incorporación de estiércol del equino: *Equus asinus* aumentará la resistencia a la compresión y que la incorporación de estearato de calcio reducirá la permeabilidad de las unidades de albañilería de tierra reforzada.

La siguiente investigación justifica su realización por 4 razones: conveniente, relevante social, implicancia práctica, teórica y utilidad metodológica.

En primera instancia, este estudio servirá a las personas con escasos recursos para conocer una alternativa segura y más económica a las unidades de arcilla cocida.

En segundo lugar, se pueden establecer medidas para reacondicionar ciertos lugares históricos construidos con adobes sin refuerzo, conservando de esta manera su naturaleza. La trascendencia de este estudio es darle importancia a este tipo de conocimiento de construcción ancestral y preservación moderna para que se descubran alternativas de construcción en lugares poco accesibles y de clima inhóspito.

En tercer lugar, porque la información va a servir para la ejecución de cientos de proyectos de tierra reforzada, más aún si se llega a implementar programas nacionales de ayuda con

construcciones de tierra reforzada en zonas andinas, esto permitiría una mayor satisfacción de los usuarios porque este tipo de construcciones aíslan mejor el calor y dan una mayor seguridad en comparación de las construcciones de tierra sin reforzar.

En cuarto lugar, porque la población beneficiaria y la comunidad científica pueden conocer cuál es el proceso de aplicación de estos estabilizantes y los beneficios que traen consigo.

Por último, el estudio, al adaptar ensayos de las unidades de arcilla cocida con el objetivo de evaluar la permeabilidad de las unidades de tierra reforzada, tienen un grado de validez y confiabilidad aceptable para estandarizar este estudio y emplear esta metodología en futuras investigaciones sobre construcciones con tierra reforzada, dejando la alternativa de mejorar estos ensayos y aportar de mejor manera con la normativa E080.

El objetivo general de la presente investigación es determinar el efecto de incorporar estiércol de *Equus asinus* en dosificaciones de 3%; 6%; 9%; 12% y 15%; además de espolvorear estearato de calcio en la resistencia a la compresión, tracción y permeabilidad de unidades de albañilería de tierra reforzada en Ferreñafe-Lambayeque. Para lograr este objetivo general, se proponen los siguientes objetivos específicos:

Clasificar el tipo de suelo mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) de una cantera de suelo ubicada en la ciudad de Ferreñafe- Lambayeque.

Determinar la presencia de arcilla del suelo de la cantera usado en la elaboración de las unidades de albañilería de tierra reforzada.

Analizar las características del agua utilizada para la elaboración de las unidades de albañilería de tierra reforzada mediante un análisis químico.

Determinar la resistencia a la compresión en unidades de albañilería de tierra reforzada del grupo control y experimental con dosificaciones de estiércol de: 3; 6; 9; 12 y 15%

Determinar la resistencia a la tracción en unidades de albañilería de tierra reforzada del grupo control y experimental con dosificaciones de estiércol de: 3; 6; 9; 12 y 15%

Determinar el grado de permeabilidad de las unidades de albañilería de tierra reforzada a través del ensayo, adaptado, de absorción.

Identificar el porcentaje óptimo de incorporación de estiércol de *Equus asinus* con relación al mejoramiento de la resistencia a la compresión y la tracción.

Determinar la resistencia a la compresión en pilas de tierra reforzada del grupo control y experimental con la dosificación de estiércol óptima.

Determinar la resistencia a la tracción indirecta en muretes de tierra reforzada del grupo control y experimental con la dosificación de estiércol óptima.

Determinar el porcentaje de absorción y el tiempo del derrumbe de los muretes de tierra reforzada del grupo control y experimental con la dosificación de estiércol óptima y el 100% de espolvoreo superficial de estearato de calcio bajo condiciones de inundación simulada.

Comparar el precio unitario de construcción de muretes de tierra reforzada por metro cuadrado del grupo control y experimental.

## **Revisión de literatura**

### **Antecedentes**

#### **Antecedentes internacionales**

[11] L. Widder en el artículo “Earth eco-building: textile-reinforced earth block construction” presentado en la Conferencia Internacional CISBAT 2017 tiene como finalidad estudiar la influencia de la fibra natural y algunos componentes textiles reciclados sobre la resistencia estructural de construcciones con tierra reforzada sin dejar de lado el bienestar humano y un periodo de diseño largo. Se demostró que los aditivos utilizados en los bloques de tierra comprimida (CEB) pueden mejorar diversas características. Los estudios han destacado el uso de agregados orgánicos, como el estiércol animal fibroso, para mejorar el comportamiento estructural, el aislamiento térmico, la durabilidad y las propiedades higroscópicas de las unidades de albañilería de tierra reforzada. Para ello se ha diseñado y estudiado mediante análisis de elementos finitos multimodal utilizando Abaqus un kit de piezas denominado “Just-Add-Earth kit” a modo de nave premoldeada que actúa como un encofrado permanente con el fin de reforzar la estructura de tierra reforzada que, en sus componentes, incluye refuerzos horizontales, verticales, encofrados textiles, fibra y mezcla química (CEB). Los resultados concluyen que existe una mejora considerable en la resistencia a los desplazamientos debidos a cargas laterales hasta en un 50% en comparación a las unidades tierra sin reforzar y con relación al análisis térmico, no hay impacto negativo. Se consideró como antecedente debido a que se considera el estiércol como agregado para aumentar la resistencia a la compresión de unidades de albañilería de tierra reforzada y se trasciende en el análisis de su comportamiento a nivel estructural mediante un análisis complejo y de recursos elevados, financiados por el reconocido programa Small Business Innovation Research, US Army Corps of Engineers.

[12] En el artículo "Estudio experimental sobre la efectividad de los morteros y enlucidos de arcilla reforzados con fibras cortas en el comportamiento mecánico de los muros de adobe", F. Faglih Khorasani y M. Zaman Kabir buscan mejorar el rendimiento de los muros de tierra reforzada mediante la inclusión de morteros con fibras cortas como paja y caucho reciclado.

Para ello se hicieron ensayos de compresión directa, cortante, a las unidades de albañilería de tierra reforzada y a los muros en conjunto. Los resultados concluyeron que la resistencia óptima a compresión y deformación (87% y 18% respectivamente) se dio con el grupo cuya incorporación fue paja natural remojada durante una semana. Además, recubrir los muros con yeso reforzado aumentó en un 204% la resistencia al esfuerzo cortante y en 433% la deformación. Se escogió este antecedente pues supone utilizar de manera positiva refuerzos de tipo fibroso para incrementar la resistencia a la compresión de manera análoga al refuerzo que se plantea utilizar en la presente investigación. Además, se encuentra en la revista *Case Studies in Construction Materials*, lo que supone una revisión exhaustiva antes de ser publicada.

[13] En el artículo "Refuerzo de mezclas de adobe con fibras naturales a partir de desechos: Evaluación del desempeño físico, mecánico, de daño y durabilidad", G. Araya et al. buscan investigar cómo la adición de fibras de plumas de pollo afecta las propiedades mecánicas y físicas de las unidades de albañilería de tierra reforzada. Para lograrlo, proponen la fabricación de estas unidades con diferentes porcentajes de fibras de plumas de pollo, desde 0% hasta 1%, y someterlas a pruebas de densidad aparente, resistencia a la compresión, flexión, agrietamiento y resistencia a la erosión causada por el agua. Los resultados concluyen que el efecto es positivo con relación a las propiedades físicas, mientras que en relación con las propiedades mecánicas la influencia fue casi leve-nula. Se escogió este antecedente debido a que la naturaleza hidrofóbica del agregado se asemeja a la naturaleza del estearato de calcio y por tanto supone una revisión sobre el mejoramiento de las propiedades físicas de las unidades de albañilería de tierra reforzada sin afectar sus propiedades mecánicas.

[14] C. Babé, D. Kaoga Kigmo, A. Tom, R. Ngonon Mvondo, R. Essama Boum y N. Djongyang, en el artículo "Thermomechanical characterization and durability of adobes reinforced with millet waste fibers (*Sorghum bicolor*)" tienen la finalidad de estudiar una técnica artesanal de elaboración de unidades de albañilería de tierra reforzada en la zona Sudano-Saheliana de Camerún que consiste en la incorporación de fibras de mijo rojo. Para ello se realizaron ensayos geotécnicos, mecánicos, térmicos y de durabilidad a unidades de albañilería de tierra reforzada con fibras de mijo rojo al 0 %, 1%, 2%, 3% y 4%. Los resultados concluyeron que la incorporación de fibras de mijo rojo mejora la resistencia a la compresión y conductividad térmica hasta en un 38 % y 23% respectivamente, mejorando así las características termo mecánicas y la durabilidad de las unidades de albañilería de tierra reforzada de forma económica. Se escogió este antecedente debido a que la naturaleza fibrosa del mijo rojo se asemeja a la del estiércol del *Equus asinus*, además demuestra una mejora en la resistencia a la compresión y erosión, y por último, indica un mejoramiento en la propiedad

termoaislante de las unidades de albañilería de tierra reforzada que es una de las más grandes ventajas de usar estas unidades en las construcciones.

[15] C. Babé, D. Kaoga Kigmo, A. Tom, R. Ngono Mvondo, R. Essama Boum y N. Djongyang, en el artículo “Effect of neem (*Azadirachta Indica*) fibers on mechanical, thermal and durability properties of adobe bricks” tienen la finalidad de estudiar la influencia de adicionar fibras de neem en unidades de albañilería de tierra reforzada sobre sus propiedades mecánicas y físicas. Se llevó a cabo pruebas de laboratorio para evaluar la resistencia a la compresión, flexión en tres puntos, absorción de agua y conductividad térmica en unidades de albañilería de tierra reforzada con dos tipos de fibras de neem: paja y hojas, en concentraciones del 0%, 1%, 2%, 3% y 4%. Los resultados indicaron que la inclusión de fibras de paja de neem mejoró de manera más significativa las propiedades mecánicas, térmicas y de durabilidad en comparación con las fibras de hojas de neem. Este estudio se seleccionó porque evidencia que la influencia de un aditivo no está determinada únicamente por su origen, sino también por su estado. A pesar de provenir de la misma planta, la paja y las hojas de neem no poseen el mismo nivel de fibrosidad, lo cual influyó de manera determinante en la mejora de las propiedades de las unidades de albañilería de tierra reforzada.

#### **Antecedentes nacionales**

[16] D. Ortiz en la tesis, para obtener el grado de Ingeniero Civil, titulada: “Efectos de la incorporación de cuatro porcentajes (2.5%, 5%, 7.5% y 10%) de estiércol de caballo en la resistencia a la compresión y flexión del adobe” tiene como objetivo determinar la influencia de incorporar estiércol del equino: *Equus caballus* en el mejoramiento de la resistencia a la compresión y flexión de unidades de albañilería de tierra reforzada. Para lograr esto se realizó ensayos de laboratorio de suelos, resistencia a la compresión y flexión, determinando que con un suelo de tipo SW-SM (Arenoso-Limoso), existe una relación inversa entre la incorporación de estiércol y la resistencia a la compresión, llegando a concluir que por cada 2.5% de incorporación de estiércol se pierde un 30% de la compresión y un 6.97% de la flexión inicial. Se escogió este antecedente porque demuestra que el tipo de suelo tiene un rol de vital importancia en la elaboración de unidades de albañilería de tierra reforzada. El suelo sirve siempre y cuando tenga la cantidad necesaria de arcilla, sino se descarta y se busca una nueva cantera de suelo.

#### **Antecedentes locales**

[17] G. Sandoval Alvarado en la tesis, para obtener el grado de Ingeniero Civil Ambiental, titulada “Evaluación de la erosión y la resistencia del adobe adicionado con cenizas de carbón y cal” tiene como finalidad evaluar la influencia de agregar cenizas de carbón y cal en unidades

de albañilería de tierra reforzada. Para este propósito, se han llevado a cabo y adaptado ensayos de laboratorio sobre suelos, compresión, flexión y erosión en unidades y muros de tierra reforzada con la adición de cenizas de carbón y cal en concentraciones de 3%, 5%, 8%, 10% y 12%. Los resultados revelaron que la resistencia aumenta conforme se incrementa el porcentaje del agregado (al 10% para unidades y muros de tierra reforzada) hasta en un 37.9%, mientras que la erosión disminuye en un 64.27%. Además, se observó una reducción en la absorción de agua al aumentar la proporción de cal; sin embargo, se registró una disminución en la resistencia a la flexión y tracción. Se seleccionó este estudio debido a que la cal, que es uno de los componentes del estearato de calcio, contiene calcio, lo cual es un aspecto de interés para evaluar su influencia en la permeabilidad de las unidades de albañilería de tierra reforzada.

### **Bases teóricas**

#### **Unidad de tierra reforzada**

##### **Definición**

Según lo establecido en la Norma E.080 "Diseño y Construcción con Tierra Reforzada", se define como unidad de tierra reforzada [18] al bloque compacto elaborado a partir de tierra sin cocer, el cual puede incluir agregados naturales como paja y arena para aumentar su durabilidad y resistencia en cierta medida. Además, la introducción de estos materiales naturales ayuda a controlar la formación de fisuras durante el proceso de secado.

Según la Norma E.080 Adobe [19], menciona que se pueden incorporar ciertos materiales como el cemento, cal, asfalto, etc. con el fin de mejorar las propiedades mecánicas y la estabilidad de las unidades de albañilería de tierra reforzada ante la humedad.

##### **Composición**

Las unidades de albañilería de tierra reforzada se componen de una mezcla de arcilla, arena y agua [20]. Sin embargo, no todas las canteras de suelo son adecuadas para la fabricación de estas unidades; lo óptimo son tierras que contengan aproximadamente un 15% de arcilla y un 70% de arena. Se recomienda llevar a cabo pruebas como la "Cinta de barro" y la "Presencia de arcilla", descritas en los Anexos 01 y 02 de la Norma E.080 [18], para determinar la idoneidad del suelo.

##### **Arcilla**

Son partículas minerales con un tamaño de hasta 2 micrones. [21] Los suelos con presencia de arcillas presentar un mejor comportamiento plástico y una mayor estabilidad, de acuerdo con la Norma E.080 la presencia de arcilla es obligatoria para la selección de las canteras de suelo a elegir en la producción de unidades de tierra reforzada.

### **Arena**

Se distinguen dos tipos de arenas: Arena fina cuyo tamaño de partículas va desde los 20 a 200 micrones, mientras que la arena gruesa tiene un tamaño de 200 a 2000 micrones. [21]. Tiene una gran importancia durante el secado de las unidades de tierra reforzada.

### **Agua**

Molécula compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. De acuerdo con la Norma E.080 [18], el agua a emplear para producir unidades de albañilería de tierra reforzada no debe exceder el 20% del peso contenido seco.

### **Forma y dimensiones**

De acuerdo con la Norma E.080 [18], por razones de peso, la dimensión de la unidad de tierra reforzada de forma cuadrada no debe sobrepasar los 0.40m, para el adobe rectangular el largo debe ser dos veces la dimensión del ancho y la altura del bloque debe estar entre los 0.08m y 0.12m.

### **Elaboración**

En primer lugar, se debe verificar la condición óptima de la cantera del suelo, es decir, que cuente con la presencia suficiente de arcilla y arena descrito en la norma E.080. [18]

En segundo lugar, antes de preparar el barro se debe cernir la tierra y posteriormente hidratarla continuamente por 48 horas.

En tercer lugar, para el secado de la unidad de tierra reforzada, se debe realizar sobre tendales protegidos del viento y del sol, los cuales deben ser espolvoreados con arena fina para evitar inconvenientes durante el encogimiento de secado. Este proceso debe ser lento.

En cuarto lugar, se debe verificar que las unidades estén libres de materias extrañas diferentes a las agregadas intencionalmente por objeto de estudio.

En quinto lugar, se debe verificar que el bloque no sobrepase los 0,40 m de lado.

En sexto lugar, se debe verificar que, para una unidad de tierra reforzada rectangular, la longitud del largo debe ser dos veces la longitud del ancho.

Finalmente, es importante verificar que la altura de la unidad se encuentre dentro del rango de 0.08 metros y 0.12 metros.

### **Resistencia a compresión en unidades**

De acuerdo con la Norma E.080 [18] se refiere al esfuerzo máximo que soporta un determinado material bajo cargas por aplastamiento que van variando progresivamente con las siguientes consideraciones:

La resistencia a compresión se mide en cubos de 0.1m de arista

La resistencia última se calcula de acuerdo con la expresión  $f_0 = 1.0 \text{ Mpa} = 10.2 \text{ kgf/cm}^2$

Los cubos de tierra reforzada deben verificar que el promedio de las 4 mejores muestras de 6 sea igual a la resistencia última señalada.

### Resistencia a tracción en unidades

De acuerdo con la Norma E.080 [18] se refiere al esfuerzo máximo que soporta un determinado material bajo cargas por aplastamiento que van variando progresivamente con las siguientes consideraciones:

La resistencia se evalúa mediante el ensayo de tracción brasileño, donde el molde es un cilindro de 6" x 12" o 15.24cm x 30.48 cm de diámetro y largo.

La resistencia última se halla de acuerdo con la expresión  $f_0 = 0.08 \text{Mpa} = 0.81 \text{ kgf/cm}^2$

Los cubos de tierra reforzada deben verificar que el promedio de las 4 mejores muestras de 6 sea igual a la resistencia última señalada. El secado es de 28 días y el porcentaje de agua inicial es de 20 a 25%.

### Resistencia a compresión en muretes

De acuerdo con la Norma E.080 [18] se refiere al esfuerzo máximo que soporta un murete de tierra reforzada bajo cargas por aplastamiento que van variando progresivamente con las siguientes consideraciones:

La resistencia última es de  $0.6 \text{Mpa} = 6.12 \text{ kgf/cm}^2$

La altura del murete es igual a tres veces la menor dimensión de la base

Los muretes de tierra reforzada deben verificar que el promedio de las 4 mejores muestras de 6 ensayadas sea igual o mayor la resistencia última señalada luego de 28 días de secado.

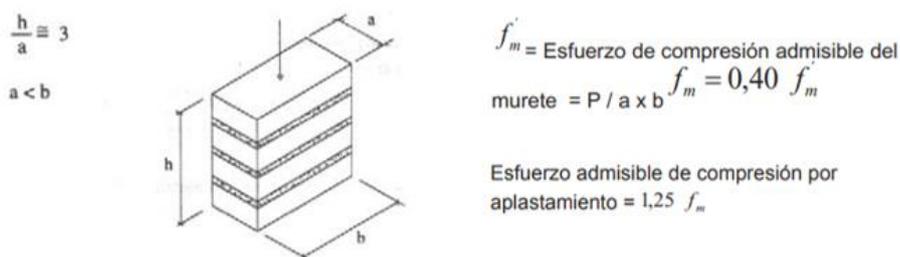


Fig 1: Ensayo de compresión. Muretes de adobe o tapial

### Resistencia a compresión diagonal o tracción indirecta en muretes

De acuerdo con la Norma E.080 [18] se refiere al esfuerzo máximo que soporta un murete de tierra reforzada bajo cargas por aplastamiento que van variando progresivamente con las siguientes consideraciones:

La resistencia última es de  $0.025 \text{Mpa} = 0.25 \text{ kgf/cm}^2$

Los muretes son de  $0.65 \text{m} \times 0.65 \text{m} \times e$

Los muretes de tierra reforzada deben verificar que el promedio de las 4 mejores muestras de 6 sea mayor o igual a la resistencia última señalada después de 28 días de secado.

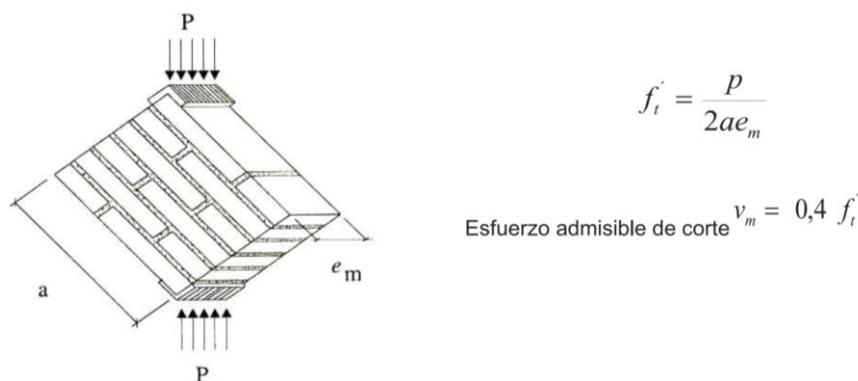


Fig 1: Ensayo de compresión diagonal o tracción indirecta

### Permeabilidad

Esta característica se relaciona con la capacidad que tienen los materiales para dejar pasar el flujo de líquidos a través de ellos. En este contexto, se está examinando la permeabilidad de las unidades de albañilería de tierra reforzada en relación con el agua.

### Absorción de agua

De acuerdo con la NTP. 399.613, 2003 se determina la capacidad de absorción bajo saturación de las muestras tras 24 horas de sumergimiento en el agua.

### Inundación de muretes

Se refiere a un procedimiento no estandarizado para evaluar el ascenso por capilaridad del agua en muretes bajo inundación en piscinas con relación al tiempo, determinando de esta manera la altura de ascenso por capilaridad, el % de absorción de agua y el tiempo en el que los muretes caen debido al desmoronamiento de la base inundada.

### Agregados y recubrimiento

#### Estiércol

El estiércol [22] es una mezcla de heces de animales, orinas y camas, estas últimas generalmente están constituidas de paja, pero algunas contienen serrín, papel periódico, virutas de madera, restos de alimentos del ganado, agua de los bebederos, lluvia, y todo material que pueda encontrarse en un establo. El estiércol puede ser almacenado como sólido y su utilidad es aportar materia orgánica a los suelos y ser fuente de nutrientes (N, P y K) para las plantas.

#### Estearato de Calcio

Es un jabón metálico de ácidos grasos con características hidrofóbicas [8], es decir, repelente al agua, debido a ello es usado como impermeabilizante. El estearato de calcio L-155 es un polvo fino que impermeabiliza superficies y reduce la cantidad de humedad susceptible a ser absorbida.

## **Normatividad**

### **Reglamento Nacional de Edificaciones**

#### **Norma E.050: Suelos y Cimentaciones**

[23] Tiene el objetivo de establecer los parámetros para un pertinente ensayo de estudios de mecánica de suelos (EMS).

#### **Norma E.070: Albañilería**

[24] Tiene el objetivo de señalar las exigencias y parámetros para el adecuado diseño, análisis, inspección y el control de calidad de edificaciones de albañilería.

#### **Norma E.080: Adobe**

[19] Esta norma tiene por objetivo diseñar edificaciones seguras y de reducido costo con una buena respuesta ante fuerzas sísmicas.

#### **Norma E.080: Diseño y Construcción con Tierra Reforzada (R.M. N°121-2017-VIVIENDA)**

[18] Tiene por objetivo señalar los parámetros y características de diseño para edificaciones construidas con tierra reforzada con la finalidad de dotarle de seguridad sísmica con un comportamiento estructural adecuado.

### **Normas Técnicas Peruanas**

#### **NTP 339.089. Obtención en laboratorio de muestras representativas (cuarteo)-1998**

[25] Tiene por objetivo establecer medidas para la obtención de la muestra necesaria en el laboratorio para llevar a cabo los ensayos de modo que la muestra total elegida sea representativa.

#### **NTP 339.127 – MTC E108. Método de Ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo-1999**

[26] Tiene por objetivo establecer la metodología para cuantificar la cantidad de humedad de un suelo, para materiales compuestos de turba se lleva a cabo el ensayo ASTM D2974

#### **NTP 339.128. Suelos. Método de ensayo para el análisis granulométrico-1999**

[27] Tiene por objetivo establecer la metodología para el análisis granulométrico a través del tamizado y la sedimentación del suelo.

#### **NTP 339.129. Suelos. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos-1999.**

[28] Tiene por objetivo establecer la metodología para determinar el límite plástico, líquido, y el índice de plasticidad para una muestra de suelo.

**NTP 339.134 Suelos. Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS)-1999**

[29] Tiene por objetivo sistematizar la clasificación de los suelos y los minerales para fines de ingeniería, se basa en la identificación de características granulométricas, límite líquido y plástico. Se debe utilizar cuando se requiera una precisa clasificación.

**NTP 399.604 Unidades de Albañilería. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto - 2002**

[30] Su propósito es definir la metodología para tomar muestras y llevar a cabo pruebas en unidades de albañilería de concreto, con el fin de obtener información sobre dimensiones, peso por unidad, resistencia a la compresión, absorción y contenido de humedad.

**NTP 399.613 Unidades de Albañilería. Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería - 2017**

[31] Tiene por objetivo establecer la metodología de muestreo y el ensayo de unidades de albañilería de arcilla cocida, la sección sobre la metodología para la determinación de la absorción de las unidades de albañilería será adaptada para estudiar la permeabilidad de las unidades de albañilería de tierra reforzada.

**Ensayo de Materiales**

**Selección del suelo: “in situ”**

**Normativa**

NORMA E.080 [19]

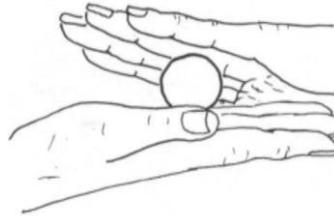
**Prueba “Cinta de barro”**

La detección inicial de la presencia de arcilla en el suelo se puede realizar en aproximadamente 10 minutos mediante la prueba conocida como "Cinta de barro". Esta prueba implica tomar una muestra de barro, formada con la tierra del suelo que se va a utilizar, y mezclarla con la cantidad adecuada de agua para formar un cilindro con un diámetro de 12 mm. Luego, se coloca este cilindro en la palma de la mano y se aplana con los dedos hasta obtener una cinta con un espesor de 4 mm. Se deja que esta cinta se deslice y se mide la longitud que alcanza. Se considera que el suelo contiene un alto contenido de arcilla si la cinta alcanza una longitud de 20 a 25 cm. Por otro lado, se determina que el suelo carece de arcilla si la longitud de la cinta se corta a los 10 cm o menos [19].

**Prueba “Presencia de arcilla” o “Resistencia seca”**

La segunda verificación de presencia de arcilla en el suelo se puede determinar en un tiempo aproximado de 2 días mediante la prueba “Presencia de arcilla” o “Resistencia seca”, el cual consiste en formar 4 masas esféricas o “bolitas” con tierra del suelo que se pretende usar y una

cantidad mínima de agua que permita la formación de cada masa esférica en la palma de las manos evitando una significativa deformación al secarse. [19]



*Fig 2: Prueba “Presencia de arcilla” o “Resistencia seca”- Formación de bolitas [19]*

Las 4 “bolitas” deben tener un periodo de secado de 48 horas sin que se humedezcan por agentes externos como lluvias o salpicaduras.

Después del periodo de secado, se presiona con el dedo índice y pulgar a cada una de las cuatro “bolitas”. Si por lo menos una de las 4 “bolitas” se agrieta, se debe repetir la prueba. Si tras la repetición, se vuelve a romper al menos una de las 4 “bolitas” se descarta la cantera de suelo que se pretende usar para la producción de unidades de tierra reforzada. Si ninguna de las 4 “bolitas” se rompe, se determina que el suelo de la cantera que se pretende usar sirve. [19]



*Fig 3: Prueba “Presencia de arcilla” o “Resistencia seca” – Aplastamiento de bolitas [19]*

## **Selección del suelo: “Ensayos en Laboratorio”**

### **Granulometría**

#### **Normativa:**

NTP 339.128 [27]

#### **Definición**

Determina cuantitativamente la distribución de tamaños de partículas de muestras de suelos. El tamizado se realiza para clasificar partículas mayores que 75 micrómetros (tamiz N°200). La sedimentación se realiza para aquellas partículas menores que 75 micrómetros. [27]

#### **Procedimiento**

La porción retenida en el tamiz N°10 (2 milímetros) se separa en fracciones mediante los tamices: 75 mm, 50 mm, 37.5 mm, 25 mm, 19 mm, 9.5 mm, 4.75 mm y 2 mm. [27]

### **Cálculo**

Para calcular el porcentaje que pasa por un tamiz se multiplica por 100 a la relación entre la masa que pasa por dicho tamiz y la masa del suelo usado para el ensayo.

Para calcular la masa acumulada que pasa por un determinado tamiz, se añade la masa acumulada que pasaron por los tamices anteriores a este.

Para calcular el porcentaje acumulado que pasa por un determinado tamiz, se multiplica por 100 a la relación entre la masa acumulada que pasa por dicho tamiz y la masa total del suelo usado para el ensayo. [27]

### **Contenido de Humedad**

#### **Normativa**

NTP 339.127 [26]

#### **Definición**

Relación, en términos de porcentaje, del peso del agua y de partículas sólidas en una determinada muestra de suelo. [26]

#### **Procedimiento**

Se registra el peso de un contenedor limpio y se rotula.

Se introduce una muestra de suelo en el recipiente y se procede a medir su peso utilizando una balanza.

Se coloca el contenedor con la muestra en el horno bajo una temperatura de  $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  durante 12 – 16 horas.

Se determina el nuevo peso del contenedor con la muestra secada al horno. [26]

### **Cálculo**

El contenido de humedad de la muestra se calcula a través de la siguiente expresión: [26]

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo sec al horno}} \times 100$$

$$W = \frac{M_{CWS} - M_{CS}}{M_{CS} - M_C} \times 100$$

$$W = \frac{M_W}{M_S} \times 100$$

Donde:

$W$  : Contenido de humedad (%)

$M_{CWS}$  : Peso del contenedor + Suelo húmedo (g)

$M_{CS}$  : Peso del contenedor + Suelo secado en horno (g)

$M_C$  : Peso del contenedor (g)

$M_W$  : Peso del agua ( $g$ )

$M_S$  : Peso de las partículas sólidas ( $g$ )

### **Límite Líquido**

#### **Normativa**

NTP 339.129 [28]

#### **Definición**

Contenido de humedad, en términos de porcentaje, en el que el estado de un suelo se encuentra entre el límite líquido y el límite plástico. [28]

#### **Procedimiento**

Para las muestras que atraviesan el tamiz de 425 micrómetros (N°40), se prepara un espécimen que consiste en 150 a 200 gramos del material retenido, junto con agua destilada, en una placa de vidrio utilizando una espátula.

Se ajusta la cantidad de agua hasta lograr una consistencia en la que el dispositivo de límite líquido requiera de 25 a 35 golpes para cerrar la ranura.

En la copa del dispositivo de límite líquido, colocar una porción del suelo preparado, esparcir hasta formar una superficie horizontal con una profundidad de 10 mm. Evitar la formación de burbujas y retener la humedad en la muestra del suelo que no está siendo usado.

Con ayuda del acanalador, realizar una ranura entre el punto más alto y bajo de la copa a manera de dividir la muestra que contiene. Trazar un arco al momento de cortar la ranura mientras se mantiene la superficie de la copa con el acanalador de manera perpendicular en todo momento.

Inspeccionar la no existencia de restos de suelo debajo de la copa. Levantar, soltar la copa y girar el manubrio a razón de 1.9 a 2.1 golpes por segundo hasta que la distancia entre las dos mitades de suelo sea de 13 mm o 1/2 pulgada.

Se toma nota del número de golpes  $N$  que cerraron la ranura. Se toma una tajada de la muestra del suelo en la copa con la espátula y se extiende a lo largo de la torta de suelo.

Se coloca en un recipiente cuyo peso es sabido y se procede a cubrir.

Se prepara una nueva muestra en el plato de mezclado con agua destilada para aumentar la humedad y reducir el número de golpes  $N$ . Se repiten por lo menos dos pruebas más, buscando un cierre de ranura con 25-35 golpes, con 20-30 golpes, y con 15-25 golpes.

Se determina el contenido de humedad del suelo para cada una de las pruebas. [28]

### **Cálculo**

Se representa como una relación en un gráfico semilogarítmico entre el número de golpes “N” (abscisas) y el contenido de humedad “W” (ordenadas). Se traza una línea que pase por 3 o más puntos en el gráfico.

Para calcular el valor del contenido de humedad se identifica la abscisa de 25 golpes y se proyecta una línea vertical que intercepte la línea inclinada. Se toma dicho valor como el límite líquido. [28]

### **Límite Plástico**

#### **Normativa**

NTP 339.129 [28]

#### **Definición**

Contenido de humedad, expresado como un porcentaje, en el cual el estado de un suelo se sitúa entre el límite plástico y el límite semisólido. [28]

#### **Procedimiento**

Preparar una muestra de suelo de 20 gramos con la cantidad de agua necesaria en la que su consistencia le permita enrollarse sin adherirse a las manos.

Tomar una porción de 1.5 a 2 gramos de la muestra de 20 gramos y elaborar con ella una masa elipsoidal. Enrollar dicha masa sobre la placa de vidrio aplicando una presión uniforme hasta formar un hilo con 3.2 mm de diámetro o 1/8 de pulgada en un tiempo menor a 2 minutos.

Al llegar al diámetro requerido (3.2 mm), se rompe el hilo en varios pedazos, se forma una nueva masa con los pedazos y se repite el procedimiento de la formación del hilo una y otra vez hasta que el suelo muestre signos de fisuras al formar el hilo o se desmorone. No se debe inducir a la falla.

Se reúnen las porciones del hilo agrietado sobre un recipiente, cubierto, y repetir el proceso de formación del hilo hasta encontrar su falla una y otra vez hasta que se tenga como mínimo 6 gramos de porciones de hilo agrietado.

Se repite el procedimiento hasta obtener otro recipiente de porciones de hilo agrietado de por lo menos 6 gramos.

Se calcula el contenido de humedad de las porciones del hilo agrietado para cada uno de los recipientes. [28]

### **Cálculo**

Se calcula el contenido de humedad en ambas muestras.

Se repite el procedimiento si la diferencia entre ambos contenidos de humedad es mayor 2.6.

Se promedia ambos contenidos de humedad. [28]

## **Índice de Plasticidad**

### **Normativa**

NTP 339.129 [28]

### **Definición**

Rango de contenido de humedad en el que un suelo tiene un comportamiento plástico. [28]

### **Cálculo**

Se determina a través de la expresión presentada a continuación: [28]

$$I.P = L.L - L.P$$

Donde:

*I.P*: Índice de Plasticidad

*L.L*: Límite Líquido

*L.P*: Límite Plástico

En caso no pueda determinarse alguno de los límites, o  $L.L \leq L.P$ , se clasifica el suelo como no plástico (N.P)

## **Ensayos a las unidades de tierra reforzada**

### **Ensayos físicos**

#### **Pesaje**

##### **Normativa**

NTP 399.613 [30]

##### **Definición**

Cantidad de masa, en gramos, de la unidad bajo condiciones especificadas por el investigador. [30]

##### **Procedimiento**

Se identifica y rotula cada unidad para posteriormente colocarse sobre la balanza electrónica y registrar el peso que se indica en el instrumento. [30]

##### **Medición dimensional**

###### **Normativa**

NTP 399.613 [30]

###### **Definición**

Medida de las longitudes: ancho, largo y alto de cada unidad. [30]

###### **Procedimiento**

Se identifica y rotula cada unidad para posteriormente medir sus longitudes con una regla y registrar los datos de dicho instrumento. [30]

## **Absorción en unidades**

### **Normativa**

Adaptación de la NTP 399.613 [30]

### **Definición**

Cantidad de agua absorbida por una unidad de un grupo de muestras en un tiempo específico determinado por el investigador. [30]

### **Procedimiento**

Pesar los especímenes de prueba en condiciones secas.

Sumergir los especímenes en agua potable, destilada o de lluvia bajo una temperatura entre 15.5 – 30 °C durante 60 segundos.

Pesar los especímenes de prueba después de haber sido sumergidos. [30]

### **Cálculo**

El Cálculo del porcentaje de absorción de cada espécimen se determina a través de la expresión presentada a continuación: [30]

$$Abs \% = 100 \frac{(W - W_d)}{W_d}$$

Donde:

$W$ : Peso seco del espécimen

$W_d$ : Peso del espécimen después de la sumersión en agua

## **Inundación simulada del murete**

### **Normativa**

No existe normativa relacionada a la inundación simulada del murete, sin embargo, se toman como referencia trabajos de investigación realizados en la PUCP: Pontificia Universidad Católica del Perú.

### **Definición**

Ensayo que simula la inundación de muretes de unidades de tierra reforzada cuyo objetivo es encontrar el tiempo de derrumbe del murete bajo inundación.

### **Procedimiento**

Las consideraciones mencionadas a continuación son propuestas por el investigador.

Se construyen dos piscinas de unidades de arcilla cocida y se tarrajea su interior aplicando un impermeabilizante para evitar pérdidas de agua.

Se construye un murete por piscina de dimensiones:  $1.3m \times 1.3m \times e$

Se toman medidas de la ascensión del agua por capilaridad cada 60 minutos.

Se registra el tiempo de derrumbe de cada murete de ensayo.

## **Ensayos mecánicos**

### **Resistencia del material tierra a la compresión**

#### **Normativa**

NORMA E.080 [19]

#### **Definición**

Determinación de una carga que actúa sobre un sólido (en este caso de tierra reforzada) hasta que este se fracture para medir la resistencia del material a la compresión. [19]

#### **Procedimiento**

Se elaboran muestras de tierra reforzada de 0.1m de arista para el grupo control y experimental y se dejan secar por 28 días.

Se rotula cada espécimen y se toman medidas de sus longitudes.

Se uniformiza la superficie de los especímenes con yeso y se ensayan en la máquina de compresión.

Se registran las cargas bajo las cuales los especímenes se fracturan. [19]

### **Resistencia del material tierra a la tracción**

#### **Normativa**

NORMA E.080 [19]

#### **Definición**

Determinación de una carga que actúa sobre un cilindro orientado de manera horizontal (en este caso de tierra reforzada) hasta que este se fracture para medir la resistencia del material a la tracción. [19]

#### **Procedimiento**

Se elaboran unidades cilíndricas de tierra reforzada de 6" de diámetro y 12" de largo para el grupo control y experimental y se dejan secar por 28 días.

Se rotula cada espécimen y se toman medidas de sus dimensiones.

Se ensayan los especímenes en la máquina de compresión a una velocidad entre 0.9 *Mpa/min* y 1.2 *Mpa/min*.

Se registran las cargas bajo las cuales los especímenes se fracturan. [19]

### **Resistencia del murete a la compresión**

#### **Normativa**

NORMA E.080 [19]

#### **Definición**

Determinación de una carga que actúa sobre un murete de albañilería (en este caso de tierra reforzada) hasta que este se fracture para hallar la resistencia del murete a la compresión. [19]

### **Procedimiento**

Se elaboran muretes de tierra reforzada a manera de pilas de unidades de dimensiones de  $0.08m \times 0.16m \times 0.08m$  para el grupo control y experimental y se dejan secar por 28 días.

Se rotula cada murete y se ensayan en la máquina de compresión.

Se registran las cargas bajo las cuales los especímenes se fracturan.

### **Resistencia del murete a la tracción indirecta**

#### **Normativa**

NORMA E.080 [19]

#### **Definición**

Determinación de una carga que actúa sobre un murete de albañilería (en este caso de tierra reforzada) orientado de manera diagonal hasta que este se fracture para cuantificar la resistencia del murete a la tracción. [19]

### **Procedimiento**

Se elaboran muretes de tierra reforzada de  $0.65m \times 0.65m \times 0.1m$  de unidades de dimensiones de  $0.1m \times 0.2m \times 0.12m$  para el grupo control y experimental y se dejan secar por 28 días.

Se rotula cada murete y se ensayan, orientados de manera diagonal, en la máquina de compresión.

Se registran las cargas bajo las cuales los especímenes se fracturan.

## **Materiales y métodos**

### **Tipo y nivel de investigación**

#### **Tipo de investigación**

Este estudio se clasifica como investigación aplicada, ya que busca abordar un problema específico mediante la presentación de una propuesta para su resolución. La problemática del fenómeno del niño y los sismos de moderada magnitud generan que las viviendas construidas con unidades de tierra reforzada se vean afectadas debido a su gran permeabilidad y baja resistencia, por ello se plantea abordar el mejoramiento de su resistencia con la integración de estiércol de *Equus asinus* y reducir su permeabilidad con la aplicación del estearato de calcio.

De acuerdo con el tipo de datos a analizar prepondera un tipo de investigación cuantitativa pues se pretende obtener resultados cuantificables, sin embargo, en menor proporción, debido a ciertos criterios y características propias del material, la investigación también es cualitativa. Por un lado, en relación con el aumento de la resistencia a la compresión y tracción, los datos

son netamente cualitativos, por otro lado, en relación con el estudio de la reducción a la permeabilidad existe una mezcla de datos cualitativos y cuantitativos.

Al final, conforme a la metodología, esta investigación se clasifica como experimental, ya que se modificarán las variables independientes mediante ensayos normalizados y adaptados, facilitando así el análisis de su impacto en las variables dependientes.

### **Nivel de investigación**

El presente estudio se realizará a nivel explicativo debido a que se busca establecer una correlación entre las variables independientes y dependientes. Por un lado, se pretende examinar cómo la inclusión de estiércol de *Equus asinus* afecta la resistencia a la compresión y tracción en las unidades de tierra reforzada. Por otro lado, se busca investigar cómo el estearato de calcio influye en la permeabilidad de estas unidades.

### **Diseño de investigación**

La investigación presenta un diseño de investigación experimental debido a que se pretende manipular, intencionalmente, los parámetros de las variables independientes con el fin de analizar las consecuencias sobre una o más variables tras dicha manipulación.

En este caso se pretende manipular los porcentajes de estiércol del equino *Equus asinus* (variable independiente) y verificar su incidencia en la resistencia a la compresión y tracción de las unidades de tierra reforzada (variables dependientes) en diferentes porcentajes de incorporación, así como también, ver el efecto de adicionar estearato de calcio (variable independiente) en la reducción de la permeabilidad de dichas unidades (variable dependiente). Este diseño es cuasiexperimental debido a que se utilizarán dos grupos: un grupo control y otro experimental.

Para estudiar las propiedades mecánicas de las unidades de tierra reforzada (resistencia a la compresión y tracción), el grupo control lo conforman aquellas unidades sin incorporación de estiércol y el grupo experimental aquellas unidades con incorporación de estiércol en diferentes porcentajes (3%, 6%, 9%, 12% y 15%).

Para estudiar la permeabilidad de las unidades de tierra reforzada, el grupo control lo conforman aquellas unidades sin espolvoreo de estearato de calcio y el grupo experimental corresponde a aquellas unidades de tierra reforzada con espolvoreo de estearato de calcio en toda su superficie.

Después de analizar la influencia del estiércol en las propiedades mecánicas de las unidades de tierra reforzada, se determina un porcentaje ideal (aquel porcentaje que proporciona la mejora más notable en comparación a sus semejantes). Asimismo, después de analizar la influencia del estearato de calcio sobre la permeabilidad de las unidades de tierra reforzada se

determina si tiene influencia o no. Con ello, se siguen realizando los ensayos, pero a nivel de muretes.

De este modo, se busca determinar si la incorporación de estiércol de *Equus asinus* tiene un efecto positivo en las propiedades mecánicas estudiadas de las unidades de tierra reforzada. De manera similar, se busca evaluar si el espolvoreo de estearato de calcio tiene un impacto positivo en la permeabilidad de estas unidades. Además, se analiza la viabilidad económica de esta alternativa para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de tierra reforzada.

### Diagrama de flujo del desarrollo de la investigación

El siguiente diagrama de flujo muestra todas las etapas de la investigación, así como también los ensayos que de acuerdo con la normativa correspondiente se deben realizar tanto en unidades como en muretes de tierra reforzada. Para la elaboración del diagrama de flujo se acudió a la pizarra digital Miro.

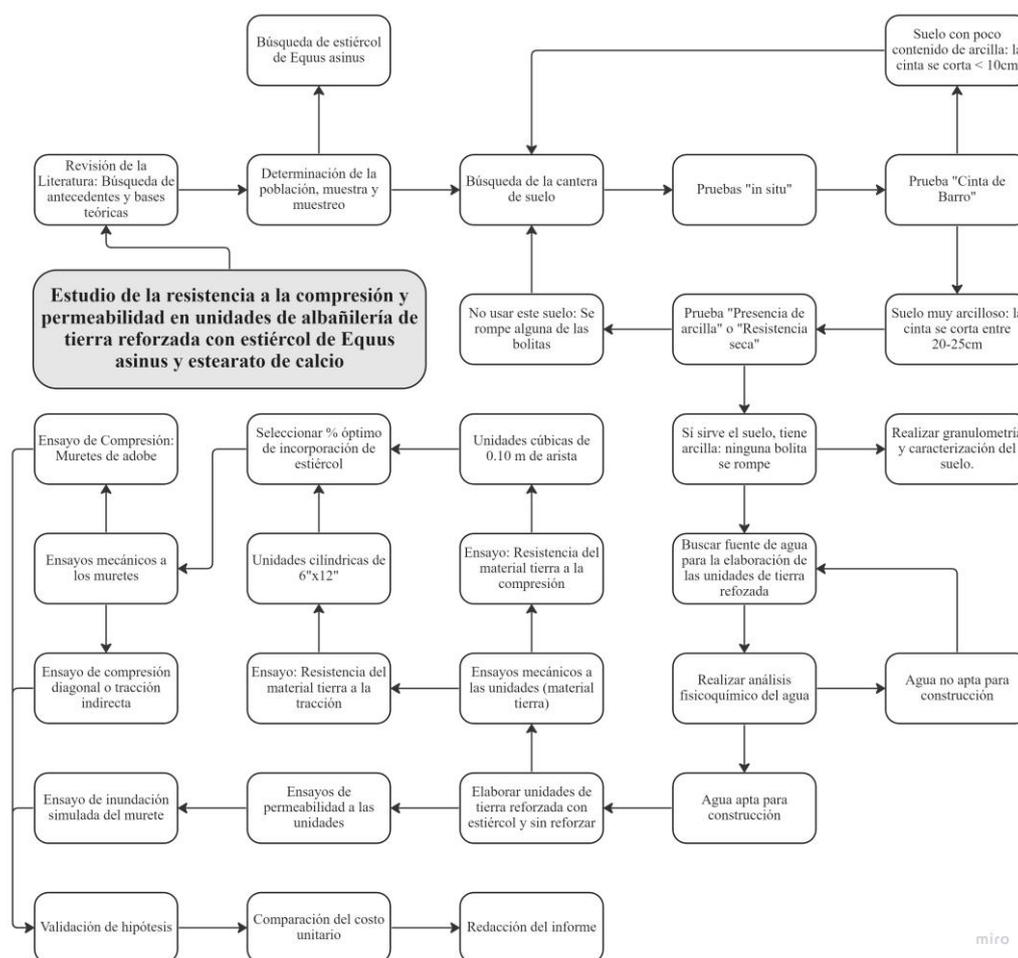


Fig 5: Diagrama de flujo de la investigación

### **Población, muestra de estudio y muestreo**

La población se refiere a un conjunto de casos relacionados al objeto estudiado en determinadas características.

En la presente investigación, la población se clasificó en:

#### **Población de unidades de tierra reforzada:**

Abarca tanto las unidades de tierra sin refuerzo, conocidas comúnmente como adobes, como también las unidades de tierra reforzada con estiércol de *Equus asinus* en diferentes proporciones: 3%, 6%, 9%, 12% y 15% en relación con el peso del adobe. La fabricación de estas unidades ya sea reforzada o no, se llevó a cabo en el distrito de Ferreñafe, seleccionado debido a la presencia de numerosas ladrilleras artesanales que confirman las óptimas características del suelo para la elaboración de adobes y ladrillos.

De acuerdo con la Norma E.080: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON TIERRA REFORZADA, un suelo es considerado apto para la elaboración de unidades de tierra reforzada cuando presenta arcilla. Para ello, se realizan dos pruebas “in situ”: “Prueba de cinta de barro” y “Presencia de arcilla”.

De acuerdo con la Norma E.050: SUELOS Y CIMENTACIONES, para el muestreo del suelo, se recurrió a un tipo de muestra tipo Mab “in situ” sin alterar la granulometría del suelo en su estado natural al momento de tomar las muestras. La caracterización del suelo corroborará la presencia de arcilla en laboratorio.

En el desarrollo de la presente investigación, para estudiar las propiedades de mejora en las unidades y muretes de tierra reforzada se realizarán 6 ensayos, teniendo una población de 100 especímenes, con 320 unidades de diferentes tamaños que se detallarán más adelante.

#### **Población de estiércol de *Equus asinus*:**

Debido a la gran extensión de la zona rural en Ferreñafe, es común la posesión de la especie *Equus asinus* para labores de carga en el ámbito agrícola, para delimitar la zona, se ha escogido un solo lugar de dónde obtener el estiércol de *Equus asinus*, procurando usar el mismo tipo de estiércol en el desarrollo de todos los ensayos de la presente investigación.

#### **La Muestra**

En el presente estudio, las muestras para la población de las unidades de tierra sin reforzar serán bloques hechos solo de tierra, y bloques con la incorporación de estiércol de *Equus asinus* y estearato de calcio. Se contrastaron ambas muestras para la evaluación del efecto en sus propiedades.

La muestra de estiércol de *Equus asinus* será proveniente de un solo espécimen, procurando que su estado de salud sea bueno y lleve una alimentación basada en plantas fibrosas como el algarrobo, paja, heno, etc.

### **Muestreo**

Se ha empleado un método de muestreo no probabilístico por conveniencia para seleccionar las unidades de albañilería de tierra reforzada elaboradas en cada dosificación de estiércol de *Equus asinus*, así como también para las unidades que serán tratadas con espolvoreado de estearato de calcio.

### **Criterios de Selección**

La Norma E.080 indica los alineamientos concernientes a los ensayos de unidades de tierra reforzada. No obstante, en algunos ensayos, al no contar con normativa específica, se ha seguido el criterio del Investigador para determinar el número de muestras a ensayar. A continuación, se detallan dichos ensayos:

#### **Ensayo de resistencia del material tierra a la compresión:**

De acuerdo con la Norma E.080, el número de muestras a ensayar son 6.

*Tabla 1: Total de muestras del ensayo de resistencia del material tierra a la compresión*

Ensayo	Grupo Control	Grupo Experimental (con Estiércol de <i>Equus asinus</i> )				
		3%	6%	9%	12%	15%
Resistencia a la compresión (28 días)	6 und	6 und	6 und	6 und	6 und	6 und
<b>TOTAL</b>		36 und				

#### **Ensayo de resistencia del material tierra a la tracción:**

De acuerdo con la Norma E.080, el número de muestras a ensayar son 6.

*Tabla 2: Total de muestras del ensayo de resistencia del material tierra a la tracción*

Ensayo	Grupo Control	Grupo Experimental (con Estiércol de <i>Equus asinus</i> )				
		3%	6%	9%	12%	15%
Resistencia a la tracción (28 días)	6 und	6 und	6 und	6 und	6 und	6 und
<b>TOTAL</b>		36 und				

#### **Ensayo de absorción en unidades:**

Tomando en cuenta la NTP 399.613 y estudios realizados por la PUCP, se ha optado por ensayar 6 muestras para cada grupo de estudio.

*Tabla 3: Total de muestras del ensayo de absorción de unidades de tierra reforzada*

Ensayo	Grupo Control	Grupo Experimental (espolvoreo de estearato de calcio)
Absorción (28 días)	6 und	6 und
<b>TOTAL</b>		12 und

### **Ensayo de resistencia del murete a compresión:**

De acuerdo con la Norma E.080, el número de muestras a ensayar son 6.

*Tabla 4: Total de muestras del ensayo de Resistencia del murete a la compresión*

Ensayo	Grupo Control	Grupo Experimental (% de estiércol óptimo)
Compresión en Muretes (28 días)	6 mur	6 mur
<b>TOTAL</b>		12 mur
<b>TOTAL</b>		36 und

### **Ensayo de resistencia del murete a la tracción indirecta:**

De acuerdo con la Norma E.080, el número de unidades muestrales a ensayar son 6.

*Tabla 5: Total de muestras del ensayo de Resistencia del murete a la tracción indirecta*

Ensayo	Grupo Control	Grupo Experimental (% de estiércol óptimo)
Tracción en Muretes (28 días)	6 mur	6 mur
<b>TOTAL</b>		12 mur
<b>TOTAL</b>		120 und

### **Ensayo de inundación simulada del murete:**

Tomando en cuenta estudios realizados por la PUCP, se ha optado por ensayar un murete por cada grupo de estudio.

*Tabla 1: Total de muestras del ensayo de inundación simulada del murete*

Ensayo	Grupo Control	Grupo Experimental (% de estiércol óptimo y estearato de calcio)
Inundación (28 días)	1 mur	1 mur
TOTAL		2 mur
TOTAL		80 und

### **Operacionalización de Variables**

#### **Variables Independientes:**

Su manipulación está sujeta al fin del investigador. En la investigación se identifican las variables independientes:

Estiércol de *Equus asinus*

Estearato de Calcio

#### **Variables Dependientes:**

Las variables dependientes son aquellas que están sujetas a cambios como resultado de la manipulación de las variables independientes. En esta investigación, se han identificado las siguientes variables dependientes:

Resistencia del material tierra a la compresión

Resistencia del material tierra a la tracción

Absorción en unidades

Resistencia del murete la compresión

Resistencia del murete a la tracción

Permeabilidad del murete

#### **Variables Intervinientes:**

No dependen de ninguna de las anteriores, pero de ellas depende su relación. En la investigación se identifican las variables intervinientes:

Composición del suelo

Composición del agua

Tabla 7: Tabla de Operacionalización de Variables

VARIABLE		DIMENSIÓN	INDICADORES	INSTRUMENTO	MEDICIÓN
TIPO	DESCRIPCIÓN				
<b>INDEPENDIENTE</b>	Estiércol de Equus asinus	Dosificación de estiércol de Equus asinus	0%, 3%, 6%, 9%, 12% y 15% de estiércol	Resultados de la gravedad específica del suelo	kg
	Estearato de calcio	Dosificación de estearato de calcio	0% y 100% de estearato de calcio	Resultados del área superficial de las muestras	kg
<b>DEPENDIENTE</b>	Propiedades de las muestras de tierra reforzada	Propiedades físicas	Pesaje	NTP 399.613	kg
			Medición dimensional	NTP 399.613	cm
			Absorción	NTP 399.613	%
	Propiedades mecánicas	Propiedades mecánicas	Inundación Simulada	Resultados de absorción	%, min
			Resistencia del material tierra a la compresión	NORMA E.080	kg/cm <sup>2</sup>
			Resistencia del material tierra a la tracción	NORMA E.080	kg/cm <sup>2</sup>
			Resistencia del murete a la compresión	NORMA E.080	kg/cm <sup>2</sup>
			Resistencia del murete a la tracción indirecta	NORMA E.080	kg/cm <sup>2</sup>
	Costo de producción	Evaluación económica	Costo de materiales	Microsoft Excel	S/.
			Costo de equipos y herramientas	Microsoft Excel	S/.
<b>INTERVINIENTE</b>	Composición del suelo	Propiedades físicas	Costo de personal	Microsoft Excel	S/.
			Límite Líquido	NTP 339.129	%
			Límite Plástico	NTP 339.129	%
			Índice de Plasticidad	NTP 339.129	%
			Contenido de Humedad	NTP 339.129	%
			Granulometría	NTP 339.128	-
			Gravedad específica	NTP 339.131	kg/m <sup>3</sup>
			Cinta de barro	NORMA E.080	-
			Cantidad de arcilla	NORMA E.080	-
			Presencia de arcilla		-
Composición del agua	Propiedades químicas	Control de calidad del agua	Registro en Laboratorio	-	

## **Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

### **Técnicas**

#### **Observación directa:**

Registro visual de datos para capturar los resultados de la investigación.

#### **Análisis de Documentos**

Revisión de la literatura mediante fuentes primarias y secundarias que abordan la problemática de las viviendas de tierra reforzada frente a sismos de gran magnitud e inundaciones, así como estudios recientes sobre la mejora de las propiedades de estas unidades. Estas fuentes se han utilizado como referencia para cumplir con los objetivos establecidos en esta investigación.

#### **Experimentos**

Gestión de las variables de estudio en los diversos ensayos planteados para evaluar las características de las unidades de tierra reforzada.

### **Fuentes y Programas**

#### **Fuentes**

Los artículos científicos recopilados como antecedentes internacionales en relación con el tema de investigación provienen de la base de datos SCOPUS.

Los procedimientos y ensayos planteados se basan en:

RNE: Reglamento Nacional de Edificaciones

Norma E.080: “Diseño y construcción con tierra reforzada”

NTP: Normas Técnicas Peruanas

#### **Programas**

Autodesk: AutoCAD 2023

Microsoft Office: Word, Excel

Google Chrome: Herramientas para sistematizar la información.

### **Instrumentos**

#### **Guías de Recolección de datos**

Para analizar el impacto de las variables independientes en las variables dependientes, se emplean guías de recolección de datos. A continuación, se detallan cada una de ellas:

#### **Ensayos “in situ”**

Prueba “Cinta de barro”

Prueba “Presencia de arcilla” o “Resistencia seca”

#### **Ensayos de laboratorio**

Granulometría

Contenido de humedad

Límites de Atterberg

### **Ensayos de determinación de las propiedades físicas de las unidades de tierra reforzada**

Pesaje

Medición Dimensional

Absorción

### **Ensayos de determinación de las propiedades mecánicas de las unidades de tierra reforzada**

Ensayo de resistencia del material tierra a la compresión

Ensayo de resistencia del material tierra a la tracción

### **Ensayos de determinación de las propiedades físicas de los muretes**

Ensayo de inundación simulada del murete

### **Ensayos de determinación de las propiedades mecánicas de los muretes**

Ensayo de resistencia del murete a la compresión

Ensayo de resistencia del murete a la tracción indirecta

### **Aplicación de los aditivos**

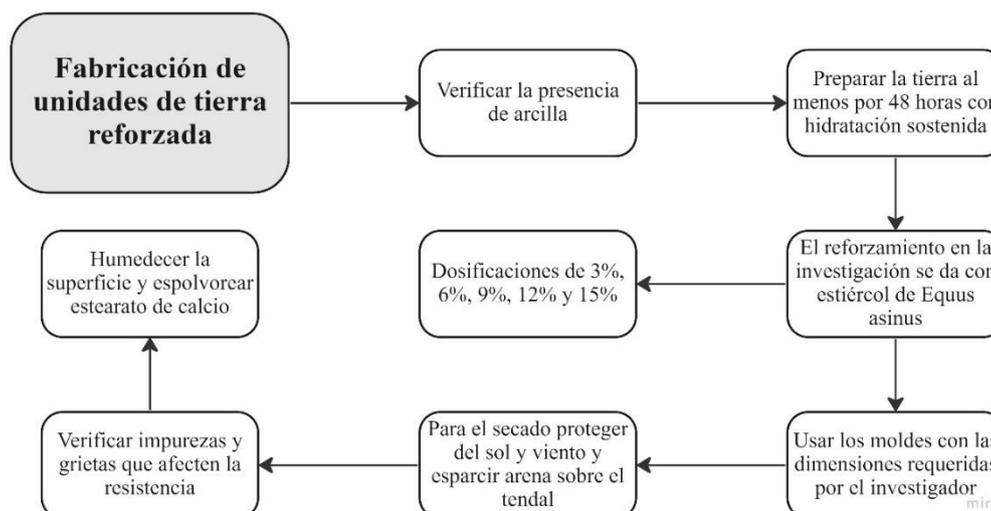
#### **Incorporación del estiércol de Equus asinus**

La fabricación de las unidades de tierra reforzada con estiércol de Equus asinus siguen el proceso convencional de fabricación contemplado en la Norma E.080 descrito en las Bases teóricas. Su incorporación se da durante el proceso de dormir el barro y la dosificación, para fines de estudio, dependen de la disposición del investigador para cada grupo experimental. A grandes rasgos, su incorporación sustituye la incorporación estandarizada de paja.

#### **Incorporación del estearato de calcio**

El espolvoreo de estearato de calcio sobre la superficie de las unidades muestrales se da después de la fabricación de estas mismas. Esperar 2 semanas de secado de las unidades protegidas del viento y sol (a esta edad de secado su consistencia no es plástica y se pueden manipular sin peligro de deformación), humedecer su superficie con un pulverizador y espolvorear directamente el estearato de calcio procurando uniformizar el espolvoreo en toda la superficie.

A continuación, se sistematiza las etapas durante la fabricación de las unidades de tierra reforzada en las cuales se incorpora el estiércol de Equus asinus y el estearato de calcio.



*Fig 6: Proceso de incorporación del estiércol de Equus asinus y el espolvoreo de estearato de calcio en las unidades de tierra reforzada*

### **Ensayos adaptados:**

#### **Ensayo de absorción en unidades**

Actualmente no existe alguna normativa peruana que contemple los parámetros y disposiciones para estudiar la absorción en unidades de tierra reforzada. Debido a ello, se ha propuesto una modificación al ensayo de absorción en unidades de albañilería de arcilla cocida descrito en la NTP. 399.613, 2005. Las modificaciones contemplan:

Secar las muestras a temperatura ambiente, sin forzar el secado mediante un horno para no modificar las propiedades físicas del material.

El tiempo de sumergimiento de los especímenes sea solo de 5 minutos y no de 24 horas debido a que la tierra reforzada al sumergirse en agua presenta una erosión acelerada muy severa ocasionando que el material se desprenda con facilidad, la evidencia de ello es la turbidez del agua y la formación casi inmediata de barro.

### **Ensayos propuestos:**

#### **Ensayo de inundación simulada**

Actualmente no existe alguna normativa peruana que contemple los parámetros y disposiciones para estudiar la permeabilidad en muretes de tierra reforzada. Debido a ello, se ha recurrido revisar investigaciones experimentales que propongan este estudio. Así, se diferenció una investigación en La Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) donde se simula la inundación de un murete de tierra reforzada erigido dentro de una estructura de concreto a manera de piscina.

El número de especímenes de ensayo es 1 para cada grupo de estudio. Es decir, 1 murete para el grupo control: Sin incorporación de estiércol de Equus asinus ni estearato de calcio y 1

murete para el grupo experimental: Con la incorporación del porcentaje óptimo de estiércol de *Equus asinus* y estearato de calcio obtenido en los ensayos a nivel de unidades.

La metodología del ensayo consiste en erigir el murete dentro de la piscina (sin agua), dejarlo secar por 28 días, y luego inundar la piscina con una altura de agua de 30 centímetros.

Los datos recolectados pertenecen a las mediciones de la ascensión del agua por capilaridad percibida en el murete en periodos de tiempo de 5 minutos. Asimismo, se toma el tiempo en el que ambos muretes fallan, es decir cuando el agua erosiona por completo la base del murete provocando que este caiga.

### **Procedimientos**

#### **Lugar de fabricación de las unidades de tierra reforzada**

La cantera elegida en este estudio se ubica en Guanabal, en el distrito de Mesones Muro. Este distrito se encuentra en la provincia de Ferreñafe cuya ubicación dista de 16 km de la ciudad de Chiclayo, capital de la región Lambayeque. Se escogió este lugar debido a que esta cantera es usada para la elaboración artesanal de unidades de arcilla cocida y es por ello por lo que existen alrededor de 6 ladrilleras artesanales en esta zona.



*Fig 4: Lugar de fabricación de las unidades de tierra reforzada*



*Fig 5: Ladrillera artesanal ubicada en la zona*

### Selección del estiércol de *Equus asinus*

El lugar de dónde se obtuvo el estiércol de *Equus asinus* se ubica en Luzfaque-Ferreñafe. La elección de este lugar se basó en su proximidad a la cantera de suelo seleccionada y en la facilidad de acceso para el investigador.



Fig 6: Ubicación del lugar de obtención de estiércol de *Equus asinus*

### Compra del Estearato de Calcio

Se acudió a la empresa OREGON CHEM GROUP, que, a través de Productos Industriales Perú, distribuye Estearato de Calcio a todas las regiones del Perú. Se escogió dicha empresa por contar con la ficha técnica del producto, además de contar con la buena aprobación de sus clientes.



Fig 7: Sitio web de Productos Industriales Perú

### Selección del suelo para la fabricación de las unidades muestrales de tierra reforzada

El suelo de la cantera debe contener arcilla, limos, arena gruesa y fina, siendo la arcilla el componente más importante debido a la plastificación que le otorga a la masa al interactuar con el agua y la resistencia que alcanza al llegar a su condición seca.

### Obtención de la muestra de suelo

De una profundidad de 0.65 – 0.70m, se extrajo una muestra representativa de suelo de la cantera elegida para la elaboración de las unidades muestrales de tierra reforzada.



*Fig 8: Obtención de la muestra del suelo*

### **Pruebas de selección y control de suelo**

#### **Prueba “Cinta de Barro”**

Se elige una pequeña muestra representativa de suelo y se humedece con el objeto de formar un cilindro de 12mm de diámetro.



*Fig 9: Prueba "Cinta de Barro"*

Se toma el cilindro formado anteriormente sobre la palma de las manos y se aplana con los dedos hasta formar una cinta de 4mm de diámetro.



*Fig 10: Prueba "Cinta de Barro"*

De acuerdo con la Norma E080, si la cinta se rompe entre 20 – 25cm el suelo presenta contenido de arcilla, si se rompe cuando la cinta mide menos de 10cm el suelo tiene escaso contenido de arcilla y no sería el ideal para elaborar las unidades de tierra reforzada.

### **Prueba “Presencia de arcilla” o “Resistencia seca”**

Se elige una pequeña muestra representativa de suelo y se humedece con el objeto de formar esferas cilíndricas o “bolitas”. Se forman 4 bolitas.



*Fig 14: Prueba "Presencia de arcilla" o "Resistencia seca"*

Las 4 bolitas se dejan secar por 48 horas y se aplastan con el dedo pulgar e índice a una presión considerable.



*Fig 11: Prueba "Presencia de arcilla" o "Resistencia seca"*

De acuerdo con la Norma E.080, si por lo menos una de las bolitas se agrieta se repite el ensayo y si nuevamente al menos una bolita se agrieta, se descarta la cantera de suelo.

### **Selección de la fuente de agua**

De acuerdo con la Norma E.080 el agua a usar en la elaboración de unidades de tierra reforzada debe ser agua potable o agua libre de sales, materia orgánica y sólidos en suspensión. Tras un análisis químico se determina si el agua es apta para ser usada en construcción.



*Fig 12: Recolección de la muestra de agua para ser analizada*

### **Selección de la dosificación más adecuada**

Para evaluar el efecto de la adición de estiércol de *Equus asinus* en la resistencia a la compresión y tracción de las unidades de tierra reforzada, se propone fabricar unidades sin estiércol y unidades con diferentes porcentajes de estiércol: 3%, 6%, 9%, 12% y 15%. Esto permitirá comparar los resultados obtenidos entre las diferentes unidades y determinar el porcentaje de adición de estiércol que logra los valores más altos en los ensayos según lo establecido en la Norma E.080. Este porcentaje se designará como el "porcentaje óptimo".

Basándose en la información recopilada previamente, se anticipa que la resistencia a la compresión y tracción aumentará de manera lineal con la adición de estiércol hasta cierto punto. Se espera que se pueda compartir información entre los ensayos de compresión y tracción para determinar el porcentaje óptimo de estiércol estudiado, y así proceder con los ensayos a nivel de muretes.

Para evaluar la influencia de la aplicación de estearato de calcio sobre la permeabilidad de las unidades de tierra reforzada se propone elaborar unidades de tierra reforzada sin espolvoreo de estearato de calcio y unidades espolvoreadas con estearato de calcio en la totalidad de su superficie. Con ello, se comparan los resultados concernientes al porcentaje de absorción que se presentó en el ensayo adaptado de absorción anteriormente. Así, se determina si esta aplicación es positiva o no y continuar con el ensayo de inundación simulada a nivel de murete.

El ensayo de inundación simulada del murete propone erigir muretes con el porcentaje óptimo de estiércol de *Equus asinus* y el posible espolvoreo de estearato de calcio.

### **Fabricación de las unidades de tierra reforzada**

Las dosificaciones de estiércol a ser estudiadas se calculan en términos de porcentaje respecto a la cuantificación de la masa de la muestra de adobe. Debido a ello, se fabricaron unidades de tierra reforzada a modo de prueba cuyas dimensiones son las que la Norma E.080

sugiere para evaluar la resistencia del material tierra a la compresión y tracción. Es decir, unidades cúbicas de 0.10 m de arista y unidades cilíndricas de 6" × 12" y determinar su peso en laboratorio.

### **Unidades de prueba**

El proceso de elaboración de estas unidades es aquel presentado por la Norma E.080. Su fin es el de establecer el porcentaje de estiércol a incorporar con relación a su peso.



*Fig 13: Pesaje de las unidades de prueba*

### **Selección de una de las cinco dosificaciones**

#### **Dosificación**

En referencia al pesaje de las unidades de prueba se dosifica la integración de estiércol de *Equus asinus* en 5 porcentajes: 3%, 6%, 9%, 12% y 15%. Con estas muestras se realizan los ensayos de resistencia del material tierra a la compresión y tracción. Luego se elige un porcentaje ideal (aquel que alcance la mayor resistencia en ambos ensayos) para erigir muretes y ensayarlos a compresión y tracción indirecta.

En cuanto a la dosificación de estearato de calcio, se espolvorea toda la superficie de las unidades de tierra reforzada y se determina si su influencia es favorable o no.

Por último, se erigen muretes de tierra reforzada con la adición óptima de estiércol de *Equus asinus* y espolvoreo de estearato de calcio para realizar el ensayo de inundación simulada del murete.

## Fabricación

Considerando que la Norma E.080 especifica el número de especímenes requeridos para cada ensayo (6 unidades para cada dosificación en cada ensayo).

Se dosifican los porcentajes de estiércol de *Equus asinus* en relación con el peso de las unidades de prueba.



*Fig 14: Pesaje de dosificaciones de estiércol de *Equus asinus**

Cernir la tierra y someterla a un proceso de hidratación de 48 horas, usar los moldes con las dimensiones requeridas por la Norma E.080 para cada ensayo.



*Fig 15: Preparación del barro dormido*



*Fig 20: Molde usado en la elaboración de unidades de tierra reforzada de 0.10m*



*Fig 21: Molde usado en la elaboración de unidades de tierra reforzada de 6" × 12"*

En total son 36 unidades cúbicas de 0.1m de arista, y 36 unidades cilíndricas de 6" × 12". Rotular cada unidad y secar todas las unidades protegidas del viento y sol.



*Fig 22: Secado de las unidades previamente rotuladas*

### **Ensayos a las unidades de tierra reforzada**

#### **Medición dimensional de las unidades de tierra reforzada**

Teniendo en cuenta que no se contempla alguna normativa con relación a la medición dimensional de unidades muestrales de tierra reforzada, la medición se ha realizado con relación a la normativa de unidades de albañilería de arcilla cocida (NTP 399.613). La medición se realizó con un escalímetro y se precisó con un vernier.



*Fig 23: Medición dimensional de las unidades de tierra reforzada usadas en el ensayo del material tierra a la compresión*



*Fig 24: Medición dimensional de las unidades de tierra reforzada usadas en el ensayo del material tierra a la tracción*

### **Resistencia del material tierra a la compresión**

El ensayo de resistencia del material tierra a la compresión sigue los lineamientos de la Norma E.080. Se realizó comprimiendo las unidades muestrales de tierra reforzada de 0.10m de arista con la máquina de compresión de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Las unidades han sido secadas correctamente 28 días.



*Fig 25: Preparación de la máquina de compresión de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo para el ensayo del material tierra a compresión*



*Fig 26: Compresión de las unidades de tierra reforzada de 0.10 m de arista - Ensayo resistencia del material tierra a la compresión*



*Fig 27: Unidades de tierra reforzada de 0.10 m de arista del grupo control y experimental tras ser ensayadas*

### **Resistencia del material tierra a la tracción**

El ensayo de resistencia del material tierra a la tracción sigue los lineamientos de la Norma E.080. Se realizó comprimiendo las muestras cilíndricas de tierra reforzada de 6" × 12" con la máquina de compresión de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Las unidades fueron secadas correctamente 28 días.



*Fig 28: Preparación de la máquina de compresión de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo para el ensayo del material tierra a tracción*



*Fig 29: Compresión de las unidades de tierra reforzada cilíndricas de 6"x12"- Ensayo resistencia del material tierra a la tracción*



*Fig 16: Falla característica en las unidades cilíndricas de 6"x12"*

#### **Ensayo adaptado de absorción en unidades de tierra reforzada**

Teniendo en cuenta que no existe normativa que contemple la determinación de la absorción en unidades de tierra reforzada, la medición se ha realizado adaptando la normativa de absorción de unidades de albañilería de arcilla cocida (NTP 399.613). La medición se realizó con una balanza electrónica.



*Fig 17: Espolvoreo del estearato de calcio para las unidades de tierra reforzada del grupo experimental*



*Fig 18: Unidades de tierra reforzada del grupo control y experimental para ser ensayadas en el ensayo adaptado de absorción*



*Fig 33: Pesaje de las unidades de tierra reforzada en estado seco*



*Fig 19: Sumergimiento de las unidades en estado seco*



*Fig 35: Pesaje de las unidades de tierra reforzada en condición saturada*



*Fig 36: Deshacimiento de las unidades de tierra reforzada en condición saturada*

### **Resistencia del murete a la compresión**

El ensayo de resistencia del murete a la compresión sigue los lineamientos de la Norma E.080. Se realizó comprimiendo muretes conformados de 3 unidades de tierra reforzada de  $8\text{cm} \times 8\text{cm} \times 16\text{cm}$ , a manera de pilas, con la máquina de compresión de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Las unidades fueron secadas correctamente 28 días.



*Fig 20: Murete propuesto para ser ensayado a compresión*



*Fig 38: Ensayo de resistencia del murete a la compresión*

### **Resistencia del murete a la tracción indirecta**

El ensayo de resistencia del murete a la tracción indirecta sigue los lineamientos de la Norma E.080. Se realizó comprimiendo muretes de  $0.65\text{m} \times 0.65\text{m}$  con la máquina de compresión del laboratorio “”. Las unidades fueron secadas correctamente 28 días.



*Fig 21: Murete propuesto para ser ensayado a tracción indirecta*



*Fig 22: Ensayo de tracción indirecta del murete*

### **Ensayo de inundación simulada del murete**

Teniendo en cuenta que no existe normativa que contemple la determinación del tiempo de falla de muretes de tierra reforzada bajo condición simulada de inundación, la medición se ha realizado tomando en cuenta estudios detallados en el capítulo anterior. La medida de los muretes es de  $100\text{cm} \times 130\text{cm}$



*Fig 23: Inundación simulada del murete*



Fig 24: Caída del murete debido a la inundación

## Plan de procesamiento para análisis de datos

### FASE I: Recopilación de Datos

Esta fase contempla el proceso de búsqueda de información y normativa existente del tema en estudio: unidades de tierra reforzada. En esta etapa, para esta investigación, se realiza la búsqueda de la cantera de suelo, estiércol de *Equus asinus* y estearato de calcio.

El presente diagrama de flujo indica los pasos ordenados que conforman esta fase.

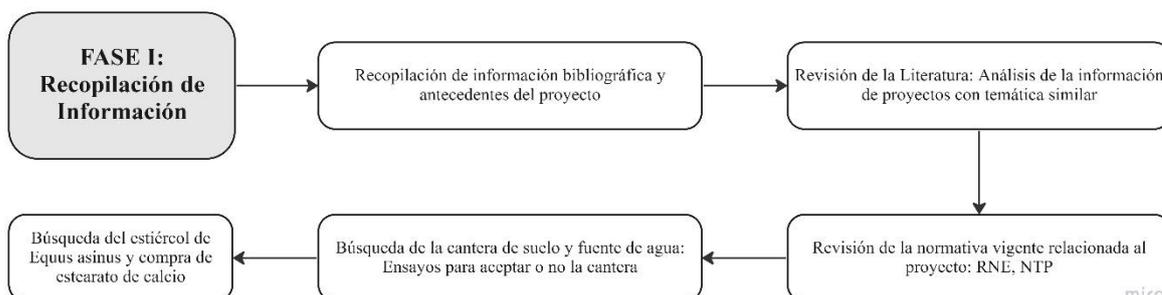


Fig 25: Diagrama de flujo de la FASE I-Recopilación de Datos

### FASE II: Desarrollo de la Investigación

Esta fase contempla la elaboración de unidades de tierra reforzada para grupos control y experimentales y todos los ensayos estipulados por la normativa encontrada en la FASE I. En esta etapa se obtienen resultados que servirán para validar la hipótesis propuesta por el investigador.

El presente diagrama de flujo indica los pasos ordenados que conforman esta fase.

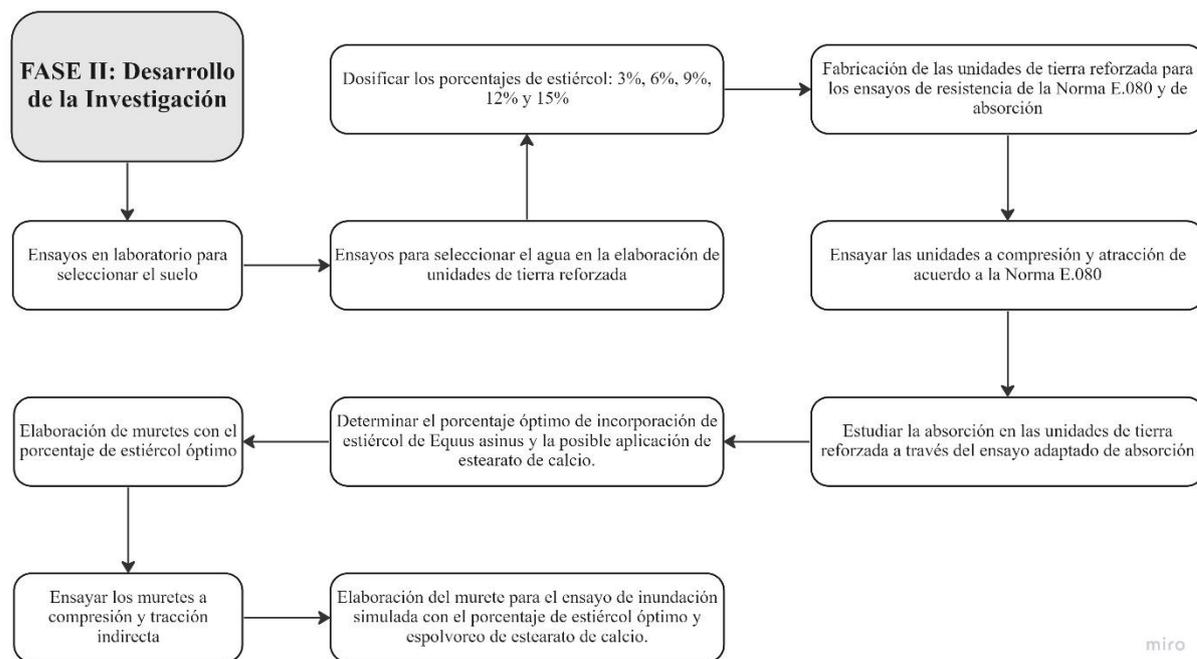


Fig 44: Diagrama de flujo de la FASE II-Desarrollo de la Investigación

### FASE III: Análisis de Resultados

Esta fase contempla el procedimiento para procesar los resultados obtenidos en la FASE II con el objeto de validar la hipótesis planteada por el investigador.

El siguiente diagrama de flujo muestra los pasos ordenados que conforman esta fase.

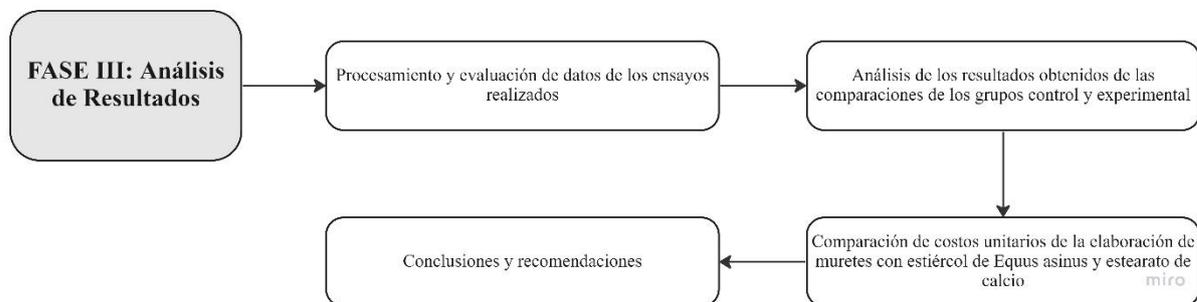


Fig 26: Diagrama de flujo de la FASE III-Análisis de Resultados

### FASE IV: Presentación y Sustentación Final

Esta fase contempla el procedimiento de presentación del informe con la exposición de los resultados y evidencias que validen dichos datos.

El siguiente diagrama de flujo muestra los pasos ordenados que conforman esta fase.

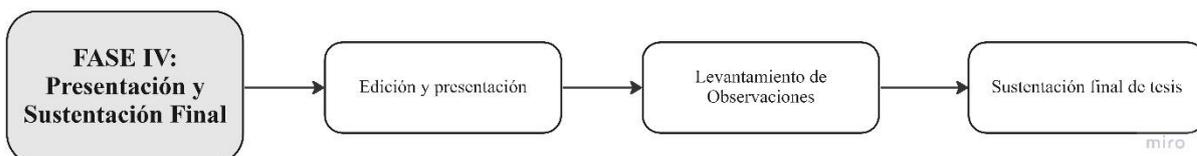


Fig 27: Diagrama de flujo de la FASE IV-Presentación y Sustentación Final

## Matriz de Consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA					
Proyecto de Investigación					
Título: Estudio de la resistencia a la compresión y permeabilidad en unidades de albañilería de tierra reforzada con estiércol de Equus asinus y estearato de calcio					
Planteamiento del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Metodología
<b>Problema</b>	<b>O. General</b>		<b>V. Independiente</b>		<b>Tipo de Investigación</b>
¿Qué efecto tiene la incorporación de estiércol de Equus asinus y la aplicación de estearato de calcio en la resistencia a la compresión, tracción y permeabilidad, respectivamente, de unidades de tierra reforzada?	Determinar el efecto de incorporar estiércol de Equus asinus en dosis de 3%; 6%; 9%; 12% y 15%; además de espolvorear estearato de calcio en la resistencia a la compresión, tracción y permeabilidad de unidades de albañilería de tierra reforzada en Ferreñafe-Lambayeque	La incorporación de estiércol del equino: Equus asinus aumentará la resistencia a la compresión y que la incorporación de estearato de calcio reducirá la permeabilidad de las unidades de albañilería de tierra reforzada.	Estiércol de Equus asinus Estearato de Calcio	0%, 3%, 6%, 9%, 12% y 15% de estiércol 0% y 100% de estearato de calcio Pesaje Medición dimensional Absorción Inundación Simulada	De acuerdo al fin que se persigue es: Aplicada De acuerdo a la metodología es: Experimental De acuerdo a los tipos de datos analizados: Cuantitativa
	<b>O. Específicos</b>		<b>V. Dependientes</b>		<b>Nivel de Investigación</b>
	Clasificar el tipo de suelo mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) de una cantera de suelo ubicada en la ciudad de Ferreñafe- Lambayeque.		Resistencia del material tierra a la compresión	Resistencia del material tierra a la compresión	<b>Diseño de Investigación</b>
	Determinar la presencia de arcilla del suelo de la cantera usado en la elaboración de las unidades de albañilería de tierra reforzada.		Resistencia del material tierra a la tracción	Resistencia del murete a la compresión Resistencia del murete a la tracción indirecta	Por las características de esta investigación es de nivel: Explicativo
	Analizar las características del agua utilizada para la elaboración de las unidades de albañilería de tierra reforzada mediante un análisis químico.		Absorción en unidades	Costo de materiales Costo de equipos y herramientas	
	Determinar la resistencia a la compresión en unidades de albañilería de tierra reforzada del grupo control y experimental con dosis de 3; 6; 9; 12 y 15%		Resistencia del murete la compresión	Costo de personal Límite Líquido	Diseño de investigación experimental debido a que se pretende manipular, intencionalmente, los parámetros de las variables independientes con el fin de analizar las consecuencias sobre una o más variables tras dicha manipulación.
	Determinar la resistencia a la tracción en unidades de albañilería de tierra reforzada del grupo control y experimental con dosis de 3; 6; 9; 12 y 15%		Resistencia del murete a la tracción	Límite Plástico Índice de Plasticidad	
	Determinar el grado de permeabilidad de las unidades de albañilería de tierra reforzada a través del ensayo, adaptado, de absorción.		Permeabilidad del murete	Contenido de Humedad Granulometría Gravedad específica Cinta de barro Presencia de arcilla Control de calidad del agua	
	Identificar el porcentaje óptimo de incorporación de estiércol de Equus asinus con relación al mejoramiento de la resistencia a la compresión y la tracción.				
	Determinar la resistencia a la compresión en pilas de tierra reforzada del grupo control y experimental con la dosificación de estiércol óptima y el 100% de espolvoreo de estearato de calcio.				
	Determinar la resistencia a la tracción indirecta en muretes de tierra reforzada del grupo control y experimental con la dosificación de estiércol óptima y el 100% de espolvoreo de estearato de calcio.				
	Determinar el porcentaje de absorción y el tiempo del derrumbe de los muretes de tierra reforzada del grupo control y experimental con la dosificación de estiércol óptima y el 100% de espolvoreo superficial de estearato de calcio bajo condiciones de inundación simulada.				
	Comparar el precio unitario de construcción de muretes de tierra reforzada por metro cuadrado del grupo control y experimental.				

Fig 47: Matriz de consistencia de la investigación

## Consideraciones Éticas

Tabla 2: Consideraciones éticas

CONSIDERACIÓN	ANTECEDENTES			INVESTIGACIÓN PROPIA
	AUTOR	TÍTULO	ELECCIÓN	
Elección del estiércol de Equus asinus	C. Babé, D. Kaoga Kigmo, A. Tom, R. Ngono Mvondo, R. Essama Boum y N. Djongyang	Thermomechanical characterization and durability of adobes reinforced with millet waste fibers (Sorghum bicolor)	Fibra de Sorghum bicolor	Se eligió estudiar la incorporación de estiércol de Equus asinus por su naturaleza fibrosa y debido al conocimiento empírico de la zona de estudio
	C. Babé, D. Kaoga Kigmo, A. Tom, R. Ngono Mvondo, R. Essama Boum y N. Djongyang	Effect of neem (Azadirachta Indica) fibers on mechanical, thermal and durability properties of adobe bricks	Fibra de Azadirachta Indica	
	D. Ortiz	Efectos de la incorporación de cuatro porcentajes (2.5%, 5%, 7.5% y 10%) de estiércol de caballo en la resistencia a la compresión y flexión del adobe	Estiércol de Caballo	
Elección de los porcentajes de incorporación del estiércol de Equus asinus	C. Babé, D. Kaoga Kigmo, A. Tom, R. Ngono Mvondo, R. Essama Boum y N. Djongyang	Thermomechanical characterization and durability of adobes reinforced with millet waste fibers (Sorghum bicolor)	Porcentajes: 0%, 1%, 2%, 3%, 4%	Se eligió la incorporación de estiércol de Equus asinus en dosificaciones de 0%, 3%, 6%, 9%, 12% y 15% con el objetivo de evaluar su influencia en las propiedades mecánicas y físicas de las unidades de tierra reforzada en un rango de 3%
	C. Babé, D. Kaoga Kigmo, A. Tom, R. Ngono Mvondo, R. Essama Boum y N. Djongyang	Effect of neem (Azadirachta Indica) fibers on mechanical, thermal and durability properties of adobe bricks	Porcentajes: 0%, 1%, 2%, 3%, 4%	
	D. Ortiz	Efectos de la incorporación de cuatro porcentajes (2.5%, 5%, 7.5% y 10%) de estiércol de caballo en la resistencia a la compresión y flexión del adobe	Porcentajes: 0%, 2.5%, 5%, 7.5%, 10%	
	G. Sandoval Alvarado	Evaluación de la erosión y la resistencia del adobe adicionado con cenizas de carbón y cal	Porcentajes: 3%, 5%, 8%, 10%, 12%	

## Resultados y discusión

### Resultados

#### Ensayos In situ

#### Prueba “Cinta de barro”

*Tabla 9: Resultados de la prueba cinta de barro*

Muestra de suelo	Elongación de la cinta (cm)	Rango (cm)	Clasificación
1	22.7	20-25	Suelo muy arcilloso
2	24.3	20-25	Suelo muy arcilloso
3	22.2	20-25	Suelo muy arcilloso

En la tabla se muestran los resultados de la prueba cinta de barro descrita en la Norma E.080 para seleccionar la cantera de suelo para fabricar unidades de tierra reforzada.

En las 3 repeticiones la elongación de la cinta alcanzó a romperse en el rango de 20 – 25 cm lo cual, según la Norma E.080, permite clasificar al suelo como muy arcilloso y se continúa con el proceso de selección de la cantera de suelo.

#### Prueba “Presencia de arcilla” o “Resistencia seca”

*Tabla 10: Resultados de la prueba presencia de arcilla o resistencia seca*

Bolita	Intento	Se Rompe	Clasificación
1	1 <sup>er</sup>	NO	Tiene arcilla
2	1 <sup>er</sup>	NO	Tiene arcilla
3	1 <sup>er</sup>	NO	Tiene arcilla
4	1 <sup>er</sup>	NO	Tiene arcilla

En la tabla se muestran los resultados de la prueba “Presencia de arcilla” o “Resistencia seca” descrita en la Norma E.080 para finalmente descartar o seleccionar la cantera de suelo para fabricar unidades de tierra reforzada.

Después del secado de 48 horas, ninguna bolita se rompió al ser presionada, ni presentó grietas en su superficie. Debido a ello, según la Norma E.080, se determina que el suelo empleado en la fabricación de las bolitas tiene arcilla y sí puede usarse para elaborar unidades de tierra reforzada.

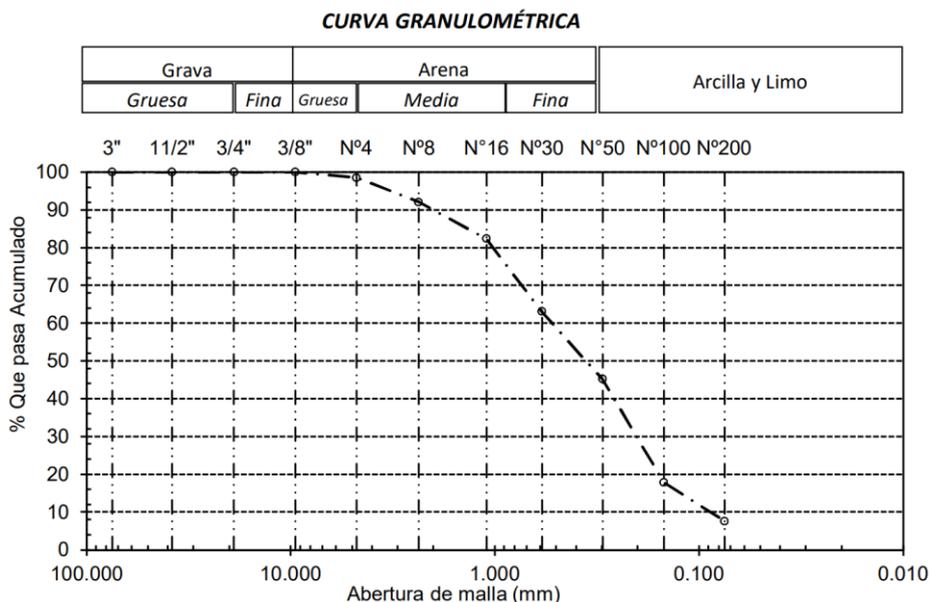
## Granulometría

Tabla 11: Análisis granulométrico de la muestra M-1

Análisis Granulométrico por tamizado			
N° Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulados	
		Retenido	Que pasa
3"	75.000	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	100.00
3/4"	19.000	0.00	100.00
3/8"	9.500	0.00	100.00
N°4	4.760	1.40	98.60
N°8	2.360	7.90	92.10
N°16	1.100	17.60	82.40
N°30	0.590	36.90	63.10
N°50	0.297	54.80	45.20
N°100	0.149	82.10	17.90
N°200	0.075	92.40	7.60
Fondo	-	100.00	0.00
<b>Módulo de Fineza</b>		0.638	
<b>Coef. Uniformidad</b>		6.0	
<b>Coef. Curvatura</b>		0.9	

En la tabla se muestra el porcentaje de suelo retenido y que pasa, de manera acumulada por cada tamiz. Asimismo, se determinó que el Módulo de fineza es 0.638, el Coeficiente de uniformidad es 6.0 y el Coeficiente de curvatura es 0.9.

Graf. 1: Curva Granulométrica



El gráfico muestra los resultados de la tabla anterior de Granulometría. Mediante este ensayo se determinó la distribución granulométrica del suelo. Para ello se utilizaron los tamices: N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200 y en base a estos se calculó el peso retenido para hallar el porcentaje que pasa y que se retiene en cada tamiz mencionado.

## Límites de Atterberg

Tabla 12: Resultados de los ensayos de consistencia

Ensayos de consistencia	Límite Líquido			Límite Plástico		
Código de Envase	30	204	93	LP-02	LP-11	Promedio
Nº de golpes	10	25	35	-	-	-
Envase + suelo húmedo	48.1	45.9	48.6	55.1	56.8	55.18
Envase + suelo seco	42.8	41.4	43.5	52	53.1	51.58
Agua	5.3	4.5	5.1	3.1	3.7	3.4
Peso de envase	22.2	22.2	22.2	27.5	28	27.75
Peso del suelo seco	20.6	19.2	21.3	24.5	25.1	24.8
Porcentaje de humedad	25.95	23.32	23.79	12.65	14.74	13.7

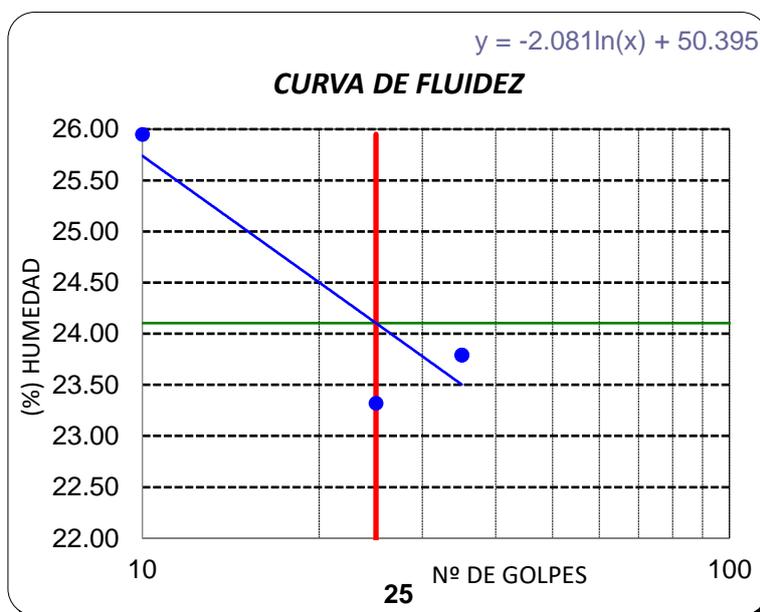
La tabla muestra los resultados de los ensayos de consistencia para determinar los límites de Atterberg del suelo. Así, se determina que el límite plástico del suelo es de 14 % y el índice de plasticidad del 10%.

Tabla 13: Límites de Atterberg de la muestra M-1

Límites de Atterberg	
Límite Líquido (LL)	24
Límite Plástico (LP)	14
Índice de Plasticidad (IP)	10

La tabla anterior muestra a manera de resumen los Límites de Atterberg.

Graf. 2: Curva de Fluidez de la muestra M-1



El gráfico anterior muestra la línea recta promedio que pasa por los puntos mostrados en el gráfico. El contenido de humedad se grafica en las ordenadas y el número de golpes en el eje de las abscisas.

Como el Coeficiente de curvatura es menor a 1, los límites de Atterberg (índice de plasticidad y Límite Líquido) determinan que el suelo tiene una clasificación SUCS: SP-SC-Arena pobremente graduada con arcilla.

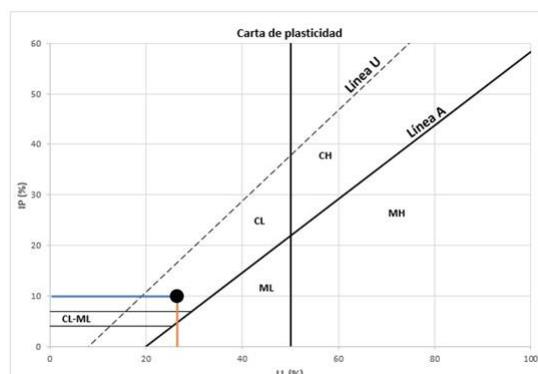


Fig 48: Carta de plasticidad

### Contenido de humedad

Tabla 3: Contenido de humedad de la muestra M-1

<b>Contenidos de Humedad</b>	
Código de Envase	S-03
Envase + suelo húmedo	162.9
Envase + suelo seco	161.4
Agua	1.5
Peso de envase	104
Peso del suelo seco	57.4
Porcentaje de humedad	2.61

La tabla 14 muestra el porcentaje de humedad obtenido del ensayo de contenido de humedad de la muestra del suelo de la cantera seleccionada. Se obtuvo un porcentaje de humedad de 2.61%

### Análisis fisicoquímico del agua

Tabla 15: Resultado del análisis fisicoquímico del agua a usar en la elaboración de unidades de tierra reforzada

<b>RESULTADO DEL ANÁLISIS</b>	
<b>DETERMINACIÓN</b>	<b>RESULTADO (%)</b>
pH	7.79
Conductividad (us/cm2)	528
Salinidad (%)	1.0
Cloruros (mg/L)	14.4
Sulfatos (mg/L)	345.6
TDS (mg/L)	264.0
Turbidez (NTU)	10.1

La tabla 15 indica a manera de resumen los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico del agua en laboratorio. Los resultados muestran que el agua no está contaminada y es apta para ser usada en la construcción.

### Medición dimensional de las unidades usadas en el ensayo del material tierra a la compresión

*Tabla 4: Variación dimensional del grupo control*

Muestra	Descripción de la unidad	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)
01		96.00	98.00	95.00
02		97.00	98.00	97.00
03	Muestra control: 0% Estiércol de Equus	98.00	98.00	95.00
04	Asinus	95.00	94.00	97.00
05		96.00	95.00	98.00
06		95.00	98.00	95.00
<b>PROMEDIO</b>		96.17	96.83	96.17
<b>VARIACIÓN</b>		-3.83%	-3.17%	-3.83%
<b>C.V.</b>		1.11%	1.73%	1.26%

La tabla 16 indica los resultados de la medición y variación dimensional de las unidades sin incorporación de estiércol de Equus asinus.

*Tabla 5: Variación dimensional del grupo experimental +3% de estiércol de Equus asinus*

Muestra	Descripción de la unidad	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)
01		96.00	97.00	94.00
02		94.00	96.00	96.00
03	Muestra experimental: 3% Estiércol de Equus	97.00	96.00	95.00
04	Asinus	98.00	95.00	98.00
05		93.00	98.00	95.00
06		96.00	93.00	94.00
<b>PROMEDIO</b>		95.67	95.83	95.33
<b>VARIACIÓN</b>		1.78%	1.64%	1.44%
<b>C.V.</b>		1.78%	1.64%	1.44%

La tabla 17 señala los resultados de la medición y variación dimensional de las unidades con incorporación del 3% de estiércol de Equus asinus.

*Tabla 6: Variación dimensional del grupo experimental +6% de estiércol de Equus asinus*

Muestra	Descripción de la unidad	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)
01		95.00	95.00	97.00
02		95.00	97.00	95.00
03	Muestra experimental: 6% Estiércol de Equus	94.00	94.00	94.00
04	Asinus	95.00	96.00	97.00
05		97.00	96.00	95.00
06		95.00	96.00	94.00
<b>PROMEDIO</b>		95.17	95.67	95.33
<b>VARIACIÓN</b>		-4.83%	-4.33%	-4.67%
<b>C.V.</b>		0.94%	0.99%	1.31%

La tabla 18 indica los resultados de la medición y variación dimensional de las unidades con adición del 6% de estiércol de Equus asinus.

*Tabla 19: Variación dimensional del grupo experimental +9% de estiércol de Equus asinus*

Muestra	Descripción de la unidad	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)
01		96.00	95.00	96.00
02		96.00	96.00	93.00
03	Muestra experimental: 9% Estiércol de Equus	93.00	95.00	94.00
04	Asinus	91.00	91.00	93.00
05		96.00	92.00	94.00
06		93.00	91.00	91.00
<b>PROMEDIO</b>		94.17	93.33	93.50
<b>VARIACIÓN</b>		-5.83%	-6.67%	-6.50%
<b>C.V.</b>		2.07%	2.20%	1.60%

La tabla 19 señala los resultados de la medición y variación dimensional de las unidades con incorporación del 9% de estiércol de Equus asinus.

*Tabla 20: Variación dimensional del grupo experimental +12% de estiércol de Equus asinus*

Muestra	Descripción de la unidad	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)
01		92.00	96.00	96.00
02		91.00	94.00	95.00
03	Muestra experimental: 12% Estiércol de Equus	94.00	94.00	96.00
04	Asinus	93.00	91.00	93.00
05		92.00	93.00	91.00
06		92.00	92.00	94.00
<b>PROMEDIO</b>		92.33	93.33	94.17
<b>VARIACIÓN</b>		-7.67%	-6.67%	-5.83%
<b>C.V.</b>		1.02%	1.71%	1.88%

La tabla 20 indica los resultados de la medición y variación dimensional de las unidades con incorporación del 12% de estiércol de Equus asinus.

*Tabla 21: Variación dimensional del grupo experimental +15% de estiércol de Equus asinus*

Muestra	Descripción de la unidad	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)
01		94.00	92.00	95.00
02		94.00	95.00	94.00
03	Muestra experimental: 15% Estiércol de Equus	97.00	90.00	92.00
04	Asinus	92.00	91.00	90.00
05		94.00	95.00	93.00
06		92.00	92.00	90.00
<b>PROMEDIO</b>		93.83	92.50	92.33
<b>VARIACIÓN</b>		-6.17%	-7.50%	-7.67%
<b>C.V.</b>		1.79%	2.05%	2.04%

La tabla 21 señala los resultados de la medición y variación dimensional de las unidades con incorporación del 15% de estiércol de Equus asinus.

## Medición dimensional de las unidades usadas en el ensayo del material tierra a la tracción

*Tabla 22: Variación dimensional del grupo control*

Muestra	Descripción de la unidad	Diámetro (mm)	Alto (mm)
01		149.00	283.00
02		145.00	300.00
03	Muestra control: 0% Estiércol de Equus	148.00	294.00
04	Asinus	149.00	299.00
05		149.00	291.00
06		150.00	270.00
<b>PROMEDIO</b>		148.33	289.50
<b>VARIACIÓN</b>		-3.17%	-3.83%
<b>C.V.</b>		1.08%	3.58%

La tabla 22 señala los resultados de la medición y variación dimensional de las unidades cilíndricas sin incorporación de estiércol de Equus asinus.

*Tabla 7: Variación dimensional del grupo experimental +3% de estiércol de Equus asinus*

Muestra	Descripción de la unidad	Largo (mm)	Ancho (mm)
1		150.00	298.00
2		149.00	271.00
3	Muestra experimental: 3% Estiércol de Equus	146.00	280.00
4	Asinus	149.00	277.00
5		150.00	299.00
6		146.00	288.00
<b>PROMEDIO</b>		148.33	285.50
<b>VARIACIÓN</b>		-2.67%	-6.33%
<b>C.V.</b>		1.15%	3.67%

La tabla 23 muestra los resultados de la medición y variación dimensional de las unidades cilíndricas con incorporación del 3% de estiércol de Equus asinus.

*Tabla 24: Variación dimensional del grupo experimental +6% de estiércol de Equus asinus*

<b>Muestra</b>	<b>Descripción de la unidad</b>	<b>Largo (mm)</b>	<b>Ancho (mm)</b>
01		146.00	282.00
02		149.00	278.00
03	Muestra experimental: 6% Estiércol de Equus	149.00	300.00
04	Asinus	150.00	281.00
05		148.00	277.00
06		147.00	299.00
<b>PROMEDIO</b>		148.17	286.17
<b>VARIACIÓN</b>		-2.78%	-6.11%
<b>C.V.</b>		0.91%	3.35%

La tabla 24 muestra los resultados de la medición y variación dimensional de las unidades cilíndricas con incorporación del 6% de estiércol de Equus asinus.

*Tabla 25: Variación dimensional del grupo experimental +9% de estiércol de Equus asinus*

<b>Muestra</b>	<b>Descripción de la unidad</b>	<b>Largo (mm)</b>	<b>Ancho (mm)</b>
01		147.00	288.00
02		148.00	283.00
03	Muestra experimental: 9% Estiércol de Equus	147.00	287.00
04	Asinus	150.00	288.00
05		148.00	292.00
06		147.00	283.00
<b>PROMEDIO</b>		147.83	286.83
<b>VARIACIÓN</b>		-3.00%	-5.89%
<b>C.V.</b>		0.72%	1.09%

La tabla 25 señala los resultados de la medición y variación dimensional de las unidades cilíndricas con incorporación del 9% de estiércol de Equus asinus.

*Tabla 26: Variación dimensional del grupo experimental +12% de estiércol de Equus asinus*

<b>Muestra</b>	<b>Descripción de la unidad</b>	<b>Largo (mm)</b>	<b>Ancho (mm)</b>
01		145.00	297.00
02		145.00	286.00
03	Muestra experimental: 12% Estiércol de Equus	146.00	280.00
04	Asinus	146.00	281.00
05		148.00	284.00
06		145.00	287.00
<b>PROMEDIO</b>		145.83	285.83
<b>VARIACIÓN</b>		-4.31%	-6.22%
<b>C.V.</b>		0.73%	1.95%

La tabla 26 muestra los resultados de la medición y variación dimensional de las unidades cilíndricas con incorporación del 12% de estiércol de Equus asinus.

*Tabla 27: Variación dimensional del grupo experimental +15% de estiércol de Equus asinus*

<b>Muestra</b>	<b>Descripción de la unidad</b>	<b>Largo (mm)</b>	<b>Ancho (mm)</b>
01		147.00	281.00
02		150.00	278.00
03	Muestra experimental: 15% Estiércol de Equus	150.00	274.00
04	Asinus	146.00	270.00
05		148.00	284.00
06		147.00	289.00
<b>PROMEDIO</b>		148.00	279.33
<b>VARIACIÓN</b>		-2.89%	-8.36%
<b>C.V.</b>		1.03%	2.24%

La tabla 27 señala los resultados de la medición y variación dimensional de las unidades cilíndricas con incorporación del 15% de estiércol de Equus asinus.

## Medición dimensional de las unidades usadas en el ensayo adaptado de absorción

*Tabla 8: Variación dimensional del grupo control*

Muestra	Descripción de la unidad	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)
01		157.00	77.00	79.00
02		155.00	75.00	77.00
03	Muestra control: 0% de estearato de calcio	158.00	76.00	77.00
04		157.00	78.00	79.00
05		156.00	77.00	77.00
06		157.00	76.00	80.00
<b>PROMEDIO</b>		156.67	76.50	78.17
<b>VARIACIÓN</b>		-3.83%	-3.17%	-3.83%
<b>C.V.</b>		0.60%	1.25%	1.55%

La tabla 28 muestra los resultados de la medición y variación dimensional de las unidades sin espolvoreo de este.

*Tabla 29: Variación dimensional del grupo experimental 100% de estearato de calcio*

Muestra	Descripción de la unidad	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)
01		159.00	77.00	75.00
02		156.00	78.00	79.00
03	Muestra experimental: 100% de estearato de calcio	158.00	75.00	76.00
04		156.00	78.00	80.00
05		158.00	80.00	80.00
06		155.00	77.00	78.00
<b>PROMEDIO</b>		157.00	77.50	78.00
<b>VARIACIÓN</b>		1.78%	1.64%	1.44%
<b>C.V.</b>		0.90%	1.94%	2.45%

La tabla 29 muestra los resultados de la medición y variación dimensional de las unidades con espolvoreo en toda su superficie con estearato de calcio.

## Ensayo de resistencia a la compresión del material tierra

*Tabla 30: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del material tierra - Muestra control 0% de estiércol de Equus asinus*

Muestra	Ancho (cm)	Largo (cm)	Fuerza Aplicada (kgf)	Resistencia Última Fa (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.6	9.8	1730	18.3886
2	9.7	9.8	1700	17.8834
3	9.8	9.8	1710	17.8051
4	9.5	9.4	1880	21.0526
5	9.6	9.5	1720	18.8596
6	9.5	9.8	1750	18.7970
<b>PROMEDIO</b>				<b>19.2745 kgf/cm<sup>2</sup></b>

La tabla 30 muestra los datos resultantes del ensayo de resistencia del material tierra a la compresión en unidades de tierra reforzada de 0.10m (de acuerdo con la Norma E.080. el valor mínimo del material tierra a la compresión es de 10.2 kgf/cm<sup>2</sup>) sin incorporación de estiércol de Equus asinus. El promedio de los mejores 4 resultados es de 19.2745 kg/cm<sup>2</sup>.

*Tabla 31: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del material tierra - Muestra experimental 3% de estiércol de Equus asinus*

Muestra	Ancho (cm)	Largo (cm)	Fuerza Aplicada (kgf)	Resistencia Última Fa (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.6	9.7	1960	21.0481
2	9.4	9.6	1890	20.9441
3	9.7	9.6	1980	21.2629
4	9.8	9.5	2060	22.1267
5	9.3	9.8	1940	21.2859
6	9.6	9.3	1890	21.1694
<b>PROMEDIO</b>				<b>21.4612 kgf/cm<sup>2</sup></b>

La tabla 31 muestra los datos resultantes del ensayo de resistencia del material tierra a la compresión en unidades de tierra reforzada de 0.10m (de acuerdo con la Norma E.080. el valor mínimo del material tierra a la compresión es de 10.2 kg/cm<sup>2</sup>) con incorporación de estiércol de Equus asinus (3% con relación al peso de la unidad de tierra reforzada). El promedio de los mejores 4 resultados es de 21.46 kg/cm<sup>2</sup>.

*Tabla 32: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del material tierra - Muestra experimental 6% de estiércol de Equus asinus*

Muestra	Ancho (cm)	Largo (cm)	Fuerza Aplicada (kgf)	Resistencia Última Fa (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.5	9.5	1980	21.9391
2	9.5	9.7	2230	24.1997
3	9.4	9.4	2190	24.7850
4	9.5	9.6	2030	22.2588
5	9.7	9.6	2280	24.4845
6	9.5	9.6	1929	21.1513
<b>PROMEDIO</b>				<b>23.9320 kgf/cm<sup>2</sup></b>

La tabla anterior muestra los datos resultantes del ensayo de resistencia del material tierra a la compresión en unidades de tierra reforzada de 0.10m (de acuerdo con la Norma E.080. el valor mínimo del material tierra a la compresión es de 10.2 kg/cm<sup>2</sup>) con incorporación de estiércol de Equus asinus (6% con relación al peso de la unidad de tierra reforzada). El promedio de los mejores 4 resultados es de 23.9320 kg/cm<sup>2</sup>.

*Tabla 33: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del material tierra - Muestra experimental 9% de estiércol de Equus asinus*

Muestra	Ancho (cm)	Largo (cm)	Fuerza Aplicada (kgf)	Resistencia Última Fa (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.6	9.5	1820	19.9561
2	9.6	9.6	1970	21.3759
3	9.3	9.5	1880	21.2790
4	9.1	9.1	1706	20.6014
5	9.6	9.2	1820	20.6069
6	9.3	9.1	1750	20.6782
<b>PROMEDIO</b>				<b>20.9850 kgf/cm<sup>2</sup></b>

La tabla anterior muestra los datos resultantes del ensayo de resistencia del material tierra a la compresión en unidades de tierra reforzada de 0.10m (de acuerdo con la Norma E.080. el valor mínimo del material tierra a la compresión es de 10.2 kg/cm<sup>2</sup>) con incorporación de estiércol de Equus asinus (9% con relación al peso de la unidad de tierra reforzada). El promedio de los mejores 4 resultados es de 20.9850 kg/cm<sup>2</sup>.

*Tabla 34: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del material tierra - Muestra experimental 12% de estiércol de Equus asinus*

Muestra	Ancho (cm)	Largo (cm)	Fuerza Aplicada (kgf)	Resistencia Última Fa (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.2	9.6	1620	18.3424
2	9.1	9.4	1630	19.0554
3	9.4	9.4	1510	17.0892
4	9.3	9.1	1630	19.2603
5	9.2	9.3	1400	16.3628
6	9.2	9.2	1460	17.2495
<b>PROMEDIO</b>				<b>18.4769 kgf/cm<sup>2</sup></b>

La tabla anterior muestra los datos resultados del ensayo de resistencia del material tierra a la compresión en unidades de tierra reforzada de 0.10m (de acuerdo con la Norma E.080. el valor mínimo del material tierra a la compresión es de 10.2 kg/cm<sup>2</sup>) con incorporación de estiércol de Equus asinus (12% con relación al peso de la unidad de tierra reforzada). El promedio de los mejores 4 resultados es de 18.4769 kg/cm<sup>2</sup>.

*Tabla 35: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del material tierra - Muestra experimental 15% de estiércol de Equus asinus*

Muestra	Ancho (cm)	Largo (cm)	Fuerza Aplicada (kgf)	Resistencia Última Fa (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.4	9.2	1340	15.4949
2	9.4	9.5	1310	14.6697
3	9.7	9	1380	15.8076
4	9.2	9.1	1130	13.4974
5	9.4	9.5	1150	12.8779
6	9.2	9.2	1320	15.5955
<b>PROMEDIO</b>				<b>15.3919 kgf/cm<sup>2</sup></b>

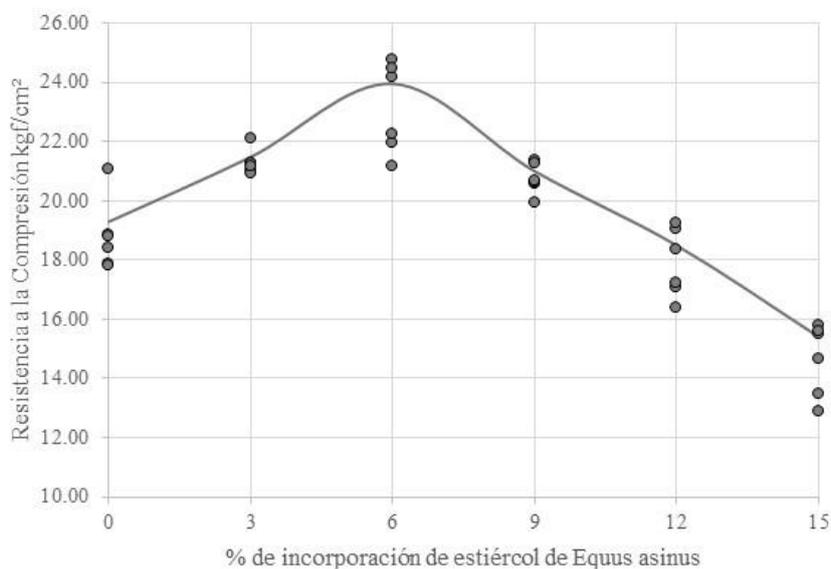
La tabla anterior muestra los datos resultantes del ensayo de resistencia del material tierra a la compresión en unidades de tierra reforzada de 0.10m (de acuerdo con la Norma E.080. el valor mínimo del material tierra a la compresión es de 10.2 kg/cm<sup>2</sup>) con incorporación de estiércol de Equus asinus (15% con relación al peso de la unidad de tierra reforzada). El promedio de los mejores 4 resultados es de 15.3919 kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla 36: Resumen de resultados del ensayo de resistencia a la compresión del material tierra

Muestra	Resistencia Última Fa (kgf/cm <sup>2</sup> )
Control 0 %	19.2745
Experimental 3 %	21.4612
Experimental 6 %	23.9320
Experimental 9 %	20.9850
Experimental 12 %	18.4769
Experimental 15 %	15.3919
<b>Mayor resultado</b>	Experimental 6 %

La tabla anterior muestra, a manera de resumen, los resultados promedio del ensayo de resistencia del material tierra a la compresión para el grupo control y cada grupo experimental.

Graf. 3: Resumen de resultados de resistencia del material tierra a la compresión del grupo control y experimental



El gráfico anterior muestra el incremento de la resistencia a la compresión de manera lineal en el tramo 0% – 6%, y luego un decrecimiento lineal en el tramo 6% – 15%.

El valor máximo se alcanzó con el grupo experimental que incorpora 6% de estiércol de Equus asinus: 23.9320 kg/cm<sup>2</sup>

### Ensayo de resistencia a la tracción del material tierra

*Tabla 37: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción del material tierra - Muestra control 0% de estiércol de Equus asinus*

Muestra	Diám. (cm)	Largo (cm)	Fuerza Aplicada (kgf)	Resistencia Última Fa (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	14.9	28.3	1160	1.7513
2	14.5	30	1190	1.7416
3	14.8	29.4	1070	1.5655
4	14.9	29.9	1050	1.5004
5	14.9	29.1	1070	1.5710
6	15	27	970	1.5247
<b>PROMEDIO</b>				<b>1.6574 kgf/cm<sup>2</sup></b>

La tabla 37 muestra los datos resultantes del ensayo de resistencia del material tierra a la tracción en unidades de tierra reforzada de 6" × 12" (de acuerdo con la Norma E.080. el valor mínimo del material tierra a la tracción es de 0.8 kg/cm<sup>2</sup>) sin incorporación de estiércol de Equus asinus. El promedio de los mejores 4 resultados es de 1.6574 kg/cm<sup>2</sup>.

*Tabla 38: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción del material tierra - Muestra experimental 3% de estiércol de Equus asinus*

Muestra	Diám. (cm)	Largo (cm)	Fuerza Aplicada (kgf)	Resistencia Última Fa (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	15	29.8	1470	2.0936
2	14.9	27.1	1660	2.6172
3	14.6	28	1400	2.1802
4	14.9	27.7	1440	2.2211
5	15	29.9	1560	2.2143
6	14.6	28.8	1410	2.1348
<b>PROMEDIO</b>				<b>2.3082 kgf/cm<sup>2</sup></b>

La tabla 38 muestra los datos resultantes del ensayo de resistencia del material tierra a la tracción en unidades de tierra reforzada de 6" × 12" (de acuerdo con la Norma E.080. el valor mínimo del material tierra a la tracción es de 0.8 kg/cm<sup>2</sup>) con incorporación de estiércol de Equus asinus (3% con relación al peso de la unidad de tierra reforzada). El promedio de los mejores 4 resultados es de 2.3082 kg/cm<sup>2</sup>.

*Tabla 39: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción del material tierra - Muestra experimental 6% de estiércol de Equus asinus*

Muestra	Diám. (cm)	Largo (cm)	Fuerza Aplicada (kgf)	Resistencia Última Fa (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	14.6	28.2	1690	2.6132
2	14.9	27.8	1520	2.3361
3	14.9	30	1720	2.4496
4	15	28.1	1530	2.3109
5	14.8	27.7	1620	2.5157
6	14.7	29.9	1510	2.1871
<b>PROMEDIO</b>				<b>2.4786 kgf/cm<sup>2</sup></b>

La tabla 39 muestra los datos resultantes del ensayo de resistencia del material tierra a la tracción en unidades de tierra reforzada de 6" × 12" (de acuerdo con la Norma E.080. el valor mínimo del material tierra a la tracción es de 0.8 kg/cm<sup>2</sup>) con incorporación de estiércol de Equus asinus (6% con relación al peso de la unidad de tierra reforzada). El promedio de los mejores 4 resultados es de 2.4786 kg/cm<sup>2</sup>.

*Tabla 40: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción del material tierra - Muestra experimental 9% de estiércol de Equus asinus*

Muestra	Diám. (cm)	Largo (cm)	Fuerza Aplicada (kgf)	Resistencia Última Fa (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	14.7	28.8	1380	2.0751
2	14.8	28.3	1480	2.2495
3	14.7	28.7	1400	2.1126
4	15	28.8	1360	2.0042
5	14.8	29.2	1430	2.1065
6	14.7	28.3	1310	2.0047
<b>PROMEDIO</b>				<b>2.1359 kgf/cm<sup>2</sup></b>

La tabla 40 muestra los datos resultantes del ensayo de resistencia del material tierra a la tracción en unidades de tierra reforzada de 6" × 12" (de acuerdo con la Norma E.080. el valor mínimo del material tierra a la tracción es de 0.8 kg/cm<sup>2</sup>) con incorporación de estiércol de Equus asinus (9% con relación al peso de la unidad de tierra reforzada). El promedio de los mejores 4 resultados es de 2.1359 kg/cm<sup>2</sup>.

*Tabla 41: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción del material tierra - Muestra experimental 12% de estiércol de Equus asinus*

Muestra	Diám. (cm)	Largo (cm)	Fuerza Aplicada (kgf)	Resistencia Última Fa (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	14.5	29.7	1260	1.8626
2	14.5	28.6	1140	1.7501
3	14.6	28	1310	2.0400
4	14.6	28.1	1210	1.8776
5	14.8	28.4	1350	2.0447
6	14.5	28.7	1250	1.9122
<b>PROMEDIO</b>				<b>1.9687 kgf/cm<sup>2</sup></b>

La tabla 41 muestra los datos resultantes del ensayo de resistencia del material tierra a la tracción en unidades de tierra reforzada de 6" × 12" (de acuerdo con la Norma E.080. el valor mínimo del material tierra a la tracción es de 0.8 kg/cm<sup>2</sup>) con incorporación de estiércol de Equus asinus (12% con relación al peso de la unidad de tierra reforzada). El promedio de los mejores 4 resultados es de 1.9687 kg/cm<sup>2</sup>.

*Tabla 42: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción del material tierra - Muestra experimental 15% de estiércol de Equus asinus*

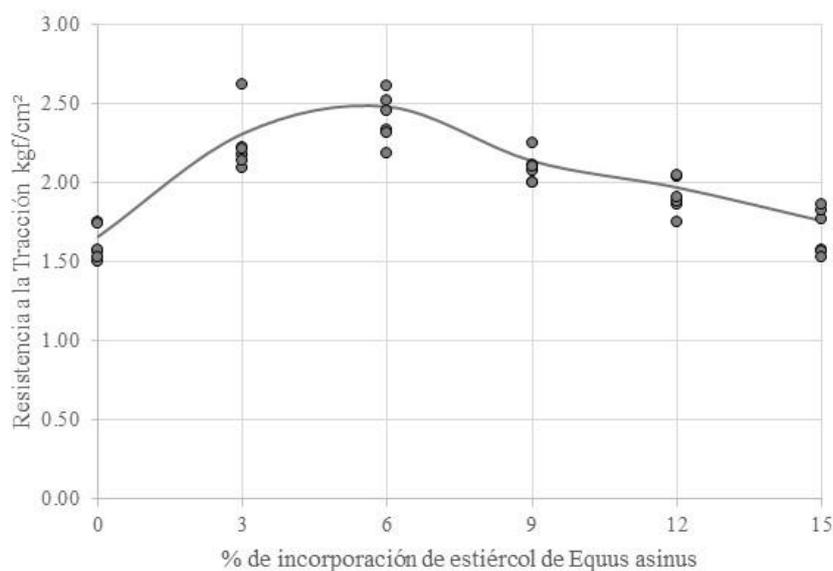
Muestra	Diám. (cm)	Largo (cm)	Fuerza Aplicada (kgf)	Resistencia Última Fa (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	14.7	28.1	1150	1.7724
2	15	27.8	1030	1.5725
3	15	27.4	1010	1.5644
4	14.6	27	1130	1.8249
5	14.8	28.4	1230	1.8630
6	14.7	28.9	1020	1.5285
<b>PROMEDIO</b>				<b>1.7582 kgf/cm<sup>2</sup></b>

La tabla 42 muestra los datos resultantes del ensayo de resistencia del material tierra a la tracción en unidades de tierra reforzada de 6" × 12" (de acuerdo con la Norma E.080. el valor mínimo del material tierra a la tracción es de 0.8 kg/cm<sup>2</sup>) con incorporación de estiércol de Equus asinus (15% con relación al peso de la unidad de tierra reforzada). El promedio de los mejores 4 resultados es de 1.7582 kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla 43: Resumen de resultados del ensayo de resistencia a la tracción del material tierra

Muestra	Resistencia Última Fa (kgf/cm <sup>2</sup> )
Control 0 %	1.6574
Experimental 3 %	2.3082
Experimental 6 %	2.4786
Experimental 9 %	2.1359
Experimental 12 %	1.9687
Experimental 15 %	1.7582
<b>Mayor resultado</b>	Experimental 6 %

Graf. 4: Resumen de resultados de resistencia del material tierra a la tracción del grupo control y experimental



El gráfico anterior muestra el incremento de la resistencia a la tracción de manera lineal en el tramo 0% – 6%, y luego un decrecimiento lineal en el tramo 6% – 15%.

El valor máximo se alcanzó con el grupo experimental que incorpora 6% de estiércol de Equus asinus: 2.4786 kg/cm<sup>2</sup>

## Ensayo de absorción en unidades

Tabla 9: Absorción en unidades de tierra reforzada sin espolvoreo de estearato de calcio

Muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Peso húmedo (kg)	Peso Seco (kg)	Absorción (%)
1	15.7	7.7	7.9	1.260	1.340	-5.97%
2	15.5	7.5	7.7	1.295	1.320	-1.89%
3	15.8	7.6	7.7	1.315	1.435	-8.36%
4	15.7	7.8	7.9	1.250	1.340	-6.72%
5	15.6	7.7	7.7	1.285	1.335	-3.75%
6	15.7	7.6	8	1.255	1.355	-7.38%
<b>PROMEDIO</b>						<b>-7.11%</b>

La tabla anterior muestra los datos resultantes del ensayo de absorción adaptado para el grupo control (sin espolvoreo de estearato de calcio). La absorción no puede ser negativa, en materiales que almacenan el agua sin deshacerse. No obstante, a pesar de haber recortado el tiempo de sumergimiento del ensayo original, las unidades de tierra reforzada no pueden evitar deshacerse al contacto con el agua, debido a ello, se pierde masa y los resultados de absorción son negativos.

Tabla 45: Tiempo de deshacimiento de las unidades de tierra reforzada sin estearato de calcio

Muestra	Tiempo (min)
1	55
2	55
3	55
4	50
5	50
6	50
<b>PROMEDIO</b>	<b>54 min</b>

La tabla anterior muestra los resultados de deshacimiento por completo de las unidades de tierra reforzada sin espolvoreo de estearato de calcio (condición en la que las unidades se convierten en barro). Se monitoreo las muestras en periodos de 5 minutos. En promedio, el tiempo de deshacimiento de cada unidad fue de 54 minutos.

*Tabla 10: Absorción en unidades de tierra reforzada con espolvoreo de estearato de calcio*

Muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Peso húmedo (kg)	Peso Seco (kg)	Absorción (%)
1	15.9	7.7	7.5	1.520	1.420	7.04%
2	15.6	7.8	7.9	1.385	1.350	2.59%
3	15.8	7.5	7.6	1.410	1.395	1.08%
4	15.6	7.8	8	1.350	1.335	1.12%
5	15.8	8	8	1.420	1.380	2.90%
6	15.5	7.7	7.8	1.385	1.330	4.14%
<b>PROMEDIO</b>						<b>4.17%</b>

La tabla anterior muestra los resultados del ensayo de absorción adaptado para el grupo control (con espolvoreo de estearato de calcio). La absorción sí pudo medirse en este caso debido a que el estearato de calcio actuó como una película exterior que compactó las unidades. Ciertas zonas, que, por propio efecto del lavado del agua, permitieron ingresar agua a las unidades, hicieron que se pueda calcular su absorción. La absorción en unidades muestrales de tierra reforzada con espolvoreo de estearato de calcio fue de 4.17%.

*Tabla 47: Tiempo de deshacimiento de las unidades de tierra reforzada con estearato de calcio*

Muestra	Tiempo (min)
1	475
2	475
3	475
4	480
5	480
6	480
<b>PROMEDIO</b>	<b>479 min</b>

La tabla 47 muestra los resultados de deshacimiento por completo de las unidades muestrales de tierra reforzada con espolvoreo de estearato de calcio (condición en la que las unidades se convierten en barro). Se monitoreó las muestras en periodos de 5 minutos. En promedio, el tiempo de deshacimiento de cada unidad fue de 479 minutos.

### Ensayo de resistencia del murete a la compresión

*Tabla 48: Resultados del ensayo de resistencia del murete a la compresión – Muestra control 0% de estiércol de Equus asinus*

Muestra	Ancho (cm)	Largo (cm)	Fuerza Aplicada (kgf)	Resistencia Última Fm (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	8.1	16.1	2240.00	6.8706
2	7.8	15.9	2060.00	6.6441
3	8.1	16	2020.00	6.2346
4	7.9	16	2030.00	6.4241
5	8.1	16	2020.00	6.2346
6	7.9	16	2030.00	6.4241
<b>PROMEDIO</b>				<b>6.5433 kgf/cm<sup>2</sup></b>

La tabla anterior indica los resultados del ensayo de resistencia del murete a la compresión (de acuerdo con la Norma E.080, la resistencia última es de  $6.12 \text{ kgf/cm}^2$ ) elaborado con unidades de tierra sin incorporación de estiércol de Equus asinus. El promedio de los mejores 4 resultados es de  $6.5433 \text{ kgf/cm}^2$ .

*Tabla 49: Resultados del ensayo de resistencia del murete a la compresión – Muestra experimental 6% de estiércol de Equus asinus*

Muestra	Ancho (cm)	Largo (cm)	Fuerza Aplicada (kgf)	Resistencia Última Fm (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	8.2	15.9	2540.00	7.7926
2	8	16.1	2460.00	7.6398
3	7.9	15.9	2350.00	7.4835
4	8.1	16	2620.00	8.0864
5	7.9	15.9	1940.00	6.1779
6	8.1	16	1890.00	5.8333
<b>PROMEDIO</b>				<b>7.7506 kgf/cm<sup>2</sup></b>

La tabla anterior señala los resultados del ensayo de resistencia del murete a la compresión (de acuerdo con la Norma E.080, la resistencia última es de  $6.12 \text{ kgf/cm}^2$ ) elaborado con unidades de tierra reforzados con la incorporación del 6% de estiércol de Equus asinus. El promedio de los mejores 4 resultados es de  $7.7506 \text{ kgf/cm}^2$ .

### Ensayo de resistencia del murete a la tracción

*Tabla 50: Resultados del ensayo de resistencia del murete a la tracción indirecta – Muestra control 0% de estiércol de Equus asinus*

Muestra	Espesor (cm)	Largo (cm)	Fuerza Aplicada (kgf)	Resistencia Última Vm (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	12	64.9	1150.00	0.2953
2	12.1	65	1120.00	0.2848
3	11.8	65.1	1030.00	0.2682
4	11.9	64.8	1090.00	0.2827
5	11.8	65.1	1030.00	0.2682
6	11.9	64.8	1090.00	0.2827
<b>PROMEDIO</b>				<b>0.2828 kgf/cm<sup>2</sup></b>

La tabla 50 muestra los resultados del ensayo de resistencia del murete a la tracción indirecta (de acuerdo con la Norma E.080. la resistencia última es de  $0.25 \text{ kgf/cm}^2$ ) elaborado con unidades de tierra sin incorporación de estiércol de Equus asinus. El promedio de los mejores 4 resultados es de  $0.2828 \text{ kgf/cm}^2$ .

*Tabla 51: Resultados del ensayo de resistencia del murete a la tracción indirecta – Muestra experimental 6% de estiércol de Equus asinus*

Muestra	Espesor (cm)	Largo (cm)	Fuerza Aplicada (kgf)	Resistencia Última Vm (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	12	64.9	1300.00	0.3338
2	12.1	65	1270.00	0.3229
3	11.8	65.1	1340.00	0.3489
4	11.9	64.8	1210.00	0.3138
5	11.8	65.1	1340.00	0.3489
6	11.9	64.8	1210.00	0.3138
<b>PROMEDIO</b>				<b>0.3299 kgf/cm<sup>2</sup></b>

La tabla 51 muestra los resultados del ensayo de resistencia del murete a la tracción indirecta (de acuerdo con la Norma E.080. la resistencia última es de  $0.25 \text{ kgf/cm}^2$ ) elaborado con unidades de tierra reforzados con la incorporación del 6% de estiércol de Equus asinus. El promedio de los mejores 4 resultados es de  $0.3299 \text{ kgf/cm}^2$ .

## Ensayo de inundación simulada del murete

*Tabla 52: Resultados de la medición de capilaridad durante el ensayo de inundación simulada – Muestra control 0% de estiércol de Equus asinus y sin estearato de calcio*

Monitoreo (min)	Capilaridad (mm)																
0	0	40	93	80	165	120	260	160	291	200	307	240	386	280	436	320	486
5	12	45	95	85	180	125	261	165	295	205	312	245	386	285	438	325	496
10	31	50	110	90	186	130	264	170	296	210	318	250	392	290	441	330	524
15	47	55	127	95	201	135	270	175	296	215	341	255	421	295	448	335	527
20	51	60	129	100	201	140	281	180	298	220	359	260	425	300	459	340	540
25	56	65	132	105	212	145	282	185	302	225	365	265	427	305	461	345	CAÍDA
30	58	70	155	110	213	150	289	190	302	230	368	270	434	310	461		
35	68	75	155	115	225	155	290	195	304	235	373	275	434	315	479		

La tabla 52 muestra los resultados del ensayo de inundación simulada del murete (ensayo propuesto por el autor) elaborado con unidades de tierra sin adición de estiércol de Equus asinus y sin recubrimiento de Estearato de calcio. La capilaridad máxima registrada fue de 540 mm y el tiempo de caída del murete fue 345 min.

*Tabla 53: Resultados de la medición de capilaridad durante el ensayo de inundación simulada – Muestra experimental con 6% de estiércol de Equus asinus y estearato de calcio*

Monitoreo (min)	Capilaridad (mm)																
0	0	125	27	250	75	375	117	500	157	625	176	750	215	875	260	1000	290
5	1	130	28	255	75	380	121	505	158	630	176	755	215	880	261	1005	291
10	2	135	28	260	77	385	122	510	159	635	177	760	219	885	262	1010	292
15	5	140	29	265	79	390	122	515	161	640	178	765	221	890	262	1015	292
20	7	145	30	270	84	395	125	520	162	645	179	770	221	895	263	1020	293
25	8	150	31	275	84	400	129	525	162	650	181	775	224	900	266	1025	295
30	10	155	32	280	86	405	130	530	162	655	184	780	227	905	267	1030	299
35	11	160	33	285	86	410	130	535	162	660	184	785	231	910	267	1035	300
40	12	165	35	290	93	415	132	540	162	665	184	790	231	915	270	1040	301
45	13	170	41	295	96	420	132	545	163	670	187	795	232	920	271	1045	302
50	14	175	43	300	97	425	133	550	163	675	190	800	233	925	272	1050	304
55	17	180	44	305	98	430	134	555	163	680	194	805	233	930	272	1055	307
60	17	185	44	310	98	435	135	560	165	685	194	810	233	935	273	1060	310
65	17	190	47	315	98	440	136	565	165	690	195	815	234	940	275	1065	311
70	18	195	49	320	99	445	139	570	169	695	195	820	234	945	277	1070	311
75	18	200	50	325	102	450	142	575	170	700	197	825	234	950	278	1075	311
80	20	205	55	330	105	455	143	580	171	705	200	830	235	955	279	1080	312
85	21	210	57	335	106	460	143	585	171	710	200	835	239	960	279	1085	316
90	22	215	66	340	106	465	144	590	172	715	201	840	240	965	280	1090	316
95	24	220	67	345	109	470	146	595	173	720	202	845	241	970	280	1095	317
100	24	225	67	350	111	475	146	600	175	725	203	850	242	975	285	1100	319
105	24	230	70	355	112	480	149	605	175	730	207	855	246	980	285	1105	319
110	25	235	71	360	112	485	149	610	175	735	211	860	248	985	286	1110	320
115	26	240	73	365	114	490	151	615	176	740	214	865	249	990	289	1115	320
120	27	245	74	370	115	495	154	620	176	745	214	870	258	995	290	1120	CAÍDA

La tabla anterior muestra los resultados del ensayo de inundación simulada del murete (ensayo propuesto por el autor) elaborado con unidades de tierra reforzada con la integración del 6% de estiércol de Equus asinus y con recubrimiento de Estearato de calcio. La capilaridad máxima registrada fue de 540 mm y el tiempo de caída del murete fue 1120 min.

## Comparación del precio unitario de muretes control vs experimentales

*Tabla 11: Costo unitario de una unidad de tierra convencional*

<b>PARTIDA:</b>	<b>Unidad de tierra convencional</b>					
<b>RENDIMIENTO:</b>	500	und/día	HORAS:		8	
	Costo directo unitario por:					<b>0.31</b>
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Und.	Cuadrilla	Cantidad	Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Total S/.
<b>MANO DE OBRA</b>						0.29
Oficial	hh	1.00	0.016	18.12	0.29	
<b>MATERIALES</b>						0.01
Suelo arcilloso	m3		0.0018		0.00	
Agua	m3		0.0007		0.00	
Paja	m3		0.0005	10	0.01	
<b>EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>						0.01
Herramientas Manuales	%MO		5.00	0.29	0.01	

La tabla anterior muestra el análisis del costo unitario de una unidad de tierra sin incorporación de estiércol de Equus asinus, el precio unitario es de S/0.31.

*Tabla 12: Costo unitario de una unidad de tierra reforzada con estiércol de Equus asinus*

<b>PARTIDA:</b>	<b>Unidad de tierra reforzada con estiércol de Equus asinus</b>					
<b>RENDIMIENTO:</b>	500	und/día	HORAS:		8	
	Costo directo unitario por:					<b>0.33</b>
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Und.	Cuadrilla	Cantidad	Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Total S/.
<b>MANO DE OBRA</b>						0.29
Oficial	hh	1.00	0.016	18.12	0.29	
<b>MATERIALES</b>						0.03
Suelo arcilloso	m3		0.0016		0.00	
Agua	m3		0.0008		0.00	
Estiércol de Equus asinus	m3		0.0006	50	0.03	
<b>EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>						0.01
Herramientas Manuales	%MO		5.00	0.29	0.01	

La tabla anterior muestra el análisis del costo unitario de una unidad de tierra reforzada con la incorporación del 6% de estiércol de Equus asinus, el precio unitario es de S/0.33.

Tabla 13: Costo unitario de un muro elaborado con unidades de tierra convencionales

<b>PARTIDA: Muro convencional</b>						
<b>RENDIMIENTO:</b>		6	m2/día	<b>HORAS:</b>		8
				Costo directo unitario por:		m2/día
						<b>54.67</b>
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Und.	Cuadrilla	Cantidad	Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Total S/.
<b>MANO DE OBRA</b>						
Oficial	hh	1.00	1.3333	18.12	24.160	46.16
Peòn	hh	1.00	1.3333	16.50	22.000	
<b>MATERIALES</b>						
Unidad de tierra convencional	und		20.0000	0.31	6.195	6.20
Suelo arcilloso	m3		0.0009	7	0.006	
Paja	m3		0.0001	10	0.001	
<b>EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>						
Herramientas Manuales	%MO		5.00	46.16	2.31	2.31

La tabla anterior muestra el análisis del costo unitario de asentar un murete elaborado de unidades de tierra sin adición de estiércol de *Equus asinus* y sin recubrimiento de Estearato de Calcio, el precio por  $m^2$  es de S/54.67.

Tabla 14: Costo unitario de un muro elaborado con unidades de tierra reforzadas con estiércol de *Equus asinus* y recubierto con estearato de calcio.

<b>PARTIDA: Muro reforzado con estiércol de Equus asinus y recubrimiento de estearato de calcio</b>						
<b>RENDIMIENTO:</b>		6	m2/día	<b>HORAS:</b>		8
				Costo directo unitario por:		m2/día
						<b>65.16</b>
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Und.	Cuadrilla	Cantidad	Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Total S/.
<b>MANO DE OBRA</b>						
Oficial	hh	1.00	1.3333	18.12	24.160	46.16
Peòn	hh	1.00	1.3333	16.50	22.000	
<b>MATERIALES</b>						
Unidad de tierra reforzada	m3		20.0000	0.33	6.688	16.70
Suelo arcilloso	m3		0.0009	7	0.006	
Paja	m3		0.0001	10	0.001	
Estearato de Calcio	kg		0.667	15	10.00	
<b>EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>						
Herramientas Manuales	%MO		5.00	46.16	2.31	2.31

La tabla anterior muestra el análisis del costo unitario de asentar un murete elaborado de unidades muestrales de tierra reforzada con la incorporación del 6% de estiércol de *Equus asinus* y con recubrimiento de Estearato de Calcio, el precio por  $m^2$  es de S/65.16.

### Discusión

A través de los ensayos desarrollados durante la presente investigación se puede afirmar la hipótesis planteada en un inicio: La adición de estiércol de *Equus asinus* y estearato de calcio mejoran la resistencia a la compresión y reducen la permeabilidad de las unidades muestrales de tierra reforzada, respectivamente.

De los resultados, se nota que el grupo experimental con adición de estiércol de *Equus asinus* al 6% y la presencia de estearato de calcio generan los mejores resultados a diferencia de los otros grupos, tanto experimentales como el de control.

### **Ensayos in situ**

A partir de la prueba “Cinta de barro” se pudo caracterizar la muestra de suelo tomada como un “suelo muy arcilloso” debido a que la elongación máxima de la cinta de barro elaborada con dicho material estuvo en el rango de 20 – 25 *cm*. A partir de lo cual, de acuerdo con la Norma E.080, el suelo podría ser apto para la selección de la cantera de suelo y se deben seguir con las pruebas in situ.

Después de realizarse la prueba “Presencia de arcilla” o “Resistencia seca” se determinó que el suelo presenta arcilla debido a que las bolitas elaboradas con dicho material y con un periodo de secado de 48 horas no se rompieron al ser aplastadas. Por lo cual, de acuerdo con la Norma E.080 se determina que el suelo presenta arcilla y es apto para la producción de unidades de tierra reforzada.

### **Ensayos en laboratorio de la muestra de suelo**

El análisis granulométrico de la muestra del suelo de la cantera determinó que el módulo de fineza es 0.638, el coeficiente de uniformidad es 6.0 y el coeficiente de curvatura es 0.9.

Debido a que el coeficiente de curvatura es menor a 1, la clasificación del suelo viene a estar determinada por los Límites de Atterberg.

Los límites de Atterberg determinaron que el límite plástico del suelo es 14 % y el índice de plasticidad del suelo es 10%, con lo cual el límite líquido resulta ser 24%. Asimismo ajustando los valores en la curva de fluidez, se obtuvo una ecuación de regresión  $y = -2.08 \ln(x) + 50.395$ .

Posteriormente, usando la carta de plasticidad se determinó que el suelo tiene una clasificación SUCS: SP-SC-Arena pobremente graduada con arcilla.

El contenido de humedad de la muestra de suelo fue de 2.61%, un valor coherente con la localización de la cantera de suelo. Este valor es importante a tomar en cuenta durante el proceso de hidratación del barro antes de elaborar las unidades de tierra reforzada.

### **Análisis fisicoquímico del agua**

El análisis fisicoquímico de la muestra de agua usada para elaborar las unidades de tierra reforzada determinó que presenta un pH de 7.79, es decir una caracterización básica, casi neutra, una conductividad de 528  $us/cm^2$ , una salinidad de 1%, presencia de cloruros de 14.4  $mg/L$ , una presencia de sulfatos de 345.6  $mg/L$ , un TDS de 264.0  $mg/L$ , y una turbidez

de 10.1 NTU. Por lo que se demuestra que el agua no presenta agentes contaminantes, ni parámetros que afecten la calidad de los materiales y por lo tanto es apta para ser usada en la construcción.

#### **Medición dimensional de las unidades usadas en el ensayo del material tierra a compresión**

La variación dimensional de las unidades del grupo control y experimental involucrados en el ensayo del material tierra a compresión tuvo un mínimo de 0.94% y un máximo de 2.20 %.

No existe un parámetro normado que establezca un máximo o mínimo para la variación dimensional de unidades de tierra reforzada, sin embargo, por iniciativa propia del autor, y para uniformizar los resultados, se procuró descartar unidades con variaciones dimensionales mayores a 5%

#### **Medición dimensional de las unidades usadas en el ensayo del material tierra a tracción**

La variación dimensional de las unidades del grupo control y experimental involucrados en el ensayo del material tierra a tracción tuvo un mínimo de 0.72% y un máximo de 3.67 %. No existe un parámetro normado que establezca un máximo o mínimo para la variación dimensional de unidades de tierra reforzada, sin embargo, por iniciativa propia del autor, y para uniformizar los resultados, se procuró descartar unidades con variaciones dimensionales mayores a 5%

#### **Medición dimensional de las unidades usadas en el ensayo adaptado de absorción**

La variación dimensional de las unidades del grupo control y experimental involucrados en el ensayo adaptado de absorción tuvo un mínimo de 0.60% y un máximo de 2.20 %. No existe un parámetro normado que establezca un máximo o mínimo para la variación dimensional de unidades de tierra reforzada, sin embargo, por iniciativa propia del autor, y para uniformizar los resultados, se procuró descartar unidades con variaciones dimensionales mayores a 5%

#### **Ensayo de resistencia a la compresión del material tierra**

De acuerdo con la Norma E.080 el valor mínimo que deben alcanzar las unidades muestrales de tierra reforzada después de 28 días de secado en el ensayo de resistencia a la compresión del material tierra es de  $10.2 \text{ kg/cm}^2$ . Asimismo, el valor de resistencia a la compresión se debe tomar como el promedio de los 4 mejores resultados de las muestras ensayadas.

Los resultados muestran que la cantera elegida es ideal para la fabricación de unidades reforzadas pues los resultados superan el mínimo establecido por la Norma E.080 tanto para el grupo control como para los experimentales. Además, las muestras del grupo experimental con incorporación de 6% de estiércol de *Equus asinus* mostraron los mejores resultados:

23.93  $kg/cm^2$ . Un aumento del 134.63% con respecto a lo establecido por la norma y del 19% con respecto al grupo control.

Los resultados de resistencia a la compresión mediante el ensayo de compresión uniaxial fueron directamente proporcionales a la incorporación del estiércol de *Equus asinus* hasta cierto punto, alcanzando un valor máximo con la dosificación de 6%, luego estos valores disminuyeron progresivamente hasta por debajo de lo esperado en el grupo control. Por tanto, se comprende que la incorporación de un material fibroso en la producción de unidades de tierra reforzada no debería ser descontrolada para obtener resultados favorables.

Algunas investigaciones alcanzaron una resistencia a la compresión máxima de 16.09  $kgf/cm^2$  [31], 18.96  $kgf/cm^2$  [32], 22.88  $kgf/cm^2$  [13], 23.45  $kgf/cm^2$  [33], 25.4  $kgf/cm^2$  [34], similares a las alcanzadas en la presente investigación. Por otro lado, otras investigaciones alcanzaron valores mucho más altos: 71.19  $kgf/cm^2$  [14], 64.29  $kgf/cm^2$  [15], 60.38  $kgf/cm^2$  [35], debido a la composición mineralógica del suelo usado y la incursión en nuevas técnicas de elaboración de unidades de tierra reforzadas como el bloque de ladrillo comprimido (CEB). De ahí que se tome la debida importancia al mejoramiento de las técnicas de elaboración de las unidades muestrales de tierra reforzada.

Adicionalmente, de modo cualitativo, las muestras ensayadas del grupo experimental mostraron un tipo de falla ideal, conservando su forma inclusive después de haber fallado, en tanto que las muestras del grupo control no, debido a que se desmoronaron inmediatamente tras fallar.

#### **Ensayo de resistencia a la tracción del material tierra**

De acuerdo con la Norma E.080 el valor mínimo que deben alcanzar las unidades de tierra reforzada después de 28 días de secado en el ensayo de resistencia a la tracción del material tierra es de 0.81  $kg/cm^2$ . Asimismo, el valor de resistencia a la tracción se debe tomar como el promedio de los 4 mejores resultados de las muestras ensayadas.

Los resultados muestran que la cantera elegida es ideal para la fabricación de unidades reforzadas pues los resultados superan el mínimo establecido por la Norma E.080 tanto para el grupo control como para los experimentales. Además, las muestras del grupo experimental con incorporación de 6% de estiércol de *Equus asinus* mostraron los mejores resultados: 2.48  $kg/cm^2$ . Un aumento del 206.17% con respecto a lo establecido por la norma y del 50% con respecto al grupo control.

Los datos resultantes de resistencia a la tracción mediante el ensayo brasileño a tracción fueron directamente proporcionales a la incorporación de estiércol de *Equus asinus* hasta cierto punto, alcanzando los mejores resultados con la dosificación de 6%, luego estos valores disminuyeron progresivamente hasta por debajo de los resultados esperados del grupo control. Por tanto, se infiere que la incorporación de un material fibroso en la elaboración de ladrillos de adobe no debe ser descontrolada para obtener resultados favorables.

Algunas investigaciones alcanzaron una resistencia a la tracción máxima de  $4.59 \text{ kgf/cm}^2$  [31],  $4.08 \text{ kgf/cm}^2$  [36]. No obstante, otras investigaciones alcanzaron valores mucho más altos:  $6.00 \text{ kgf/cm}^2$  [37],  $11.8 \text{ kgf/cm}^2$  [38], debido a la composición mineralógica del suelo y de la incursión en métodos alternativos para determinar la resistencia a la tracción diferentes al usado en el presente estudio.

Adicionalmente, de modo cualitativo, las muestras ensayadas del grupo experimental mostraron un tipo de falla ideal, conservando su forma inclusive después de haber fallado, en tanto que las muestras del grupo control no, debido a que se desmoronaron inmediatamente tras fallar.

#### **Ensayo de absorción en unidades**

No existe normativa que establezca límites para la absorción de unidades muestrales de tierra reforzada debido a la misma naturaleza del material. La arcilla sin cocer es altamente erosionable en presencia de agua y es por ello por lo que el autor propone una adaptación basándose en el ensayo de absorción de unidades de arcilla cocida, variando las condiciones y el tiempo de sumergimiento. En adición que se monitoreó cada  $5 \text{ min}$  el estado de conservación de las unidades.

Las unidades sin espolvoreo de estearato de calcio presentaron resultados de absorción negativos debido a que no pueden evitar deshacerse y perder masa al contacto con el agua. Las unidades tuvieron una pérdida en promedio de hasta un  $7.11 \%$ .

Por un lado, el tiempo en promedio que tardaron en deshacerse por completo fue de  $54 \text{ min}$ .

Las unidades con espolvoreo de estearato de calcio presentaron resultados de absorción positivos, es decir, almacenaron agua por un corto periodo de tiempo. La absorción en promedio fue de  $4.17\%$ . El agua retenida pudo haberse infiltrado por las grietas que se iban formando al entrar en contacto con el agua por el propio proceso de lavado.

Por otro lado, el tiempo en promedio que tardaron en deshacerse las muestras por completo fue de  $479 \text{ min}$ .

El tiempo de mejora de las muestras del grupo experimental con respecto al grupo control fue de 8.87 veces, demostrándose de esta manera la efectividad del recubrimiento de estearato de calcio como reductor de la permeabilidad.

Una investigación demostró que la incorporación de materiales poliméricos mejora la resistencia del material tierra a la erosión obteniendo resultados similares a los alcanzados en el presente estudio: 9%. [39]. Otro estudio concluyó cualitativamente que la incorporación de Carragenina (que contiene carragenano, un compuesto químico que forma una película hidrofóbica) disminuyó la absorción de las unidades muestrales de tierra relacionando la absorción de las muestras con la erosión total de las mismas [37].

### **Ensayo de resistencia del murete a la compresión**

Los resultados promedio de resistencia del murete a la compresión tanto del grupo control como del grupo experimental alcanzaron una resistencia mayor a la normada por la Norma E.080:  $6.12 \text{ kgf/cm}^2$ , lo que demuestra la buena calidad de las unidades de tierra reforzada. Por otro lado, se encontró que el valor máximo se alcanzó con el grupo experimental que incorpora 6% de estiércol de *Equus asinus* pues se logró un incremento del 10% de la resistencia del murete a la compresión en comparación al grupo control y un 20% en comparación con el valor mínimo normado.

El estudio sobre resistencia a la compresión de ladrillos de adobe se realiza generalmente a nivel de unidades debido a la alta sensibilidad de los muretes a romperse. Un estudio sobre impresión 3D con matrices de tierra elaboró muestras mediante apilamiento, donde se alcanzó una resistencia a la compresión de  $9.18 \text{ kgf/cm}^2$  [40], las pilas que tuvieron más altura resultaron ser más resistentes alcanzando valores de hasta  $22.94 \text{ kgf/cm}^2$ . No obstante, surgieron problemas relacionados a la esbeltez. El estudio abarca una nueva técnica de construcción mediante métodos más modernos como la impresión 3D, lo cual es más costoso, pero se obtienen resultados similares a los obtenidos en el presente estudio.

### **Ensayo de resistencia del murete a la tracción**

Los resultados promedio de resistencia del murete a la tracción indirecta tanto del grupo control como del grupo experimental alcanzaron una resistencia mayor a la normada por la Norma E.080:  $0.25 \text{ kgf/cm}^2$ , lo que demuestra la buena calidad de las unidades muestrales de tierra reforzada. Por otro lado, se encontró que el valor máximo se alcanzó con el grupo experimental que incorpora 6% de estiércol de *Equus asinus*. En términos generales, se logró

un incremento del 18% de la resistencia del murete a la compresión en contraste al grupo control y un 32% en comparación con el valor mínimo normado.

Los muretes de ladrillos de adobe presentan una baja resistencia a la tracción pues a diferencia de otros materiales de construcción su comportamiento no es del todo monolítico. Debido a ello, se ha demostrado que su comportamiento bajo compresión uniaxial [31] es mucho mejor que el de tracción. Los resultados son consistentes con la naturaleza del material tierra y su caracterización mecánica, en donde se resalta la compresión sobre la tracción [41]

#### **Ensayo de inundación simulada del murete**

Los datos resultantes de la capilaridad medida en los muretes durante el ensayo de inundación simulada, el grupo control alcanzó 640 *mm* de capilaridad mientras que el grupo experimental 320 *mm*. Dichos resultados demuestran la efectividad del recubrimiento de estearato de calcio como reductor de permeabilidad.

Investigaciones sobre el estudio de absorción a través de la capilaridad demostraron que las técnicas de construcción influyen significativamente en este fenómeno, se concluye que mientras más porosidad tenga el adobe, mayor es la capacidad del agua de infiltrarse y erosionar [40]. Por otro lado, se demostró que la incorporación de materiales hidrofóbicos durante el proceso de producción de las unidades de tierra reforzada le dotan de dichas capacidades para repeler el agua [42].

Sobre los resultados del tiempo de caída de los muretes, el grupo control cedió a los 345 *min* mientras que el grupo experimental a los 1120 *min* bajo una presión de 0.30 *m* de agua. Lo cual demuestra el efecto del estearato de calcio para reducir la permeabilidad y al mismo tiempo la mejora de la resistencia de las unidades de tierra reforzada debido a la incorporación del 6% de estiércol de *Equus asinus*.

#### **Comparación del precio unitario de muretes control vs experimentales**

En cuanto al precio unitario relacionado a la elaboración de una unidad de tierra reforzada, hubo un aumento del 6.45%. Este aumento se debe a que el precio del estiércol de *Equus asinus* es superior al de la pajilla de arroz usado en la elaboración convencional de unidades de tierra porque también es usado como fertilizante natural.

En relación con el precio unitario del asentamiento de muros por  $m^2$  elaborados con unidades de tierra convencionales y sin recubrimiento en comparación con los muros elaborados con unidades muestrales de tierra reforzada con incorporación del 6% de estiércol de *Equus asinus* y recubiertos de estearato de calcio, hubo un incremento del 19.20%. Este

aumento se debe en primer lugar al incremento del precio unitario de la elaboración de la unidad de tierra reforzada y, en segundo lugar, al precio del Estearato de calcio.

En términos generales, el incremento es justificado para garantizar el asentamiento de muros de unidades reforzadas más resistentes y menos permeables, teniendo la posibilidad de ahorrar en volver a asentar un murete que se derrumbe debido a la inundación o a movimientos sísmicos.

### **Conclusiones**

Se determinó la presencia de arcilla y la buena condición de la cantera del suelo para usarse en el desarrollo de la presente investigación a través de los ensayos “in situ” descritos por la Norma E080. La excelente condición del suelo se reflejó en los ensayos efectuados a las unidades muestrales de tierra reforzada.

Después de realizar el análisis granulométrico y la determinación de los límites de Atterberg del suelo utilizado en el desarrollo de la presente investigación, se determinó que este presenta una clasificación SUCS: SP-SC-Arena pobremente graduada con arcilla. Esta clasificación reafirma lo sugerido por los ensayos “in situ”.

El agua usada en el desarrollo de la investigación fue considerada apta para el uso en la construcción después del análisis fisicoquímico.

La resistencia a la compresión en unidades de tierra reforzada del grupo control fue:  $19.27 \text{ kgf/cm}^2$  y del grupo experimental,  $21.46 \text{ kgf/cm}^2$  (incorporación del 3% de estiércol de Equus asinus) ,  $23.93 \text{ kgf/cm}^2$  (incorporación del 6% de estiércol de Equus asinus),  $20.99 \text{ kgf/cm}^2$  (incorporación del 9% de estiércol de Equus asinus),  $18.48 \text{ kgf/cm}^2$  (incorporación del 12% de estiércol de Equus asinus),  $15.39 \text{ kgf/cm}^2$  (incorporación del 15% de estiércol de Equus asinus). Se determinó que el grupo experimental que incorpora 6% de estiércol de Equus asinus mejoró un 24% la resistencia a la compresión en comparación con el grupo control.

La resistencia a la tracción en unidades de tierra reforzada del grupo control fue:  $1.66 \text{ kgf/cm}^2$  y del grupo experimental,  $2.31 \text{ kgf/cm}^2$  (incorporación del 3% de estiércol de Equus asinus) ,  $2.48 \text{ kgf/cm}^2$  (incorporación del 6% de estiércol de Equus asinus),  $2.14 \text{ kgf/cm}^2$  (incorporación del 9% de estiércol de Equus asinus),  $1.97 \text{ kgf/cm}^2$  (incorporación del 12% de estiércol de Equus asinus),  $1.76 \text{ kgf/cm}^2$  (incorporación del 15% de estiércol de Equus asinus). Se determinó que el grupo experimental que incorpora 6% de estiércol de Equus asinus mejoró un 50% la resistencia a la tracción en contraste con el grupo control.

El grado de permeabilidad del grupo control a través de la absorción no pudo medirse correctamente debido a que el material tierra se erosionó inmediatamente al tener contacto con el agua. El grupo experimental, recubierto con estearato de calcio, logró absorber agua 4.17% sin erosionarse por un momento.

Después de los ensayos de resistencia a la compresión y tracción a nivel de unidades se determinó que el porcentaje óptimo de incorporación de estiércol de *Equus asinus* fue del 6%.

La resistencia a la compresión en muretes de tierra reforzada del grupo control fue:  $6.54 \text{ kgf/cm}^2$  y del grupo experimental,  $7.75 \text{ kgf/cm}^2$  (incorporación del 6% de estiércol de *Equus asinus*). Se determinó que el grupo experimental que incorpora 6% de estiércol de *Equus asinus* mejoró un 20% la resistencia del murete a la compresión en comparación con el grupo control.

La resistencia a la tracción indirecta en muretes de tierra reforzada del grupo control fue:  $0.28 \text{ kgf/cm}^2$  y del grupo experimental,  $0.33 \text{ kgf/cm}^2$  (incorporación del 6% de estiércol de *Equus asinus*). Se determinó que el grupo experimental que incorpora 6% de estiércol de *Equus asinus* mejoró un 18% la resistencia del murete a la tracción en comparación con el grupo control.

La absorción del grupo control a través de la medición de la capilaridad fue de:  $540 \text{ mm}$  y del grupo experimental:  $320 \text{ mm}$ . Asimismo, el tiempo de derrumbe del grupo control fue a los:  $345 \text{ min}$  y del grupo experimental:  $1120 \text{ min}$ . Lográndose de esta manera una capilaridad 40.74% menor y un retraso en el derrumbe de hasta 3 veces.

El precio del asentamiento de muros de unidades tierra reforzada con unidades convencionales fue de:  $S/54.67$ , y de unidades muestrales de tierra reforzada con 6% de estiércol de *Equus asinus* y recubiertos de estearato de calcio fue de:  $S/65.16$ . Encontrándose un aumento del 19.20%.

Finalmente, el efecto de incorporar estiércol de *Equus asinus* al 6% mejoró en gran medida la resistencia a la compresión (24% a nivel de unidades y 20% a nivel de muretes) y tracción (50% a nivel de unidades y 18% a nivel de muretes) de las unidades de tierra reforzada. Por otro lado, el recubrimiento de estearato de calcio redujo la permeabilidad de las unidades muestrales de tierra reforzada (se retrasó la caída de los muretes hasta por 3 veces).

## Recomendaciones

No se realizó un análisis químico del estiércol de *Equus asinus* por falta de laboratorios disponibles para llevar a cabo dicho análisis en el momento. Sin embargo, se recomienda considerar esta evaluación en futuras investigaciones una vez que los recursos adecuados estén disponibles y de esta manera tener un mayor conocimiento de la composición química del estiércol. Asimismo, se recomienda realizar una difracción de rayos X (XRD) a la mezcla de suelo con estiércol para reconocer de manera precisa la composición química y la estructura cristalina del nuevo material en cuestión.

No se realizaron ensayos de muestras con la incorporación de estiércol bajo distintos tiempos de secado, en su lugar, se optó por estudiar el porcentaje de incorporación sin tomar en cuenta el tiempo de secado para reducir el número de muestras a ensayar. Se recomienda, realizar ensayos donde se estudie la influencia del tiempo de secado en el comportamiento del estiércol de *Equus asinus* como refuerzo en unidades de tierra reforzada.

No se realizó un estudio bacteriológico a profundidad del estiércol de *Equus asinus* debido a que durante el periodo de secado este es expuesto a la luz solar y esta última actúa como germicida inactivando todo tipo de microorganismo presente. No obstante, se recomienda realizar un estudio a profundidad de recuento de mesófilas variables para reconocer cualquier tipo de microorganismo que no haya sido inactivado y requiera de atención.

Para determinar la resistencia a la compresión y tracción de las unidades de albañilería de tierra reforzada se recomienda calibrar la máquina después de cada ensayo y centrar las muestras para que la compresión uniaxial se dé adecuadamente.

Para determinar el grado de permeabilidad de las unidades de albañilería de tierra reforzada, se sugiere adaptar ensayos de absorción normalizados, medir la cantidad de agua absorbida y comparar los resultados entre el grupo control y experimental. Se sugiere incursionar en el estudio de distintos materiales, más eficientes, que puedan mejorar la hidrofobicidad de las unidades de tierra reforzada a manera de recubrimiento.

Para determinar la resistencia a la compresión y tracción de los muretes elaborados con unidades de albañilería de tierra reforzada se sugiere estudiar métodos alternativos debido a la alta sensibilidad de fractura del murete durante el transporte.

Para determinar el porcentaje de absorción y el tiempo de derrumbe de los muretes se propuso el ensayo de inundación simulada y comparar los resultados sobre capilaridad y tiempo de caída entre el grupo control y experimental. Se sugiere proponer métodos alternativos para estudiar dicha influencia de una manera más profunda y de esta manera, normalizar dichas propuestas.

## Referencias

- [1] K. Simancas Yovane, “Reacondicionamiento bioclimático de viviendas de segunda residencia en clima mediterráneo”, Tesis doctoral, Depto. de Construcciones Arquitectónicas, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España, 2003. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10803/6113>
- [2] F. Ortega Andrade, “La construcción en Egipto. Primera parte”, *Revista de Edificación RE*, vol. 10, pp. 55-65, 1992. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10171/16468>
- [3] R. Shady Solis, *La ciudad Sagrada de Caral-Supe en los albores de la civilización en el Perú*. Lima: Fondo Editorial, 1997. [En línea]. Disponible en: [https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/libros/arqueologia/ciudad\\_sagrada/caratula.htm](https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/libros/arqueologia/ciudad_sagrada/caratula.htm)
- [4] H. Aspilicueta Bellido y S. López Vargas, "CHAN CHAN Patrimonio Cultural de la Humanidad", Ministerio de Cultura, Perú, Catálogo Digital, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://patrimoniomundial.cultura.pe/sites/default/files/pub/pdf/CATALOGO%20DIGITAL%20CHAN%20CHAN%20Final%20Modificado%20e%20Impreso.pdf>
- [5] L. Narváez Vargas, "EL MUSEO TÚCUME Y LA NUEVA MUSEOLOGÍA", *Chungara Revista de Antropología Chilena*, vol. 51, n° 2, pp. 291-304, jul. 2019. [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-73562019005001601> . Acceso: abril 2022.
- [6] Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI, “El fenómeno EL NIÑO en el Perú”, Ministerio del Ambiente, Perú, Dossier, 2014. [En línea]. Disponible en: [https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/07/Dossier-El-Ni%C3%B1o-Final\\_web.pdf](https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/07/Dossier-El-Ni%C3%B1o-Final_web.pdf)
- [7] C. Gutierrez Espino, "Perú: Características de las viviendas particulares y los hogares. Acceso a servicios básicos", INEI, Perú, Informe, 2018. [En línea]. Disponible en: [INEI - CPV 2017](http://inei.gob.pe/publicaciones/inei-cpv-2017)
- [8] Departamento Académico de Ingeniería, “Norma E.0.80: Diseño y construcción con tierra reforzada. Entrevista a Julio Vargas”, PUCP. <https://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/2017/06/05/norma-e-0-80-diseno-y-construccion-con-tierra-reforzada/>. (acceso: 21 de abril del 2022)
- [9] L. Espinoza, “El adobe y reboque, técnicas ancestrales en la construcción”, CIDAP. <http://documentacion.cidap.gob.ec:8080/bitstream/cidap/1637/1/El%20adobe%20y%20el%20reboque%20t%C3%A9cnicas%20ancestrales%20en%20la%20construcci%C3%B3n.pdf> (acceso: 21 de abril del 2022)

[10] Suministro de Especialidades, SA de CV, "Estearato de Calcio L-155", Suministro de Especialidades, SA de CV, México, Hoja Técnica, n° 00, 2013. [En línea]. Disponible en: [Especificaciones de Venta \(suministro.com.mx\)](https://www.suministro.com.mx)

[11] L. Widder, "Earth eco-building: textile-reinforced earth block construction", presentada en CISBAT 2017 International Conference – Future Buildings & Districts – Energy Efficiency from Nano to Urban Scale, Lausanne, 6-8 sep., 2017. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.392>

[12] F. Faglih Khorasani y M. Zaman Kabir, "Experimental study on the effectiveness of short fiber reinforced clay mortars and plasters on the mechanical behavior of adobe masonry walls", Case Studies in Construction Materials, vol. 16, 2022. ene.2022. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e00918> . Acceso: abril 2022.

[13] G. Araya et al, "Waste-based natural fiber reinforcement of adobe mixtures: Physical, mechanical, damage and durability performance assessment", Journal of Cleaner Production, jul. 2020. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122806> . Acceso: abril 2022.

[14] C. Babé, D. Kaoga Kigmo, A. Tom, R. Ngono Mvondo, R. Essama Boum y N. Djongyang, "Thermomechanical characterization and durability of adobes reinforced with millet waste fibers (sorghum bicolor)", Case Studies in Construction Materials, vol. 13, 2020, ago. 2020. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00422> . Acceso: abril 2022.

[15] C. Babé, D. Kaoga Kigmo, A. Tom, R. Ngono Mvondo, R. Essama Boum y N. Djongyang, "Effect of neem (Azadirachta Indica) fibers on mechanical, thermal and durability properties of adobe bricks", ENERGY REPORTS, vol. 7, 2021. Jul. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.egypr.2021.07.085> . Acceso: abril 2022.

[16] D. Ortiz, "Efectos de la incorporación de cuatro porcentajes (2.5%, 5%, 7.5% y 10%) de estiércol de caballo en la resistencia a la compresión y flexión del adobe", Tesis, Dpto. de Ingeniería, Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú, 2019. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11537/14779>

[17] G. Sandoval Alvarado, "Evaluación de la erosión y la resistencia del adobe adicionado con cenizas de carbón y cal", Tesis, Dpto. de Ingeniería Civil Ambiental, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, Perú, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12423/4232>

[18] NORMA E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. N°121-2017.

- [19] NORMA E.080 Adobe, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. 2006.
- [20] M. Moscoso Cordero, “El Adobe, sus características y el confort térmico”. Eumed.net. [El-adobe-Moscoso.pdf \(eumed.net\)](#) (acceso:15 de mayo de 2022)
- [21] N. Ciancaglini Prosap, “R-001-Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico”, PROSAP, Argentina. [En línea]. Disponible en: [Microsoft Word - INSTRUCTIVO R-001 - Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico.docx \(prosap.gov.ar\)](#)
- [22] L. Iglesias Martínez, “El Estiércol y las prácticas agrarias respetuosas con el medio ambiente”, 1era Ed, Madrid, Ribadeneyra S.A: 1994. [En línea]. Disponible en: [hd\\_1994\\_01.pdf \(mapa.gob.es\)](#)
- [23] NORMA E.050: SUELOS Y CIMENTACIONES, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. 2018
- [24] NORMA E.070: ALBAÑILERÍA, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. 2006
- [25] NTP 339.089 1998 SUELOS. Obtención en laboratorio de muestras representativas (cuarteo), INDECOPI, 1998
- [26] NTP 339.127 – MTC E108 -1999 Método de Ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo, MTC E108-1999, 1999.
- [27] NTP 339.128 1999 SUELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico, INDECOPI, 1999.
- [28] NTP 339.129 1999 SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos, INDECOPI, 1999.
- [29] NTP 339.134 1999 SUELOS. Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS), INDECOPI, 1999.
- [30] NTP 399.613 2017 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería, INDECOPI, 2017.
- [31] G. A. Jokhio, F. M. Saad, Y. Gul, S. M. Syed Mohsin, and N. I. Ramli, “Uniaxial compression and tensile splitting tests on adobe with embedded steel wire reinforcement,” *Constr Build Mater*, vol. 176, 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.05.006.
- [32] Lady Sofia and R. Cuervo, “Adobe bricks with sugarcane molasses and gypsum to enhance compressive strength in the city Cogua, Colombia,” *Revista de la Construcción*, vol. 19, no. 3, 2020, doi: 10.7764/RDLC.19.3.358.

[33] P. M. Toure, V. Sambou, M. Faye, and A. Thiam, “Mechanical and thermal characterization of stabilized earth bricks,” in *Energy Procedia*, 2017. doi: 10.1016/j.egypro.2017.11.271.

[34] A. Azil et al., “Earth construction: Field variabilities and laboratory reproducibility,” *Constr Build Mater*, vol. 314, 2022, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.125591.

[35] M. Mostafa and N. Uddin, “Effect of banana fibers on the compressive and flexural strength of compressed earth blocks,” *Buildings*, vol. 5, no. 1, 2015, doi: 10.3390/buildings5010282.

[36] D. Silveira, H. Varum, A. Costa, T. Martins, H. Pereira, and J. Almeida, “Mechanical properties of adobe bricks in ancient constructions,” *Constr Build Mater*, vol. 28, no. 1, 2012, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2011.08.046.

[37] J. Nakamatsu, S. Kim, J. Ayarza, E. Ramírez, M. Elgegren, and R. Aguilar, “Eco-friendly modification of earthen construction with carrageenan: Water durability and mechanical assessment,” *Constr Build Mater*, vol. 139, 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.02.062.

[38] M. Dormohamadi and R. Rahimnia, “Combined effect of compaction and clay content on the mechanical properties of adobe brick,” *Case Studies in Construction Materials*, vol. 13, 2020, doi: 10.1016/j.cscm.2020.e00402.

[39] J. Pineda-Piñón, J. T. Vega-Durán, A. Manzano-Ramírez, J. F. Pérez-Robles, H. Balmori-Ramírez, and M. A. Hernández-Landaverde, “Enhancement of mechanical and hydrophobic properties of Adobes for Building Industry by the addition of polymeric agents,” *Handbook of Environmental Chemistry, Volume 5: Water Pollution*, vol. 42, no. 2, pp. 877–883, Feb. 2007, doi: 10.1016/j.buildenv.2005.10.009.

[40] G. Silva et al., “Eco-friendly additive construction: Analysis of the printability of earthen-based matrices stabilized with potato starch gel and sisal fibers,” *Constr Build Mater*, vol. 347, 2022, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2022.128556.

[41] P. Narloch, P. Woyciechowski, J. Kotowski, I. Gawriuczenkow, and E. Wójcik, “The effect of soil mineral composition on the compressive strength of cement stabilized rammed earth,” *Materials*, vol. 13, no. 2, 2020, doi: 10.3390/ma13020324.

[42] H. Lin et al., “Stabilization of an earthen material with Tung oil: compaction, strength and hydrophobic enhancement,” *Constr Build Mater*, vol. 290, 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.123213.

## Anexos

### Anexo 1: Ficha Técnica del Estearato de Calcio



#### ESTEARATO DE CALCIO POLVO

##### DESCRIPCIÓN

ESTEARATO DE CALCIO EN POLVO es un producto químico de alta pureza que se utiliza en varios procesos industriales. Es un producto muy estable en alta temperatura, insoluble en agua, no genera polvo durante su manipulación y procesamiento final, facilidad de pesaje, transporte y almacenamiento.

##### USO

Producto de uso exclusivo para procesos industriales bajo supervisión profesional. El Estearato de Calcio tiene diferentes aplicaciones en la industria del plástico, caucho, PVC, cosmética y otras. Sus principales usos son: Industria del plástico: agente de ayuda de proceso, agente de despegue y antiestático, agente de ayuda en la dispersión de los pigmentos en los masterbatch. Industria de PVC: agente lubricante, estabilizador y promotor de fusión, agente desmoldante. Agente reductor de presión en la extrusora durante el moldeado por inyección. Industria del caucho: agente desmoldante. Industria cosmética: agente impermeabilizante. Industria del concreto: agente impermeabilizante, aditivo reductor de eflorescencia secundaria.

**Línea** Línea Industrial/Profesional

##### CARACTERÍSTICAS

###### PROPIEDADES ESPECIALES

Estado físico

Sólido

*Anexo 2: Ficha Técnica del Estearato de Calcio*

PROPIEDADES FÍSICAS	DATOS
Porcentaje de ácido graso libre	< 1,0 %
Punto de fusión	145 - 155 °C
Porcentaje de Humedad	< 1,5 %
Porcentaje de ceniza	10 - 1

Anexo 3: Análisis fisicoquímico del agua



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**  
**UNIDAD DE SERVICIOS TÉCNICOS**



**REPORTE DE ANÁLISIS N° 063 – 2022 – FIQIA**

**1. DATOS DE CLIENTE:**

a) **Nombre:** Ernesto Alonso Campos Manayay  
**Tesis:** "Estudio de la resistencia a la compresión y permeabilidad en unidades de albañilería de tierra reforzada con estiércol de Equus Asinus y Estearato de Calcio"

---

**2. DATOS DE LA MUESTRA**

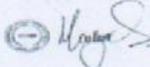
- Número de muestras : 01
- Fecha de monitoreo : 14-10-2022
- Matriz : Aguas Residuales

**3. RESULTADOS DE ANÁLISIS**

DETERMINACIÓN	RESULTADO (%)
pH	7.79
Conductividad (us/cm <sup>2</sup> )	528
Salinidad (%)	1.0
Cloruros (mg/L)	14.4
Sulfatos (mg/L)	345.6
TDS (mg/L)	264.02
Turbidez (NTU)	10.1

**4. CONCLUSIONES**

Los análisis fueron realizados siguiendo las normas vigentes cumpliendo con los porcentajes de RSD establecidos por el laboratorio.

Firma		Firma	
Analista	Marilyn Catherine Quinteros Vilchez	V°B°	Dr. César Augusto Monteza Arbulú
Fecha del Análisis	de octubre del 2022		



USAT  
UNIDAD DE SERVICIOS TÉCNICOS

TECNICO DE LABORATORIO

Ciudad Universitaria - Telefax: (074) 283633

Lambayeque - Perú

## Anexo 1: Prueba "Cinta de barro"



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



(Pág. 01 de 01)

Tesista : CAMPOS MANAYAY ERNESTO ALONSO  
 Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
 Tesis : Estudio de la resistencia a la compresión y permeabilidad en unidades de albañilería de tierra reforzada con estiércol de Equus asinus y estearato de calcio  
 Ubicación : Ferreñafe, Lambayeque  
 Fecha : Chiclayo, 30 de octubre del 2022

ENSAYO : Prueba "Cinta de barro"  
 REFERENCIA : Pruebas In situ - NORMA E.080

Cantera : Guanabal - Mesones Muro - Ferreñafe - Lambayeque

Muestra N°	Descripción de la unidad	ROTURA (mm) (r)	CLASIFICACIÓN
01	M-1	227.00	Suelo muy arcilloso
02	M-2	243.00	Suelo muy arcilloso
03	M-3	222.00	Suelo muy arcilloso

## OBSERVACIONES :

- Muestreo del suelo de la canera realizado por el solicitante.
- Los resultados obtenidos de cada medida corresponden al muestras de un mismo lugar.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.



Anexo 2: Prueba "Presencia de arcilla" o "Resistencia seca"



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



(Pág. 01 de 01)

Tesista : CAMPOS MANAYAY ERNESTO ALONSO  
 Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
 Tesis : Estudio de la resistencia a la compresión y permeabilidad en unidades de albañilería de tierra reforzada con estiércol de Equus asinus y estearato de calcio  
 Ubicación : Ferreñafe, Lambayeque  
 Fecha : Chiclayo, 30 de octubre del 2022

ENSAYO : Prueba "Presencia de arcilla" o "Resistencia seca"  
 REFERENCIA : Pruebas In situ - NORMA E.080

Cantera : Guanabal - Mesones Muro - Ferreñafe - Lambayeque

Muestra N°	Descripción de la bolita	ROTURA	CLASIFICACIÓN
01	B-1	NO	Tiene arcilla
02	B-2	NO	Tiene arcilla
03	B-3	NO	Tiene arcilla
04	B-4	NO	Tiene arcilla

OBSERVACIONES :

- Muestreo del suelo de la canera realizado por el solicitante.
- Los resultados obtenidos corresponden a muestras de un mismo lugar secadas por 48 horas.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.



Anexo 3: Análisis granulométrico y caracterización del suelo



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

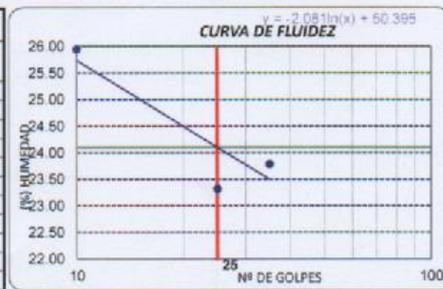


Tesista : CAMPOS MANAYAY ERNESTO ALONSO  
 Escuela : Ingeniería Civil Ambiental  
 Tesis : "Estudio de la resistencia a la compresión y permeabilidad en unidades de albañilería de tierra reforzada con estércool de Equus  
 Lugar : Cantero Guanabal - Mesones Muro - Ferreñafe - Lambayeque  
 Fecha de emisión : Chidayo, 31 de Octubre del 2022

ENSAYO : Análisis Granulométrico Suelos Global  
 : SUELOS. Métodos de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. 1a. ed.  
 : SUELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico  
 NORMA DE REFERENCIA : SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo  
 : SUELOS. Método para la clasificación de suelk  
 : SUELOS. Método para la clasificación de suelos para uso en vías de transporte

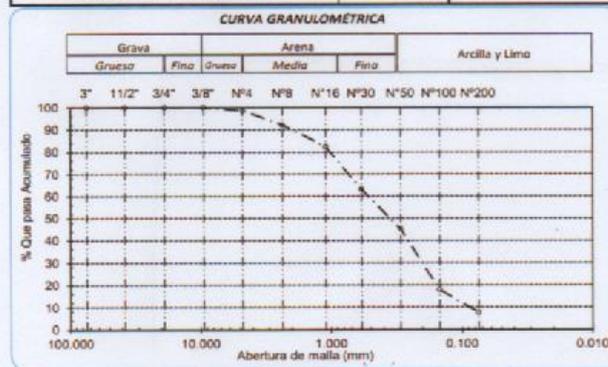
Calicata: A Muestra: M-1 Profundidad: 0.65m. - 0.70m.

N° Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulados Retenido	Que pasa
3"	75.000	0.0	100.0
1 1/2"	38.100	0.0	100.0
3/4"	19.000	0.0	100.0
3/8"	9.500	0.0	100.0
N°4	4.760	1.4	98.6
N°6	2.360	7.9	92.1
N°16	1.100	17.6	82.4
N°30	0.590	36.9	63.1
N°50	0.297	54.8	45.2
N°100	0.149	82.1	17.9
N°200	0.075	92.4	7.6
Fondo	-	100.0	0.0



% Grava	G.G. %	0.0	
	G.F %	1.4	1.4
	A.G %	6.5	
% Arena	A.M %	37.2	
	A.F %	37.5	61.3
% Arcilla y Limo		7.6	7.6
<b>Total</b>			<b>90.3</b>

Límite líquido (LL)	24 (%)
Límite Plástico (LP)	14 (%)
Índice Plástico (IP)	10 (%)
Clasificación (S.U.C.S.)	SP-SC
Descripción del suelo	Arena pobremente graduada con arcilla
Clasificación (AASHTO)	A-2-4(0)
Descripción	BUENO



*Anexo 7: Medición dimensional de las unidades de tierra reforzada para el ensayo de la resistencia del material tierra a la compresión*



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



(Pág. 01 de 03)

Tesista : CAMPOS MANAYAY ERNESTO ALONSO  
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
Tesis : Estudio de la resistencia a la compresión y permeabilidad en unidades de albañilería de tierra reforzada con estiércol de Equus asinus y estearato de calcio  
Ubicación : Ferreñafe, Lambayeque  
Fecha : Chiclayo, 30 de octubre del 2022

ENSAYO : UNIDADES DE ALBAÑILERÍA, Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería  
REFERENCIA : NORMA N.T.P. 399.613 : 2005

Fabrica **ARTESANAL**

Muestra N°	Descripción de la unidad	LARGO (mm) (e)	ANCHO (mm) (l)	ALTO (mm) (h)
01	Muestra control: 0% de estiércol de Equus asinus	96.00	98.00	95.00
02		97.00	98.00	97.00
03		98.00	98.00	95.00
04		95.00	94.00	97.00
05		96.00	95.00	98.00
06		95.00	98.00	95.00
PROMEDIO		96.17	96.83	96.17
VARIACIÓN (%)		-3.83%	-3.17%	-3.83%
C.V.		1.11%	1.73%	1.26%

Muestra N°	Descripción de la unidad	LARGO (mm) (e)	ANCHO (mm) (l)	ALTO (mm) (h)
01	Muestra experimental: 3% de estiércol de Equus asinus	96.00	97.00	94.00
02		94.00	96.00	96.00
03		97.00	96.00	95.00
04		98.00	95.00	98.00
05		93.00	96.00	95.00
06		96.00	93.00	94.00
PROMEDIO		95.67	95.83	95.33
VARIACIÓN (%)		1.78%	1.64%	1.44%
C.V.		1.78%	1.64%	1.44%

**OBSERVACIONES :**

- Muestreo de unidades de albañilería de tierra reforzada realizado por el solicitante.
- Los resultados obtenidos de cada medida corresponden al promedio de 06 unidades por muestra.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.



*Anexo 8: Medición dimensional de las unidades de tierra reforzada para el ensayo de la resistencia del material tierra a la compresión*



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



(Pág. 02 de 03)

Tesista : CAMPOS MANAYAY ERNESTO ALONSO  
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
Tesis : Estudio de la resistencia a la compresión y permeabilidad en unidades de albañilería de tierra reforzada con estiércol de Equus asinus y estearato de calcio  
Ubicación : Ferreñafe, Lambayeque  
Fecha : Chiclayo, 30 de octubre del 2022

ENSAYO : UNIDADES DE ALBAÑILERÍA, Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería  
REFERENCIA : NORMA N.T.P. 399.613 : 2005

Fabrica ARTESANAL

Muestra N°	Descripción de la unidad	LARGO (mm) (e)	ANCHO (mm) (l)	ALTO (mm) (h)
01	Muestra experimental: 6% de estiércol de Equus asinus	95.00	95.00	97.00
02		95.00	97.00	95.00
03		94.00	94.00	94.00
04		95.00	96.00	97.00
05		97.00	96.00	95.00
06		95.00	96.00	94.00
PROMEDIO		95.17	95.67	95.33
VARIACIÓN (%)		-4.83%	-4.33%	-4.67%
C.V.		0.94%	0.99%	1.31%

Muestra N°	Descripción de la unidad	LARGO (mm) (e)	ANCHO (mm) (l)	ALTO (mm) (h)
01	Muestra experimental: 9% de estiércol de Equus asinus	96.00	95.00	96.00
02		96.00	96.00	93.00
03		93.00	95.00	94.00
04		91.00	91.00	93.00
05		96.00	92.00	94.00
06		93.00	91.00	91.00
PROMEDIO		94.17	93.33	93.50
VARIACIÓN (%)		-5.83%	-6.67%	-6.50%
C.V.		2.07%	2.20%	1.60%

OBSERVACIONES :

- Muestreo de unidades de albañilería de tierra reforzada realizado por el solicitante.
- Los resultados obtenidos de cada medida corresponden al promedio de 06 unidades por muestra.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.



*Anexo 9: Medición dimensional de las unidades de tierra reforzada para el ensayo de la resistencia del material tierra a la compresión*



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



(Pág. 03 de 03)

Tesista : CAMPOS MANAYAY ERNESTO ALONSO  
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
Tesis : Estudio de la resistencia a la compresión y permeabilidad en unidades de albañilería de tierra reforzada con estiércol de Equus asinus y estearato de calcio  
Ubicación : Ferreñafe, Lambayeque  
Fecha : Chiclayo, 30 de octubre del 2022

ENSAYO : UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería  
NORMA : NORMA N.T.P. 399.613 : 2005

Fabrica **ARTESANAL**

Muestra N°	Descripción de la unidad	LARGO (mm) (e)	ANCHO (mm) (l)	ALTO (mm) (h)
01	Muestra experimental: 12% de estiércol de Equus asinus	92.00	96.00	96.00
02		91.00	94.00	95.00
03		94.00	94.00	96.00
04		93.00	91.00	93.00
05		92.00	93.00	91.00
06		92.00	92.00	94.00
PROMEDIO		92.33	93.33	94.17
VARIACIÓN (%)		-7.67%	-6.67%	-5.83%
C.V.		1.02%	1.71%	1.88%

Muestra N°	Descripción de la unidad	LARGO (mm) (e)	ANCHO (mm) (l)	ALTO (mm) (h)
01	Muestra experimental: 15% de estiércol de Equus asinus	94.00	92.00	95.00
02		94.00	95.00	94.00
03		97.00	90.00	92.00
04		92.00	91.00	90.00
05		94.00	95.00	93.00
06		92.00	92.00	90.00
PROMEDIO		93.83	92.50	92.33
VARIACIÓN (%)		-6.17%	-7.50%	-7.67%
C.V.		1.79%	2.05%	2.04%

**OBSERVACIONES :**

- Muestreo de unidades de albañilería de tierra reforzada realizado por el solicitante.
- Los resultados obtenidos de cada medida corresponden al promedio de 06 unidades por muestra.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.



*Anexo 10: Ensayo de resistencia del material tierra a la compresión*



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



(Pág. 01 de 06)

Tesista : CAMPOS MANAYAY ERNESTO ALONSO  
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
Tesis : Estudio de la resistencia a la compresión y permeabilidad en unidades de albañilería de tierra reforzada con estiércol de Equus asinus y estearato de calcio  
Ubicación : Ferreñafe, Lambayeque  
Fecha : Chiclayo, 30 de octubre del 2022

ENSAYO : DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON TIERRA REFORZADA. Resistencia del material tierra a la compresión  
REFERENCIA : NORMA E.060

Muestra N°	Denominación de la unidad	Área bruta (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	F <sub>b</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
01	Unidad de tierra reforzada + 0% de estiércol de Equus asinus	94	1730	18.3886
02	Unidad de tierra reforzada + 0% de estiércol de Equus asinus	95	1700	17.8834
03	Unidad de tierra reforzada + 0% de estiércol de Equus asinus	96	1710	17.8051
04	Unidad de tierra reforzada + 0% de estiércol de Equus asinus	89	1880	21.0526
05	Unidad de tierra reforzada + 0% de estiércol de Equus asinus	91	1720	18.8596
06	Unidad de tierra reforzada + 0% de estiércol de Equus asinus	93	1750	18.7970

Promedio **19.2745**

NOTA:

- Ensayo realizado en unidades de tierra reforzada de 0.10m de arista
- Se promedian los 4 mejores resultados.
- F<sub>b</sub>: Resistencia a la compresión en unidad entera.

OBSERVACIONES :

- Muestreo de unidades de tierra reforzada realizado por el solicitante.
- Muestras ensayadas el día 02/11/2022
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio



*Anexo 11: Ensayo de resistencia del material tierra a la compresión*



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



(Pág. 02 de 06)

Tesista : CAMPOS MANAYAY ERNESTO ALONSO  
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
Tesis : Estudio de la resistencia a la compresión y permeabilidad en unidades de albañilería de tierra reforzada con estiércol de Equus asinus y estearato de calcio  
Ubicación : Ferreñafe, Lambayeque  
Fecha : Chiclayo, 30 de octubre del 2022

ENSAYO : DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON TIERRA REFORZADA. Resistencia del material tierra a la compresión  
REFERENCIA : NORMA E.080

Muestra N°	Denominación de la unidad	Área bruta (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	F <sub>b</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
01	Unidad de tierra reforzada + 3% de estiércol de Equus asinus	93	1960	21.0481
02	Unidad de tierra reforzada + 3% de estiércol de Equus asinus	90	1890	20.9441
03	Unidad de tierra reforzada + 3% de estiércol de Equus asinus	93	1980	21.2629
04	Unidad de tierra reforzada + 3% de estiércol de Equus asinus	93	2060	22.1267
05	Unidad de tierra reforzada + 3% de estiércol de Equus asinus	91	1940	21.2859
06	Unidad de tierra reforzada + 3% de estiércol de Equus asinus	89	1890	21.1694

Promedio	21.4612
----------	---------

NOTA:

- Ensayo realizado en unidades de tierra reforzada de 0,10m de arista
- Se promedian los 4 mejores resultados.
- F<sub>b</sub>: Resistencia a la compresión en unidad entera.

OBSERVACIONES :

- Muestreo de unidades de tierra reforzada realizado por el solicitante.
- Muestras ensayadas el día 02/11/2022
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio



*Anexo 12: Ensayo de resistencia del material tierra a la compresión*



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



(Pág. 03 de 06)

Tesista : CAMPOS MANAYAY ERNESTO ALONSO  
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
Tesis : Estudio de la resistencia a la compresión y permeabilidad en unidades de albañilería de tierra reforzada con estiércol de Equus asinus y estearato de calcio  
Ubicación : Ferreñafe, Lambayeque  
Fecha : Chiclayo, 30 de octubre del 2022

ENSAYO : DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON TIERRA REFORZADA. Resistencia del material tierra a la compresión  
REFERENCIA : NORMA E.080

Muestra N°	Denominación de la unidad	Área bruta (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	F <sub>b</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
01	Unidad de tierra reforzada + 6% de estiércol de Equus asinus	90	1980	21.9391
02	Unidad de tierra reforzada + 6% de estiércol de Equus asinus	92	2230	24.1997
03	Unidad de tierra reforzada + 6% de estiércol de Equus asinus	88	2190	24.7850
04	Unidad de tierra reforzada + 6% de estiércol de Equus asinus	91	2030	22.2588
05	Unidad de tierra reforzada + 6% de estiércol de Equus asinus	93	2280	24.4845
06	Unidad de tierra reforzada + 6% de estiércol de Equus asinus	91	1929	21.1513

Promedio 23.9320

NOTA:

- Ensayo realizado en unidades de tierra reforzada de 0.10m de arista
- Se promedian los 4 mejores resultados.
- F<sub>b</sub>: Resistencia a la compresión en unidad entera.

OBSERVACIONES :

- Muestreo de unidades de tierra reforzada realizado por el solicitante.
- Muestras ensayadas el día 02/11/2022
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio



*Anexo 13: Ensayo de resistencia del material tierra a la compresión*



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MÓGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



(Pág. 04 de 06)

Tesista : CAMPOS MANAYAY ERNESTO ALONSO  
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
Tesis : Estudio de la resistencia a la compresión y permeabilidad en unidades de albañilería de tierra reforzada con estiércol de Equus asinus y estearato de calcio  
Ubicación : Ferreñafe, Lambayeque  
Fecha : Chidayo, 30 de octubre del 2022

ENSAYO : DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON TIERRA REFORZADA. Resistencia del material tierra a la compresión  
REFERENCIA : NORMA E.080

Muestra N°	Denominación de la unidad	Área bruta (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	F <sub>b</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
01	Unidad de tierra reforzada + 9% de estiércol de Equus asinus	91	1820	19.9561
02	Unidad de tierra reforzada + 9% de estiércol de Equus asinus	92	1970	21.3759
03	Unidad de tierra reforzada + 9% de estiércol de Equus asinus	88	1880	21.2790
04	Unidad de tierra reforzada + 9% de estiércol de Equus asinus	83	1706	20.6014
05	Unidad de tierra reforzada + 9% de estiércol de Equus asinus	88	1820	20.6069
06	Unidad de tierra reforzada + 9% de estiércol de Equus asinus	85	1750	20.6782

Promedio 20.9850

NOTA:

- Ensayo realizado en unidades de tierra reforzada de 0.10m de arista
- Se promedian los 4 mejores resultados.
- F<sub>b</sub>. Resistencia a la compresión en unidad entera.

OBSERVACIONES :

- Muestreo de unidades de tierra reforzada realizado por el solicitante.
- Muestras ensayadas el día 02/11/2022
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio



*Anexo 14: Ensayo de resistencia del material tierra a la compresión*



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



(Pág. 05 de 06)

Tesista : CAMPOS MANAYAY ERNESTO ALONSO  
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
Tesis : Estudio de la resistencia a la compresión y permeabilidad en unidades de albañilería de tierra reforzada con estiércol de Equus asinus y estearato de calcio  
Ubicación : Ferreñafe, Lambayeque  
Fecha : Chiclayo, 30 de octubre del 2022

ENSAYO : DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON TIERRA REFORZADA. Resistencia del material tierra a la compresión  
REFERENCIA : NORMA E.080

Muestra Nº	Denominación de la unidad	Área bruta (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	F <sub>b</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
01	Unidad de tierra reforzada + 12% de estiércol de Equus asinus	88	1620	18.3424
02	Unidad de tierra reforzada + 12% de estiércol de Equus asinus	86	1630	19.0554
03	Unidad de tierra reforzada + 12% de estiércol de Equus asinus	88	1510	17.0892
04	Unidad de tierra reforzada + 12% de estiércol de Equus asinus	85	1630	19.2603
05	Unidad de tierra reforzada + 12% de estiércol de Equus asinus	86	1400	16.3628
06	Unidad de tierra reforzada + 12% de estiércol de Equus asinus	85	1460	17.2495

Promedio 18.4769

NOTA:

- Ensayo realizado en unidades de tierra reforzada de 0.10m de arista
- Se promedian los 4 mejores resultados
- F<sub>b</sub>: Resistencia a la compresión en unidad entera.

OBSERVACIONES:

- Muestreo de unidades de tierra reforzada realizado por el solicitante.
- Muestras ensayadas el día 02/11/2022
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio



*Anexo 15: Ensayo de resistencia del material tierra a la compresión*



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MÓGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



(Pág. 06 de 06)

Tesista : CAMPOS MANAYAY ERNESTO ALONSO  
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
Tesis : Estudio de la resistencia a la compresión y permeabilidad en unidades de albañilería de tierra reforzada con estiércol de Equus asinus y estearato de calcio  
Ubicación : Ferreñafe, Lambayeque  
Fecha : Chiclayo, 30 de octubre del 2022

ENSAYO : DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON TIERRA REFORZADA. Resistencia del material tierra a la compresión  
REFERENCIA : NORMA E.080

Muestra N°	Denominación de la unidad	Área bruta (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	F <sub>b</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
01	Unidad de tierra reforzada + 15% de estiércol de Equus asinus	86	1340	15.4949
02	Unidad de tierra reforzada + 15% de estiércol de Equus asinus	89	1310	14.6697
03	Unidad de tierra reforzada + 15% de estiércol de Equus asinus	87	1380	15.8076
04	Unidad de tierra reforzada + 15% de estiércol de Equus asinus	84	1130	13.4974
05	Unidad de tierra reforzada + 15% de estiércol de Equus asinus	89	1150	12.8779
06	Unidad de tierra reforzada + 15% de estiércol de Equus asinus	85	1320	15.5955

Promedio **15.3919**

NOTA:

- Ensayo realizado en unidades de tierra reforzada de 0.10m de arista
- Se promedian los 4 mejores resultados.
- F<sub>b</sub>: Resistencia a la compresión en unidad entera.

OBSERVACIONES :

- Muestreo de unidades de tierra reforzada realizado por el solicitante.
- Muestras ensayadas el día 02/11/2022
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio



*Anexo 16: Medición dimensional de las unidades de tierra reforzada para el ensayo de la resistencia del material tierra a la tracción*



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



(Pág. 01 de 03)

Tesista : CAMPOS MANAYAY ERNESTO ALONSO  
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
Tesis : Estudio de la resistencia a la compresión y permeabilidad en unidades de albañilería de tierra reforzada con estiércol de Equus asinus y estearato de calcio  
Ubicación : Ferreñafe, Lambayeque  
Fecha : Chiclayo, 30 de octubre del 2022

ENSAYO : UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería  
REFERENCIA : NORMA N.T.P. 399.813 : 2005

Fabrica ARTESANAL

Muestra N°	Descripción de la unidad	DIÁMETRO (mm) (d)	ALTO (mm) (h)
01	Muestra control: 0% de estiércol de Equus asinus	149.00	283.00
02		145.00	300.00
03		148.00	294.00
04		149.00	299.00
05		149.00	291.00
06		150.00	270.00
PROMEDIO		148.33	289.50
VARIACIÓN (%)		-3.17%	-3.83%
C.V.		1.08%	3.58%

Muestra N°	Descripción de la unidad	DIÁMETRO (mm) (d)	ALTO (mm) (h)
01	Muestra experimental: 3% de estiércol de Equus asinus	150.00	298.00
02		149.00	271.00
03		146.00	280.00
04		149.00	277.00
05		150.00	299.00
06		146.00	288.00
PROMEDIO		148.33	285.50
VARIACIÓN (%)		-2.67%	-6.33%
C.V.		1.15%	3.67%

OBSERVACIONES :

- Muestreo de unidades de albañilería de tierra reforzada realizado por el solicitante.
- Los resultados obtenidos de cada medida corresponden al promedio de 06 unidades por muestra.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.



*Anexo 17: Medición dimensional de las unidades de tierra reforzada para el ensayo de la resistencia del material tierra a la tracción*



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



(Pág. 02 de 03)

Tesista : CAMPOS MANAYAY ERNESTO ALONSO  
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
Tesis : Estudio de la resistencia a la compresión y permeabilidad en unidades de albañilería de tierra reforzada con estiércol de Equus asinus y estearato de calcio

Ubicación : Ferreñafe, Lambayeque

Fecha : Chiclayo, 30 de octubre del 2022

ENSAYO : UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería  
NORMA : NORMA N.T.P. 399.613 : 2005

Fabrica **ARTESANAL**

Muestra N°	Descripción de la unidad	DIÁMETRO (mm) (d)	ALTO (mm) (h)
01	Muestra experimental: 6% de estiércol de Equus asinus	146.00	282.00
02		149.00	278.00
03		149.00	300.00
04		150.00	281.00
05		148.00	277.00
06		147.00	299.00
PROMEDIO		148.17	286.17
VARIACIÓN (%)		-2.78%	-6.11%
C.V.		0.91%	3.35%

Muestra N°	Descripción de la unidad	DIÁMETRO (mm) (d)	ALTO (mm) (h)
01	Muestra experimental: 9% de estiércol de Equus asinus	147.00	288.00
02		148.00	283.00
03		147.00	287.00
04		150.00	288.00
05		148.00	292.00
06		147.00	283.00
PROMEDIO		147.83	286.83
VARIACIÓN (%)		-3.00%	-5.89%
C.V.		0.72%	1.09%

**OBSERVACIONES :**

- Muestreo de unidades de albañilería de tierra reforzada realizado por el solicitante.
- Los resultados obtenidos de cada medida corresponden al promedio de 06 unidades por muestra.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.



*Anexo 18: Medición dimensional de las unidades de tierra reforzada para el ensayo de la resistencia del material tierra a la tracción*



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



(Pág. 03 de 03)

Tesista : CAMPOS MANAYAY ERNESTO ALONSO  
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
Tesis : Estudio de la resistencia a la compresión y permeabilidad en unidades de albañilería de tierra reforzada con estiércol de Equus asinus y estearato de calcio  
Ubicación : Ferreñafe, Lambayeque  
Fecha : Chiclayo, 30 de octubre del 2022

ENSAYO : UNIDADES DE ALBAÑILERÍA, Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería  
REFERENCIA : NORMA N.T.P. 399.813 : 2005

Fabrica **ARTESANAL**

Muestra N°	Descripción de la unidad	DIÁMETRO (mm) (d)	ALTO (mm) (h)
01	Muestra experimental: 12% de estiércol de Equus asinus	145.00	297.00
02		145.00	286.00
03		146.00	280.00
04		146.00	281.00
05		148.00	284.00
06		145.00	287.00
PROMEDIO		145.83	285.83
VARIACIÓN (%)		-4.31%	-6.22%
C.V.		0.73%	1.95%

Muestra N°	Descripción de la unidad	DIÁMETRO (mm) (d)	ALTO (mm) (h)
01	Muestra experimental: 15% de estiércol de Equus asinus	147.00	281.00
02		150.00	278.00
03		150.00	274.00
04		146.00	270.00
05		148.00	284.00
06		147.00	289.00
PROMEDIO		148.00	279.33
VARIACIÓN (%)		-2.89%	-8.36%
C.V.		1.03%	2.24%

OBSERVACIONES :

- Muestreo de unidades de albañilería de tierra reforzada realizado por el solicitante.
- Los resultados obtenidos de cada medida corresponden al promedio de 06 unidades por muestra.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.



*Anexo 19: Ensayo de resistencia del material tierra a la tracción*



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



(Pág. 01 de 06)

Tesista : CAMPOS MANAYAY ERNESTO ALONSO  
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
Tesis : Estudio de la resistencia a la compresión y permeabilidad en unidades de albañilería de tierra reforzada con estiércol de Equus asinus y estearato de calcio  
Ubicación : Ferreñafe, Lambayeque  
Fecha : Chiclayo, 30 de octubre del 2022

ENSAYO : DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON TIERRA REFORZADA. Resistencia del material tierra a la tracción  
REFERENCIA : NORMA E.080

Muestra Nº	Denominación de la unidad	Área bruta (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	F <sub>b</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
01	Unidad de tierra reforzada + 0% de estiércol de Equus asinus	662	1160	1.7513
02	Unidad de tierra reforzada + 0% de estiércol de Equus asinus	683	1190	1.7416
03	Unidad de tierra reforzada + 0% de estiércol de Equus asinus	683	1070	1.5655
04	Unidad de tierra reforzada + 0% de estiércol de Equus asinus	700	1050	1.5004
05	Unidad de tierra reforzada + 0% de estiércol de Equus asinus	681	1070	1.5710
06	Unidad de tierra reforzada + 0% de estiércol de Equus asinus	636	970	1.5247

Promedio **1.6574**

NOTA:

- Ensayo realizado en unidades de tierra reforzada de 6"X12"
- Se promedian los 4 mejores resultados.
- F<sub>b</sub>: Resistencia a la compresión en unidad entera.

OBSERVACIONES :

- Muestreo de unidades de tierra reforzada realizado por el solicitante.
- Muestras ensayadas el día 02/11/2022
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del Laboratorio



*Anexo 20: Ensayo de resistencia del material tierra a la tracción*



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



(Pág. 02 de 06)

Tesista : CAMPOS MANAYAY ERNESTO ALONSO  
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
Tesis : Estudio de la resistencia a la compresión y permeabilidad en unidades de albañilería de tierra reforzada con estiércol de Equus asinus y estearato de calcio  
Ubicación : Ferreñafe, Lambayeque  
Fecha : Chiclayo, 30 de octubre del 2022

ENSAYO : DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON TIERRA REFORZADA. Resistencia del material tierra a la tracción  
REFERENCIA : NORMA E.080

Muestra Nº	Denominación de la unidad	Área bruta (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	F <sub>b</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
01	Unidad de tierra reforzada + 3% de estiércol de Equus asinus	702	1470	2.0936
02	Unidad de tierra reforzada + 3% de estiércol de Equus asinus	634	1660	2.6172
03	Unidad de tierra reforzada + 3% de estiércol de Equus asinus	642	1400	2.1802
04	Unidad de tierra reforzada + 3% de estiércol de Equus asinus	648	1440	2.2211
05	Unidad de tierra reforzada + 3% de estiércol de Equus asinus	705	1560	2.2143
06	Unidad de tierra reforzada + 3% de estiércol de Equus asinus	660	1410	2.1348

Promedio	2.3082
----------	--------

NOTA:

- Ensayo realizado en unidades de tierra reforzada de 6"X12"
- Se promedian los 4 mejores resultados.
- F<sub>b</sub>: Resistencia a la compresión en unidad entera.

OBSERVACIONES :

- Muestreo de unidades de tierra reforzada realizado por el solicitante.
- Muestras ensayadas el día 02/11/2022
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita de este laboratorio



*Anexo 21: Ensayo de resistencia del material tierra a la tracción*



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



(Pág. 03 de 06)

Tesista : CAMPOS MANAYAY ERNESTO ALONSO  
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
Tesis : Estudio de la resistencia a la compresión y permeabilidad en unidades de albañilería de tierra reforzada con estiércol de Equus asinus y estearato de calcio  
Ubicación : Ferreñafe, Lambayeque  
Fecha : Chiclayo, 30 de octubre del 2022

ENSAYO : DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON TIERRA REFORZADA. Resistencia del material tierra a la tracción  
REFERENCIA : NORMA E.080

Muestra N°	Denominación de la unidad	Área bruta (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	F <sub>b</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
01	Unidad de tierra reforzada + 6% de estiércol de Equus asinus	647	1690	2.6132
02	Unidad de tierra reforzada + 6% de estiércol de Equus asinus	651	1520	2.3361
03	Unidad de tierra reforzada + 6% de estiércol de Equus asinus	702	1720	2.4496
04	Unidad de tierra reforzada + 6% de estiércol de Equus asinus	662	1530	2.3109
05	Unidad de tierra reforzada + 6% de estiércol de Equus asinus	644	1620	2.5157
06	Unidad de tierra reforzada + 6% de estiércol de Equus asinus	690	1510	2.1871

Promedio 2.4786

NOTA:

- Ensayo realizado en unidades de tierra reforzada de 6"X12"
- Se promedian los 4 mejores resultados
- F<sub>b</sub>: Resistencia a la compresión en unidad entera.

OBSERVACIONES :

- Muestreo de unidades de tierra reforzada realizado por el solicitante.
- Muestras ensayadas el día 02/11/2022
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio



*Anexo 22: Ensayo de resistencia del material tierra a la tracción*



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



(Pág. 04 de 06)

Tesista : CAMPOS MANAYAY ERNESTO ALONSO  
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
Tesis : Estudio de la resistencia a la compresión y permeabilidad en unidades de albañilería de tierra reforzada con estiércol de Equus asinus y estearato de calcio  
Ubicación : Ferreñafe, Lambayeque  
Fecha : Chiclayo, 30 de octubre del 2022

ENSAYO : DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON TIERRA REFORZADA. Resistencia del material tierra a la tracción  
REFERENCIA : NORMA E.080

Muestra N°	Denominación de la unidad	Área bruta (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	F <sub>b</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
01	Unidad de tierra reforzada + 9% de estiércol de Equus asinus	665	1380	2.0751
02	Unidad de tierra reforzada + 9% de estiércol de Equus asinus	658	1480	2.2495
03	Unidad de tierra reforzada + 9% de estiércol de Equus asinus	663	1400	2.1126
04	Unidad de tierra reforzada + 9% de estiércol de Equus asinus	679	1360	2.0042
05	Unidad de tierra reforzada + 9% de estiércol de Equus asinus	679	1430	2.1065
06	Unidad de tierra reforzada + 9% de estiércol de Equus asinus	653	1310	2.0047

Promedio 2.1359

NOTA:

- Ensayo realizado en unidades de tierra reforzada de 6"X12"
- Se promedian los 4 mejores resultados.
- F<sub>b</sub>: Resistencia a la compresión en unidad entera.

OBSERVACIONES :

- Muestreo de unidades de tierra reforzada realizado por el solicitante.
- Muestras ensayadas el día 02/11/2022
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio de ensayos de materiales.



*Anexo 23: Ensayo de resistencia del material tierra a la tracción*



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



(Pág. 05 de 06)

Tesista : CAMPOS MANAYAY ERNESTO ALONSO  
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
Tesis : Estudio de la resistencia a la compresión y permeabilidad en unidades de albañilería de tierra reforzada con estiércol de Equus asinus y estearato de calcio  
Ubicación : Ferreñafe, Lambayeque  
Fecha : Chiclayo, 30 de octubre del 2022

ENSAYO : DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON TIERRA REFORZADA. Resistencia del material tierra a la tracción  
REFERENCIA : NORMA E.080

Muestra N°	Denominación de la unidad	Área bruta (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	F <sub>b</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
01	Unidad de tierra reforzada + 12% de estiércol de Equus asinus	676	1260	1.8626
02	Unidad de tierra reforzada + 12% de estiércol de Equus asinus	651	1140	1.7501
03	Unidad de tierra reforzada + 12% de estiércol de Equus asinus	642	1310	2.0400
04	Unidad de tierra reforzada + 12% de estiércol de Equus asinus	644	1210	1.8776
05	Unidad de tierra reforzada + 12% de estiércol de Equus asinus	660	1350	2.0447
06	Unidad de tierra reforzada + 12% de estiércol de Equus asinus	654	1250	1.9122

Promedio	1.9687
----------	--------

NOTA:

- Ensayo realizado en unidades de tierra reforzada de 6"X12"
- Se promedian los 4 mejores resultados.
- F<sub>b</sub>: Resistencia a la compresión en unidad entera.

OBSERVACIONES :

- Muestreo de unidades de tierra reforzada realizado por el solicitante.
- Muestras ensayadas el día 02/11/2022
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del Director del Laboratorio



*Anexo 24: Ensayo de resistencia del material tierra a la tracción*



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



(Pág. 06 de 06)

Tesista : CAMPOS MANAYAY ERNESTO ALONSO  
 Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
 Tesis : Estudio de la resistencia a la compresión y permeabilidad en unidades de albañilería de tierra reforzada con estiércol de Equus asinus y estearato de calcio  
 Ubicación : Ferreñafe, Lambayeque  
 Fecha : Chiclayo, 30 de octubre del 2022

ENSAYO : DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON TIERRA REFORZADA. Resistencia del material tierra a la tracción  
 REFERENCIA : NORMA E.080

Muestra N°	Denominación de la unidad	Área bruta (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	F <sub>b</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
01	Unidad de tierra reforzada + 15% de estiércol de Equus asinus	649	1150	1.7724
02	Unidad de tierra reforzada + 15% de estiércol de Equus asinus	655	1030	1.5725
03	Unidad de tierra reforzada + 15% de estiércol de Equus asinus	646	1010	1.5644
04	Unidad de tierra reforzada + 15% de estiércol de Equus asinus	619	1130	1.8249
05	Unidad de tierra reforzada + 15% de estiércol de Equus asinus	660	1230	1.8630
06	Unidad de tierra reforzada + 15% de estiércol de Equus asinus	667	1020	1.5285

Promedio	1.7582
----------	--------

NOTA:

- Ensayo realizado en unidades de tierra reforzada de 6"X12"
- Se promedian los 4 mejores resultados.
- F<sub>b</sub>: Resistencia a la compresión en unidad entera.

OBSERVACIONES :

- Muestreo de unidades de tierra reforzada realizado por el solicitante.
- Muestras ensayadas el día 02/11/2022
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio



*Anexo 25: Medición dimensional de las unidades de tierra reforzada para el ensayo adaptado de absorción*



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



(Pág. 01 de 01)

Tesista : CAMPOS MANAYAY ERNESTO ALONSO  
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
Tesis : Estudio de la resistencia a la compresión y permeabilidad en unidades de albañilería de tierra reforzada con estérrol de Equus asinus y estearato de calcio

Ubicación : Ferreñafe, Lambayeque

Fecha : Chiclayo, 30 de octubre del 2022

ENSAYO : UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería  
NORMA : NORMA N.T.P. 399.813 : 2005

Fabrica **ARTESANAL**

Muestra N°	Descripción de la unidad	LARGO (mm) (e)	ANCHO (mm) (l)	ALTO (mm) (h)
01	Muestra control: 0% de Estearato de calcio	157.00	77.00	79.00
02		155.00	75.00	77.00
03		158.00	76.00	77.00
04		157.00	78.00	79.00
05		156.00	77.00	77.00
06		157.00	76.00	80.00
	PROMEDIO	156.67	76.50	78.17
	VARIACIÓN (%)	-3.83%	-3.17%	-3.83%
	C.V.	0.60%	1.25%	1.55%

Muestra N°	Descripción de la unidad	LARGO (mm) (e)	ANCHO (mm) (l)	ALTO (mm) (h)
01	Muestra experimental: 100% de Estearato de calcio	159.00	77.00	75.00
02		156.00	78.00	79.00
03		158.00	75.00	76.00
04		156.00	78.00	80.00
05		158.00	80.00	80.00
06		155.00	77.00	78.00
	PROMEDIO	157.00	77.50	78.00
	VARIACIÓN (%)	1.78%	1.64%	1.44%
	C.V.	0.90%	1.94%	2.45%

**OBSERVACIONES :**

- Muestreo de unidades de albañilería de tierra reforzada realizado por el solicitante.
- Los resultados obtenidos de cada medida corresponden al promedio de 06 unidades por muestra.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.



*Anexo 26: Ensayo de absorción de las unidades de tierra reforzada*



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



(Pág. 01 de 02)

Tesista : CAMPOS MANAYAY ERNESTO ALONSO  
 Escola : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
 Tesis : Estudio de la resistencia a la compresión y permeabilidad en unidades de albañilería de tierra reforzada con estiércol de Equus asinus y estearato de calcio

Ubicación : Ferreñafe, Lambayeque

Fecha : Chiclayo, 30 de octubre del 2022

ENSAYO : UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Porcentaje de Absorción  
 REFERENCIA : NORMA N.T.P. 399.613 : 2005

Muestra N°	Denominación de la unidad	G4 (g)	G3 (g)	A (%)
01	Muestra control: 0% de Estearato de calcio	1260	1340	-6.0
02	Muestra control: 0% de Estearato de calcio	1295	1320	-1.9
03	Muestra control: 0% de Estearato de calcio	1315	1435	-8.4
04	Muestra control: 0% de Estearato de calcio	1250	1340	-6.7
06	Muestra control: 0% de Estearato de calcio	1255	1355	-7.4

Promedio	-7.1
----------	------

**DONDE:**  
 G4 : ES LA MASA DEL ESPECIMEN SATURADO LUEGO DE SUJUN DE INMERSION EN AGUA FRIA, EXPRESADO EN GRAMOS.  
 G3 : ES LA MASA DEL ESPECIMEN SECO, EXPRESADO EN GRAMOS.  
 A : ES LA ABSORCION DE AGUA, EXPRESADA EN PORCENTAJE.

**OBSERVACIONES :**

- Muestreo de unidades de tierra reforzada realizado por el solicitante.
- La disminución de la masa de los especímenes en estado saturado se debe a la pérdida de agua.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.



TECNICO DE LABORATORIO

*Anexo 27: Ensayo de absorción de las unidades de tierra reforzada*



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



(Pág. 02 de 02)

Tesista : CAMPOS MANAYAY ERNESTO ALONSO  
 Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
 Tesis : Estudio de la resistencia a la compresión y permeabilidad en unidades de albañilería de tierra reforzada con estiércol de Equus asinus y estearato de calcio  
 Ubicación : Ferreñafe, Lambayeque  
 Fecha : Chiclayo, 30 de octubre del 2022

ENSAYO : UNIDADES DE ALBAÑILERÍA, Porcentaje de Absorción  
 REFERENCIA : NORMA N.T.P. 399.613 : 2005

Muestra N°	Denominación de la unidad	G4 (g)	G3 (g)	A (%)
01	Muestra experimental: 100% de Estearato de calcio	1520	1420	7.0
02	Muestra experimental: 100% de Estearato de calcio	1385	1350	2.6
03	Muestra experimental: 100% de Estearato de calcio	1410	1395	1.1
04	Muestra experimental: 100% de Estearato de calcio	1350	1335	1.1
05	Muestra experimental: 100% de Estearato de calcio	1420	1380	2.9

Promedio **4.2**

**DONDE:**

G4 : ES LA MASA DEL ESPÉCIMEN SATURADO LUEGO DE 5 MIN DE INMERSIÓN EN AGUA FRÍA, EXPRESADO EN GRAMOS.  
 G3 : ES LA MASA DEL ESPÉCIMEN SECO, EXPRESADO EN GRAMOS.  
 A : ES LA ABSORCIÓN DE AGUA, EXPRESADA EN PORCENTAJE

**OBSERVACIONES :**

- Muestreo de unidades de tierra reforzada realizado por el solicitante.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.



*Anexo 28: Ensayo de resistencia del murete a la compresión*



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

(Pág. 01 de 02)



Tesista : CAMPOS MANAYAY ERNESTO ALONSO  
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
Tesis : Estudio de la resistencia a la compresión y permeabilidad en unidades de albañilería de tierra reforzada con estiércol de Equus asinus y estearato de calcio  
Ubicación : Ferreñafe, Lambayeque  
Fecha : Chiclayo, 04 de mayo del 2023

ENSAYO : DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON TIERRA REFORZADA. Resistencia a la compresión del murete  
REFERENCIA : NORMA E.080

Muestra Nº	Denominación de la unidad	Área bruta (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	F'm (kg/cm <sup>2</sup> )
01	Murete de tierra reforzada + 0% de estiércol de Equus asinus	130	2240	6.8706
02	Murete de tierra reforzada + 0% de estiércol de Equus asinus	124	2060	6.6441
03	Murete de tierra reforzada + 0% de estiércol de Equus asinus	130	2020	6.2346
04	Murete de tierra reforzada + 0% de estiércol de Equus asinus	126	2030	6.4241
05	Murete de tierra reforzada + 0% de estiércol de Equus asinus	130	2020	6.2346
06	Murete de tierra reforzada + 0% de estiércol de Equus asinus	126	2030	6.4241

Promedio	<b>6.5433</b>
----------	---------------

NOTA:

- Ensayo realizado en muretes de tierra reforzada de relación h/a=3
- Se promedian los 4 mejores resultados.
- F'm Resistencia del murete a la compresión.

OBSERVACIONES :

- Muestreo de muretes de tierra reforzada realizado por el solicitante.
- Muestras ensayadas el día 04/05/2023
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio



*Anexo 29: Ensayo de resistencia del murete a la compresión*



**USAT**  
Universidad Católica  
Santo Toribio de Mogrovejo

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**  
**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES**



(Pág. 02 de 02)

Tesis

: CAMPOS MANAYAY ERNESTO ALONSO

Escuela

: Escuela de Ingeniería Civil Ambiental

Tesis

: Estudio de la resistencia a la compresión y permeabilidad en unidades de albañilería de tierra reforzada con estiércol de Equus asinus y estearato de calcio

Ubicación

: Ferreñafe, Lambayeque

Fecha

: Chiclayo, 04 de mayo del 2023

ENSAYO : DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON TIERRA REFORZADA. Resistencia a la compresión del murete  
REFERENCIA : NORMA E.080

Muestra Nº	Denominación de la unidad	Área bruta (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	F'm (kg/cm <sup>2</sup> )
01	Murete de tierra reforzada + 6% de estiércol de Equus asinus	130	2540	7.7926
02	Murete de tierra reforzada + 6% de estiércol de Equus asinus	129	2460	7.6398
03	Murete de tierra reforzada + 6% de estiércol de Equus asinus	126	2350	7.4835
04	Murete de tierra reforzada + 6% de estiércol de Equus asinus	130	2620	8.0864
05	Murete de tierra reforzada + 6% de estiércol de Equus asinus	126	1940	6.1779
06	Murete de tierra reforzada + 6% de estiércol de Equus asinus	130	1890	5.8333

Promedio	<b>7.7506</b>
----------	---------------

**NOTA:**

- Ensayo realizado en muretes de tierra reforzada de relación l/a=3
- Se promedian los 4 mejores resultados.
- F'm Resistencia del murete a la compresión.

**OBSERVACIONES :**

- Muestreo de muretes de tierra reforzada realizado por el solicitante.
- Muestras ensayadas el día 04/05/2023
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio



TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 30: Ensayo de resistencia del murete a la tracción indirecta



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

(Pág. 01 de 02)



Tesista : CAMPOS MANAYAY ERNESTO ALONSO  
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
Tesis : Estudio de la resistencia a la compresión y permeabilidad en unidades de albañilería de tierra reforzada con estiércol de Equus asinus y estearato de calcio  
Ubicación : Ferreñafe, Lambayeque  
Fecha : Chiclayo, 12 de mayo del 2023

ENSAYO : DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON TIERRA REFORZADA. Resistencia del murete a la tracción indirecta  
REFERENCIA : NORMA E.080

Muestra Nº	Denominación de la unidad	Área bruta (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	V'm (kg/cm <sup>2</sup> )
01	Murete de tierra reforzada + 0% de estiércol de Equus asinus	779	1150	0.2953
02	Murete de tierra reforzada + 0% de estiércol de Equus asinus	787	1120	0.2848
03	Murete de tierra reforzada + 0% de estiércol de Equus asinus	768	1030	0.2682
04	Murete de tierra reforzada + 0% de estiércol de Equus asinus	771	1090	0.2827
05	Murete de tierra reforzada + 0% de estiércol de Equus asinus	768	1030	0.2682
06	Murete de tierra reforzada + 0% de estiércol de Equus asinus	771	1090	0.2827

Promedio **0.2828**

NOTA:

- Ensayo realizado en muretes de tierra reforzada de 65cmx65cm
- Se promedian los 4 mejores resultados.
- V'm: Resistencia del murete a la tracción indirecta.

OBSERVACIONES :

- Muestreo de muretes de tierra reforzada realizado por el solicitante.
- Muestras ensayadas el día 12/05/2023
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio



*Anexo 31: Ensayo de resistencia del murete a la tracción indirecta*



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

(Pág. 02 de 02)



Tesista : CAMPOS MANAYAY ERNESTO ALONSO  
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
Tesis : Estudio de la resistencia a la compresión y permeabilidad en unidades de albañilería de tierra reforzada con estiércol de Equus asinus y estearato de calcio  
Ubicación : Ferreñafe, Lambayeque  
Fecha : Chiclayo, 12 de mayo del 2023

ENSAYO : DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON TIERRA REFORZADA. Resistencia del murete a la tracción indirecta  
REFERENCIA : NORMA E.080

Muestra N°	Denominación de la unidad	Área bruta (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	V'm (kg/cm <sup>2</sup> )
01	Murete de tierra reforzada + 6% de estiércol de Equus asinus	779	1300	0.3338
02	Murete de tierra reforzada + 6% de estiércol de Equus asinus	787	1270	0.3229
03	Murete de tierra reforzada + 6% de estiércol de Equus asinus	768	1340	0.3489
04	Murete de tierra reforzada + 6% de estiércol de Equus asinus	771	1210	0.3138
05	Murete de tierra reforzada + 6% de estiércol de Equus asinus	768	1340	0.3489
06	Murete de tierra reforzada + 6% de estiércol de Equus asinus	771	1210	0.3138

Promedio **0.3299**

**NOTA:**

- Ensayo realizado en muretes de tierra reforzada de 65cmx65cm
- Se promedian los 4 mejores resultados.
- V'm: Resistencia del murete a la tracción indirecta.

**OBSERVACIONES :**

- Muestreo de muretes de tierra reforzada realizado por el solicitante.
- Muestras ensayadas el día 12/05/2023
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio



### Anexo 32: Ensayo de inundación simulada



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



(Pág. 01 de 02)

Tesista : CAMPOS MANAYAY ERNESTO ALONSO  
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
Tesis : Estudio de la resistencia a la compresión y permeabilidad en unidades de alfarería de tierra reforzada con estérrol de Equus asinus y estearato de calcio  
Ubicación : Ferreñafe, Lambayeque  
Fecha : Chiclayo, 05 de mayo del 2023  
ENSAYO : INUNDACIÓN SIMULADA  
REFERENCIA : Propuesta propia del autor

Muestra N°	Denominación de la unidad	TIEMPO (min)	CAPIL (mm)																
1	Murete con 0% de estérrol de Equus asinus y SIN recubrimiento de Estearato de calcio	0	0	40	93	80	165	120	260	160	291	200	307	240	388	280	438	320	486
		5	12	45	95	85	180	125	261	165	295	205	312	245	388	285	438	325	496
		10	31	50	110	90	186	130	264	170	296	210	318	250	392	290	441	330	524
		15	47	55	127	95	201	135	270	175	298	215	341	255	421	295	448	335	527
		20	51	60	129	100	201	140	281	180	298	220	359	260	425	300	459	340	540
		25	56	65	132	105	212	145	282	185	302	225	365	265	427	305	461	345	-
		30	58	70	155	110	213	150	289	190	302	230	368	270	434	310	461	-	-
		35	68	75	155	115	225	155	290	195	304	235	373	275	434	315	479	-	-

MÁXIMA CAPILARIDAD	540 mm
TIEMPO DE CAÍDA	345 min

**DONDE:**

TIEMPO: Se monitoreó desde que el murete fue inundado hasta que cedió por la acción erosiva del agua.  
CAPILARIDAD: Medida de ascensión del agua evidenciado a través de la humedad.  
OBSERVACIONES:  
- Ensayo realizado por el solicitante.  
- La medida del murete es de 100cmx130cm  
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.



Anexo 33: Ensayo de inundación simulada



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



(Pág. 02 de 02)

Tesista : CAMPOS MANAYAY ERNESTO ALONSO  
 Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
 Tesis : Estudio de la resistencia a la compresión y permeabilidad en unidades de albanilería de tierra reforzada con estércool de Equus asinus y estearato de calcio  
 Ubicación : Ferreñafe, Lambayeque  
 Fecha : Chidayo, 05 de mayo del 2023

ENSAYO : INUNDACIÓN SIMULADA  
 REFERENCIA : Propuesta propia del autor

Muestra N°	Denominación de la unidad	TIEMPO (min)	CAPIL (mm)																
1	Murete con 5% de estércool de Equus asinus y CON recubrimiento de Estearato de calcio	0	0	125	27	250	75	375	117	500	157	625	176	750	215	875	260	1000	290
5		1	130	28	255	75	380	121	505	158	630	176	755	215	880	261	1005	291	
10		2	135	28	280	77	385	122	510	159	635	177	760	219	885	262	1010	292	
15		5	140	29	285	79	390	122	515	161	640	178	765	221	890	262	1015	292	
20		7	145	30	270	84	395	125	520	162	645	179	770	221	895	263	1020	293	
25		8	150	31	275	84	400	129	525	162	650	181	775	224	900	266	1025	295	
30		10	155	32	280	86	405	130	530	162	655	184	780	227	905	267	1030	299	
35		11	160	33	285	86	410	130	535	162	660	184	785	231	910	267	1035	300	
40		12	165	35	290	93	415	132	540	162	665	184	790	231	915	270	1040	301	
45		13	170	41	295	96	420	132	545	163	670	187	795	232	920	271	1045	302	
50		14	175	43	300	97	425	133	550	163	675	190	800	233	925	272	1050	304	
55		17	180	44	305	98	430	134	555	163	680	194	805	233	930	272	1055	307	
60		17	185	44	310	96	435	135	560	165	685	194	810	233	935	273	1060	310	
65		17	190	47	315	96	440	136	565	165	690	195	815	234	940	275	1065	311	
70		18	195	49	320	99	445	139	570	169	695	195	820	234	945	277	1070	311	
75		18	200	50	325	102	450	142	575	170	700	197	825	234	950	278	1075	311	
80		20	205	55	330	105	455	143	580	171	705	200	830	235	955	279	1080	312	
85		21	210	57	335	108	460	143	585	171	710	200	835	239	980	279	1085	316	
90		22	215	66	340	108	465	144	590	172	715	201	840	240	965	280	1090	316	
95		24	220	67	345	109	470	146	595	173	720	202	845	241	970	280	1095	317	
100	24	225	67	350	111	475	146	600	175	725	203	850	242	975	285	1100	319		
105	24	230	70	355	112	480	149	605	179	730	207	855	246	980	285	1105	319		
110	25	235	71	360	112	485	149	610	175	735	211	860	248	985	286	1110	320		
115	26	240	73	365	114	490	151	615	176	740	214	865	249	990	289	1115	320		
120	27	245	74	370	115	495	154	620	176	745	214	870	258	995	290	1120	-		

MAXIMA CAPILARIDAD	320 mm
TIEMPO DE CAIDA	1120 min

DONDE:  
 TIEMPO: Se monitoreó desde que el murete fue inundado hasta que cedió por la acción erosiva del agua.  
 CAPILARIDAD: Medida de ascensión del agua evidenciado a través de la humedad.  
 OBSERVACIONES :  
 - Ensayo realizado por el solicitante.  
 - La medida del murete es de 100cmx130cm  
 - El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.

