

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



INFLUENCIA DEL USO DE LA GOMA NATURAL DE CORDIA LUTEA EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN, MÓDULO DE ELASTICIDAD Y SUCCIÓN DEL TAPIAL EN EL CENTRO POBLADO CUNGUNDAY, DISTRITO DE CHARAT(OTUZCO).

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: ESTRUCTURAS Y MATERIALES

AUTORES:

BR. BRINGAS SEGURA ALDO ALESSANDRO

BR. RUIZ CASTILLO, MIRELLA LIZETH

ASESOR:

ING. URTEAGA GARCÍA JUAN MANUEL

TRUJILLO, 11 DE MARZO DEL 2020

PRESENTACIÓN

Señores miembros del jurado:

Dando cumplimiento al Reglamento de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada Antenor Orrego, es grato poner a vuestra disposición, la presente Tesis titulada: **“INFLUENCIA DEL USO DE LA GOMA NATURAL DE Cordia lutea EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN, MÓDULO DE ELASTICIDAD Y SUCCIÓN DEL TAPIAL EN EL CENTRO POBLADO CUNGUNDAY, DISTRITO DE CHARAT(OTUZCO).”**; con el propósito de obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil.

El presente proyecto nace del esfuerzo de querer continuar con la investigación de las técnicas constructivas con tierra, para generar un pequeño aporte a la ingeniería y revalorar este material.

Por lo expuesto Señores Miembros del Jurado, ponemos a su disposición el presente trabajo de investigación para su respectivo análisis y evaluación, no sin antes agradecer vuestra gentil atención al mismo.

Atentamente,

Br. Aldo A. Bringas Segura

Br. Mirella L. Ruiz Castillo

“INFLUENCIA DEL USO DE LA GOMA NATURAL DE *Cordia lutea* EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN, MÓDULO DE ELASTICIDAD Y SUCCIÓN DEL TAPIAL EN EL CENTRO POBLADO CUNGUNDAY, DISTRITO DE CHARAT(OTUZCO)”

JURADO EVALUADOR

Presidente

ING. CESAR CANCINO RODAS
CIP:77103

Secretario

Dr. ENRIQUE LUJAN SILVA
CIP:54460

Vocal

ING. MARCELO MERINO MARTINEZ
CIP:77111

Asesor

ING. JUAN URTEAGA GARCIA
CIP:75985

TRUJILLO, 11 DE MARZO DEL 2020

DEDICATORIA

*A Dios y a mis padres, César Bringas y
Paula Segura por la motivación y apoyo
incondicional que me han dado.*

Bringas Segura Aldo A.

Dedico este trabajo a Dios, quien guía mi camino día a día. A mi Padre Guadalupe Ruiz y a mi madre Magdalena, por su amor infinito, por creer en mí y apoyarme constantemente durante mi carrera universitaria.

A mis hermanas Miriam y Yohana, por alegrarme y estar conmigo en los momentos de dificultad.

Ruiz Castillo Mirella L.

AGRADECIMIENTO

A Dios por encaminarnos y permitirnos cumplir con nuestro objetivo de culminar esta investigación.

Al ingeniero Juan Manuel Urteaga García por la guía y paciencia constante durante todo el desarrollo de esta tesis.

RESUMEN

Las técnicas de construcción con tierra están ganando protagonismo en la arquitectura contemporánea a nivel mundial debido a sus virtudes como la gran capacidad térmica y aislación acústica sumado al mínimo impacto ambiental que se genera en su fabricación, es por ello que se está investigando las cualidades estructurales y deficiencias que presentan estas construcciones ante los movimientos sísmicos con el propósito de encontrar el proceso constructivo y diseño adecuado que salvaguarde la vida de sus habitantes.

Esta investigación presenta el uso de la goma natural extraída del fruto de la planta *Cordia lutea* Lam en la preparación de tierra con un contenido específico de humedad en la técnica de construcción de Tapial o tierra compactada, para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de los muros de tierra compactada.

Inicialmente estudiamos y analizamos las propiedades físicas y mecánicas de la tierra como material de construcción para lo que en laboratorio elaboramos probetas cilíndricas de tierra compactada con una energía estandarizada con lo que encontramos un contenido de humedad óptimo que permita conseguir la máxima densidad del material. Conociendo esto, se procedió a elaborar primas y muretes con este contenido de humedad óptimo encontrado variando dentro del agua los diferentes porcentajes de goma natural de *Cordia lutea* Lam con lo que procedimos a evaluar su influencia en los resultados de los ensayos mecánicos de laboratorio que indica la norma E.080:2017. Del mismo modo, para evaluar su influencia en las características físicas se realizaron ensayos de Succión y Erosión acelerada.

Los resultados muestran que la adición de la goma natural de *Cordia lutea* Lam contribuye a la mejora de las propiedades físicas - mecánicas del tapial, al mismo tiempo que la compactación con una energía estandarizada ($2700 \text{ KN} - \text{m}/\text{m}^3$) logra superar grandemente los límites de resistente que la norma E.080:2017 señala, por lo que queda de estudio buscar una forma de llegar a dicha energía de compactación en campo.

ABSTRACT

The construction techniques with earth are gaining prominence in contemporary architecture worldwide due to its virtues such as the great thermal capacity and acoustic insulation added to the minimum environmental impact generated in its manufacture, which is why the structural qualities are being investigated and deficiencies that these constructions present before the seismic movements with the purpose of finding the constructive process and adequate design that safeguards the life of its inhabitants.

This research presents the use of natural rubber extracted from the fruit of the *Cordia lutea* Lam plant in the preparation of soil with a specific moisture content in the technique of construction of Tapial or rammed earth, to improve the physical and mechanical properties of rammed earth walls.

Initially, we studied and analyzed the physical and mechanical properties of the earth as a construction material for which in the laboratory we developed cylindrical specimens of compacted earth with a standardized energy, so that we found an optimum moisture content that allows us to achieve the maximum density of the material. Knowing this, we proceeded to prepare premiums and walls with this optimum moisture content found by varying within the water the different percentages of natural rubber of *Cordia lutea* Lam with which we proceeded to assess its influence on the results of the mechanical laboratory tests indicated E.080: 2017 standard. Similarly, to assess its influence on physical characteristics, accelerated suction and erosion tests were performed.

The results show that the addition of the natural rubber of *Cordia lutea* Lam contributes to the improvement of the physical - mechanical properties of the tapial, at the same time that the compaction with a standardized energy ($2700 \text{ KN} - \text{m}/\text{m}^3$) manages to overcome greatly the limits of resistance that the E.080: 2017 standard indicates, so it remains to be studied to find a way to reach said compaction energy in the field.

INDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Problema de investigación.....	1
a)	Descripción de la realidad problemática.....	1
b)	Descripción del problema	2
c)	Formulación del problema	2
1.2	Objetivos de la Investigación.....	2
1.2.1	Objetivo general:.....	2
1.2.2	Objetivos específicos:.....	2
1.3	Justificación del problema	2
II.	MARCO DE REFERENCIA	3
2.1	Antecedentes del estudio.....	3
2.2	Marco teórico	6
2.2.1	Arcilla.....	6
2.2.2	Compactación.....	13
2.2.3	Tapial.....	15
2.2.4	Técnicas Constructivas antisísmicas de Tapial	21
2.2.5	Cordia lutea Lam	25
2.3	Definiciones conceptuales	26
2.4	Hipótesis.....	28
2.5	Variables.....	28
III.	METODOLOGIA EMPLEADA	29
3.1	Tipo y nivel de investigación	29
3.2	Población y muestra	29
3.2.1	Población.....	29
3.2.2	Muestra.....	29
3.3	Técnicas e instrumentos de investigación	30

3.3.1	Ensayo de laboratorio: caracterización del material	31
3.3.2	Elaboración de Tapial	37
3.3.3	Ensayos Físicos y mecánicos.....	40
3.4	Diseño de Investigación	45
3.5	Procesamiento y análisis de datos.....	46
IV.	RESULTADOS	66
4.1	Resúmenes de los resultados.....	66
4.2	Prueba de Hipótesis.....	68
V.	DISCUSION DE RESULTADOS.....	69
5.1	Interpretación de resultados.....	69
5.2	Comparación de resultados	74
	CONCLUSIONES.....	79
	RECOMENDACIONES	80
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	81
	ANEXOS	84

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.-Unidad básica de arcillas: Tetraedro de SiO</i>	6
<i>Figura 2.-Lámina tetraédrica</i>	7
<i>Figura 3.-Lámina octaédrica</i>	7
<i>Figura 4.-Estructura de silicato 1:1</i>	8
<i>Figura 5.-Estructura laminar de las arcillas</i>	8
<i>Figura 6.-Estructura laminar de arcilla Caolinita</i>	8
<i>Figura 7.-Estructura laminar de arcilla Illita</i>	9
<i>Figura 8.-Estructura laminar de arcilla Montmorillonita</i>	9
<i>Figura 9.-Capa doble difusa</i>	11
<i>Figura 10.-Molécula de agua</i>	12
<i>Figura 11.-Separación de láminas de arcilla</i>	12
<i>Figura 12.-Agua adsorbida sobre la partícula de arcilla</i>	13
<i>Figura 13.-Compactación de suelos</i>	14
<i>Figura 14.-Proceso de compactación en el tapial</i>	14
<i>Figura 15.-Muro monolítico de tierra comprimida: Tapial</i>	15
<i>Figura 16.-Tamizado del material</i>	16
<i>Figura 17.-Mezcla de agua y suelo</i>	16
<i>Figura 18.-Encofrado de madera típico en tapial</i>	17
<i>Figura 19.-Moldeo y compactación del tapial</i>	17
<i>Figura 20.-Desmontaje de encofrado</i>	18
<i>Figura 21.-Efecto de la lluvia en el tapial</i>	20
<i>Figura 22.-Forma de un ángulo peligroso y de uno mejorado</i>	21
<i>Figura 23.-Paneles de tapial reforzado con bambú</i>	22
<i>Figura 24.-Proceso constructivo del sistema postensado</i>	24
<i>Figura 25.-Prototipo de adobe durante el ensayo en la mesa de simulación de terremotos</i>	24
<i>Figura 26.-Prototipo de tapial postensado durante el ensayo en la mesa de simulación de terremotos</i>	24
<i>Figura 27.-Arbusto Cordia Lutea</i>	25
<i>Figura 28.-Porción de muestra dividida por un ranurador</i>	33
<i>Figura 29.-Carta de Plasticidad</i>	35
<i>Figura 30.-Curva de distribución acumulativa del tamaño de partículas</i>	35
<i>Figura 31.-Clasificación de suelos (SUCS)</i>	36
<i>Figura 32.-Equipo de Frecuencia de Resonancia</i>	43
<i>Figura 33.-Equipo para ensayo de Erosión Acelerada Swinburne (SAET)</i>	45
<i>Figura 34.-Ensayo de Módulo de elasticidad con Equipo de resonancia</i>	60

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1.-Operacionalización de las variables.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 2.-Muestras requeridas para elaboración de ensayos.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 3.-Técnicas e instrumentos para cada ensayo.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 4.-Procedimientos de ensayo Proctor Modificado.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 5.-Tamices utilizados.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 6.-Procesamiento de datos de Límite Líquido.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 7.-Tabla de datos para el ensayo de Límite Plástico.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 8.-Datos de Análisis Granulométrico.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 9.-Procesamiento de datos obtenidos en Tamiz 3/4,3/8 y N° 4.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 10.-Características del Método B-Proctor Modificado.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 11.-Determinación de la densidad húmeda.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 12.-Determinación de contenido de humedad.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 13.-Datos para la fabricación de las unidades de Tapial.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 14.-Procesamiento de datos, resistencia a compresión del material -0% Cordia l.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 15.-Procesamiento de datos, resistencia a compresión del material -5% Cordia l.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 16.-Procesamiento de datos, resistencia a compresión del material -10% Cordia l.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 17.-Procesamiento de datos, resistencia a compresión del material -20% Cordia l.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 18.-Coeficientes de corrección por esbeltez por Daniel Quiun.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 19.-Coeficientes de corrección por esbeltez, según Norma E 0.70.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 20.-Esfuerzos resistentes a compresión en primas de tapial con 0% Cordia Lutea.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 21.-Esfuerzos resistentes a compresión en primas de tapial con 5% Cordia Lutea.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 22.-Esfuerzos resistentes a compresión en primas de tapial con 10% Cordia Lutea.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 23.-Esfuerzos resistentes a compresión en primas de tapial con 20% Cordia Lutea.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 24.-Esfuerzos resistentes a compresión diagonal en primas de tapial con 0% Cordia l.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 25.-Esfuerzos resistentes a compresión diagonal en primas de tapial con 5% Cordia l.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 26.-Esfuerzos resistentes a compresión diagonal en primas de tapial con 10% Cordia l.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 27.-Esfuerzos resistentes a compresión diagonal en primas de tapial con 20% Cordia l.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 28.-Procesamiento de datos, Módulo de elasticidad Tapiales con 0% Cordia Lutea.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 29.-Procesamiento de datos, Módulo de elasticidad Tapiales con 5% Cordia Lutea.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 30.-Procesamiento de datos, Módulo de elasticidad Tapiales con 10% Cordia Lutea.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 31.-Procesamiento de datos, Módulo de elasticidad Tapiales con 20% Cordia Lutea.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 32.-Procesamiento de datos, ensayo de succión Tapiales con 0% Cordia lutea.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 33.-Procesamiento de datos, ensayo de succión Tapiales con 5% Cordia lutea.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 34.-Procesamiento de datos, ensayo de succión Tapiales con 10% Cordia lutea.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 35.-Procesamiento de datos, Succión Tapiales con 20% Cordia lutea.....</i>	<i>64</i>

<i>Tabla 36.-Procesamiento de datos, Erosión Acelerada Tapiales con 0% Cordia.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 37.-Procesamiento de datos, Erosión Acelerada Tapiales con 5% Cordia L.</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 38 .-Procesamiento de datos, Erosión Acelerada Tapiales con 10% Cordia l.</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 39.-Procesamiento de datos, Erosión Acelerada Tapiales con 20% Cordia lutea</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 40.-Resumen de resultados, resistencia del material tierra a compresión.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 41.-Resumen de resultados, resistencia a la compresión del Tapial.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 42.-Resumen de resultados, resistencia a la compresión Diagonal</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 43.-Resumen de resultados, ensayo de Módulo de elasticidad</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 44.-Resumen de resultados, ensayo de Succión</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 45.-Resumen de resultados, Erosión Acelerada Swinburne (SAET).....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 46.-Porcentaje de Variación de Resultados</i>	<i>68</i>

INDICE DE GRAFICAS

<i>Gráfica 1.-Resistencia del material mínima según Norma E 0.80:2017</i>	<i>69</i>
<i>Gráfica 2.-Resistencia a la compresión del tapial mínima según Norma E 0.80:2017.....</i>	<i>70</i>
<i>Gráfica 3.-Resistencia del tapial a la compresión diagonal mínima según Norma E 0.80</i>	<i>71</i>
<i>Gráfica 4.-Módulo de elasticidad según Norma E 0.80:2017.....</i>	<i>72</i>
<i>Gráfica 5.-Succión de tapiales con diferentes porcentajes de goma natural de Cordia L.</i>	<i>73</i>
<i>Gráfica 6.-Oquedad máxima según norma UNE 41410:2008.....</i>	<i>73</i>
<i>Gráfica 7.-Resistencia del material tierra a compresión, diferentes porcentajes de goma natural ..</i>	<i>74</i>
<i>Gráfica 8.-Resistencia del tapial a la compresión, diferentes porcentajes de goma natural</i>	<i>75</i>
<i>Gráfica 9.-Resistencia a la compresión diagonal, diferente adición de goma natural.....</i>	<i>76</i>
<i>Gráfica 10.-Módulo de elasticidad, diferente adición de goma natural.....</i>	<i>76</i>
<i>Gráfica 11.-Ensayo de Succión, diferentes porcentajes de goma natural</i>	<i>77</i>
<i>Gráfica 12.-Erosión Acelerada, diferentes porcentajes de goma natural</i>	<i>78</i>

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Problema de investigación

a) Descripción de la realidad problemática

La técnica de construcción con tierra cruda se continúa usando en nuestro país, según censo (2017) alrededor de la mitad de viviendas de La Libertad (51.8%) y la tercera parte a nivel nacional (27.9%) se han construido utilizando técnicas constructivas con tierra; albañilería a partir de adobes o bloques de tierra comprimida o muros monolíticos a partir del tapial.

Las edificaciones en adobe y tapia pisada presentan grandes desventajas. Debido a la fragilidad y baja resistencia mecánica que presenta este material las estructuras manifiestan una alta debilidad frente a los sismos, ya que la falta de un diafragma rígido y adecuadas conexiones de éste con los muros de soporte en el plano de los entrepisos y de la cubierta, dan lugar a que las cargas horizontales no sean absorbidas por los elementos más rígidos en cada plano de la edificación. (Yamín, Phillips, Reyes y Ruiz, 2007).

Nos encontramos también con la baja resistencia a la intemperie y a la erosión con el pasar del tiempo. El incremento del contenido de humedad en la superficie del muro producido por los efectos de la lluvia impulsada por el viento y la absorción del suelo circundante originan una reducción en la fuerza de unión de las partículas logrando que los muros se erosionen con mayor facilidad y pierdan material. (Hall, Lindsay y Krayenhoff, 2012).

Con el fin de contrarrestar estas deficiencias, se han realizado algunos estudios para mejorar su vulnerabilidad sísmica con el uso de geomallas que pretenden aumentar el confinamiento y unión de los muros, (Vargas y Blondet, 2005). Por otro lado, estudian el comportamiento de la tierra estabilizada con cemento para mejorar sus propiedades de dureza y permeabilidad.

En este proyecto se estudiará los efectos que tiene la inclusión de la goma natural del fruto de *Cordia lutea* Lam en las características físicas y mecánicas de las construcciones con tierra, esperando exista una contribución en las propiedades mecánicas y protección contra la erosión.

b) Descripción del problema

El uso de la goma natural de Cordia lutea Lam aumenta o disminuye la resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y succión en el Tapial.

c) Formulación del problema

¿En qué medida el uso de la goma natural de Cordia lutea Lam aumenta o disminuye la resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y succión en el Tapial?

1.2 Objetivos de la Investigación

1.2.1 Objetivo general:

- Determinar en qué medida influye el uso de la goma natural de Cordia lutea Lam en la resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y succión en el tapial.

1.2.2 Objetivos específicos:

- Caracterizar el suelo usado mediante ensayos y normas técnicas vigentes.
- Determinar el contenido óptimo de humedad
- Establecer las características Físicas y mecánicas del tapial estabilizado con goma de Cordia Lutea.
- Comparar los resultados y redactar las conclusiones.

1.3 Justificación del problema

El presente estudio busca revalorizar el tapial como un material eficaz, económico y resistente para la construcción de viviendas. El uso de la goma de Cordia lutea permite mejorar la calidad de estas construcciones y brindar seguridad a las personas que viven en ellas.

Esta investigación pretende también ampliar los temas de construcción con tierra reforzada aportando un nuevo estudio sobre la adición de la goma natural de Cordia Lutea y su efecto en las propiedades mecánicas y la resistencia al agua en el tapial.

El uso de esta goma en el tapial será una base para alumnos y profesionales que se interesen en este tipo de materiales en la construcción, podrán

desarrollar futuras investigaciones, una de ellas podría ser el uso de diferentes porcentajes a los usados en este estudio y comparar los resultados.

II. MARCO DE REFERENCIA

2.1 Antecedentes del estudio

- Los autores Afanador, N, Carrascal, M, & Bayona, M (2013) en su investigación “*Experimentación, comportamiento y modelación de la tapia pisada*” de la Universidad Francisco de Paula Santander, Colombia determinaron las propiedades físico-mecánicas y el comportamiento de los elementos estructurales que constituyen una construcción en tapia pisada. El tipo de suelo utilizado en la construcción de muros en tapia pisada fue tomado de construcciones ubicadas en diferentes sitios. Los ensayos realizados fue clasificación de suelos, porcentaje de finos y gruesos, límites de Atterberg, granulometría por tamizado en seco y por sedimentación (hidrómetro) y el ensayo de compactación Proctor.

Las propiedades mecánicas de la tapia fueron determinadas mediante la construcción de especímenes de 250x500x500 mm, con el fin de determinar la resistencia última a compresión, el módulo de elasticidad longitudinal, el módulo de rotura (paralelo y perpendicular a la junta), la resistencia a la tracción, el módulo de corte y la relación de Poisson.

Los resultados obtenidos del esfuerzo a la compresión promedio a los 28 días fue de 0.17 MPa, con módulo de elasticidad (E) máximo de 74.00 MPa, mínimo de 42.12 MPa y E promedio de 54.78 MPa. El módulo de rotura fue determinado a 4 especímenes de 250x500x500 mm en la dirección perpendicular a la junta, cuya carga máxima fue de 2,103 KN y Módulo de rotura promedio de 0,042 MPa. Se concluyó que la construcción analizada no es vulnerable por acciones gravitacionales, pero sí lo es sísmicamente, según los resultados de esta investigación; concluyó que, a fin de tener una construcción Sismorresistente, los muros requieren de resistencia adicional a compresión, flexión, corte y tensión.

- En México, Cervantes, A. (2015), en su tesis *“Adobe orgánico elaborado con arcilla y mucilago de nopal, para construcción de centro Eco-turístico en el municipio de Acolman”* del Instituto Politécnico Nacional tuvo como objetivo analizar las propiedades físicas de la baba de nopal, y estudiar el beneficio de utilizarlo en la fabricación de adobes para incrementar su resistencia a la compresión para poder ser usados como elementos estructurales con seguridad. Se elaboraron 22 bloques de adobe, con una proporción de 1/5:1:1/2:1 (arcilla, arena, baba de nopal y paja). Del ensayo de resistencia a la compresión se obtuvo un valor promedio de 14.74 kg/cm².

- Bolaños, J. (2016), en su investigación *“Resistencia a compresión, flexión y absorción del adobe compactado con adición de goma de tuna”* en la Universidad Privada Del Norte realizó 24 unidades de adobe compactado con goma de tuna en porcentajes de 5%,10%,15% y para la muestra patrón, sumando en total 96 muestras. De los resultados obtenido llegó a la conclusión que el adobe compactado tiene un buen comportamiento, aumenta su resistencia a compresión y al utilizar goma de tuna en diferentes porcentajes como 5%, 10% y 15% presenta valores de 21.90 kg/cm², 25.27 kg/cm² y 27.56 kg/cm² respectivamente, siendo estos valores mayor a lo que especifica la norma E.080, el cual indica una resistencia mínima a compresión de 12 kg/cm².
El porcentaje de absorción del bloque de adobe compactado con 5%, 10% de goma de tuna es de 12.68% y 14.62% respectivamente, la muestra sin goma de tuna y los de bloques de adobe con 15% no resiste la prueba de absorción.

- En el 2016, Guerrero, O en su investigación denominada *“Estudio de la tecnología del tapial para su aplicación en la vivienda en Tarija”* en la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho de Bolivia, tuvo como objetivo determinar las dosificaciones más adecuadas de los materiales que se utilizan en el muro de tapial con el objeto de mejorar sus propiedades físicas-permeables con técnicas de construcción modernas. Por ello, su investigación se desarrolló en tres etapas; la primera se realizó en el laboratorio y consistió en hacer las pruebas necesarias a los suelos

estudiados también se efectuaron pruebas en campo con las mismas, la segunda etapa fue estabilización de suelos y construcción de probetas cilíndricas y rectangulares para efectuar distintas pruebas, y la tercera la elaboración de un muro de tapial a escala real. Entre los ensayos realizados en la primera etapa son el Ensayo de granulometría, ensayo de sedimentación, ensayo de caída de bola, Ensayo de cohesión (rollo) y el ensayo de permeabilidad. Luego de obtener el porcentaje de la mezcla adecuada de los agregados del Tapial, se determinó el Porcentaje de cemento y cal para lograr la estabilización a través de cilindros con un diámetro de 11cm, y un área de 100cm². De los resultados de los ensayos se concluyó que la mejor dosificación fue aquella que contenía 2,5 % paja ,4 % cal y 4% cemento debido a la mayor resistencia a la compresión y permeabilidad que presentaron sus muestras. Por consiguiente, se consideró más adecuado para viviendas de 2 plantas.

- Quintana, D. & Vera, M. (2017) en su estudio titulado *“Evaluación de la erosión y la resistencia a compresión de adobes con sustitución parcial y total de agua en peso por mucílago de tuna en porcentajes del 0%, 25%, 50%, 75% y 100%”* en la Universidad Andina Del Cusco, realizaron elaboraron bloques de adobe de dimensiones 25x13x10 cm con adición de paja de 10cm de longitud, así mismo se sustituyó el agua por mucílago de tuna en los porcentajes de 0%, 25%, 50%, 75% y 100% con respecto al peso del agua. Los ensayos realizados en campo consistieron en pruebas de Color, Dental, Olfativa, Brillo, Enrollado, Resistencia Seca de la Bolita y Prueba de la Botella, todas ellas para la selección de la tierra con la cual se elaboraron los adobes; los ensayos realizados en laboratorio fueron Límites de Atterberg y Granulometría y Contenido de Humedad, la cual obtuvieron una Arcillo Arenosa.

También realizaron los ensayos de Absorción, Succión, Resistencia a Compresión, y erosión acelerada. La conclusión a la que llegaron fue que mientras más mucílago presenten los adobes, menor será la erosión que se obtenga en ellos y mayor la resistencia a compresión.

2.2 Marco teórico

2.2.1 Arcilla

Es un elemento principal en la fabricación de los muros de Tapial.

Según la norma E. 0.80 la arcilla es el único material activo e indispensable del suelo. En contacto con el agua permite su amasado, se comporta plásticamente y puede cohesionar el resto de partículas inertes del suelo formando el barro, que al secarse adquiere una resistencia seca que lo convierte en material constructivo. Tiene partículas menores a dos micras.

La definición que brinda la Norma Técnica Peruana 339.134:1999” Métodos para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería sobre la arcilla es que es un suelo que pasa el tamiz estándar N°200(75 um), puede exhibir plasticidad dentro de un cierto rango de contenido de humedad y tiene una considerable resistencia cuando está seco. Con propósitos de clasificación, una arcilla es un suelo de grano fino con un índice de plasticidad menor que 4.

La arcilla, es un mineral que forma parte de la familia de los Filosilicatos o silicato en láminas ya que como su nombre lo indica, exhiben una estructura laminar, mientras que su unidad estructural fundamental es una lámina extendida de tetraedros de SiO.

Este tetraedro está compuesto por un átomo central de silicio (Si) y cuatro átomos de oxígeno en las esquinas (Ver fig.1). (Barton y Karathanasis,2002).

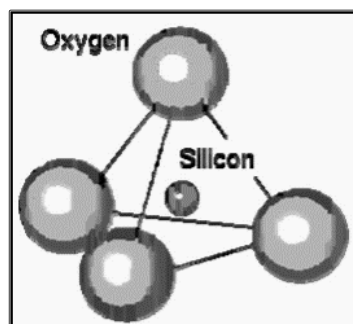


Figura 1.-Unidad básica de arcillas: Tetraedro de SiO

La unión de estos tetraedros compartiendo tres de sus cuatro oxígenos forman una red hexagonal llamada lámina tetraédrica u hoja tetraédrica tipo “T”. (Ver Fig.2).

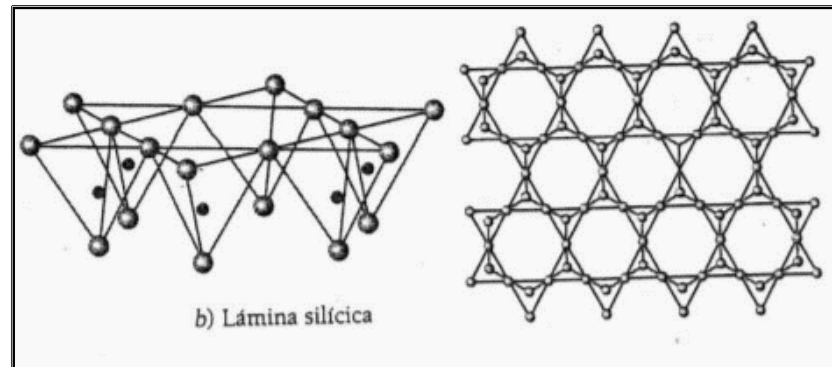


Figura 2.-Lámina tetraédrica

Los tetraedros capaces de sustituir su átomo central de sílice por uno de aluminio, magnesio o hierro al ser rodeado por seis átomos de oxígeno o grupos hidroxilos dan lugar a la formación de un octaedro, y la unión de estos forman una lámina octaédrica tipo “O” llamada también Gibbsita (Ver fig.3). (Domingo y Schifter, 1992)

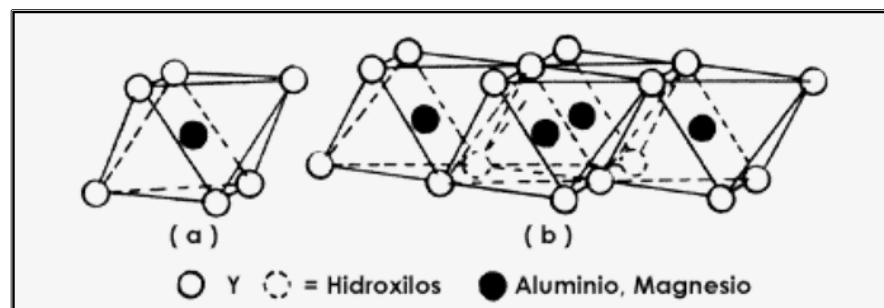


Figura 3.-Lámina octaédrica

Por último, la unión de estas láminas de forma repetitiva da lugar a la estructura laminar y cristalina característico de las arcillas. Esta unión se puede dar de dos formas:

- ✓ La estructura de silicato de capa 1:1/T-O

El oxígeno apical de la lámina tetraédrica reemplaza un hidroxilo de la lámina octaédrica para formar la capa mineral de arcilla 1:1. (Ver fig.4).

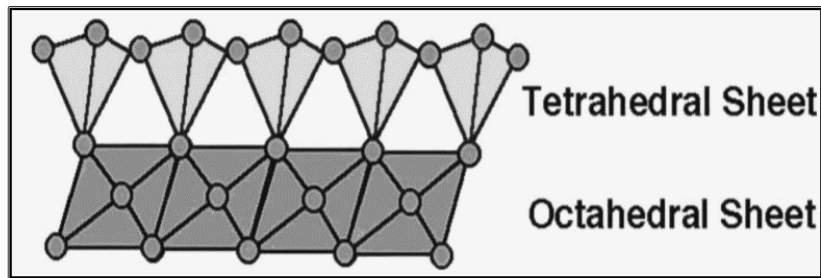


Figura 4.-Estructura de silicato 1:1

✓ La estructura de silicato de capa 2:1/T-O-T

Arcillas que presentan una estructura de sandwich, es decir, que está constituida por dos láminas tetraédricas y una lámina octaédrica intermedia (Ver fig.5). (Domínguez y Shifter,1992).

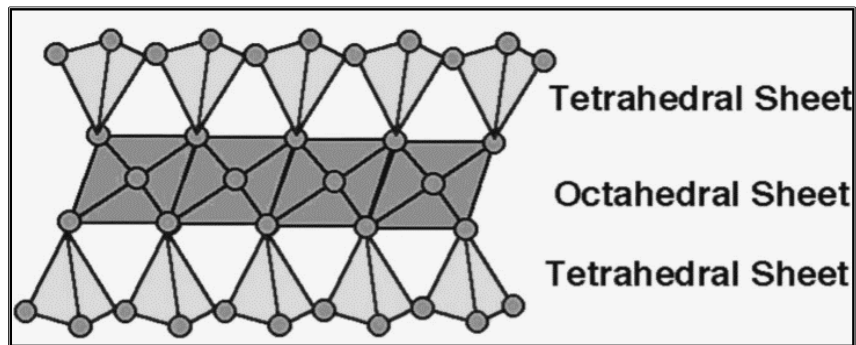


Figura 5.-Estructura laminar de las arcillas

➤ **Clasificación de arcillas**

- Caolinita

Arcilla cuya estructura consiste en capas repetidas de láminas de sílice-gibbsita elementales (Ver fig.6). Las capas se mantienen unidas por enlaces de hidrógeno (Das,2013).

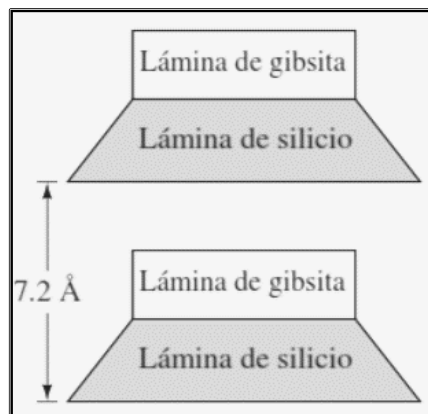


Figura 6.-Estructura laminar de arcilla Caolinita

- Illita

Arcilla que consiste de una lámina de gibbsita unida a dos láminas de sílice, una en la parte superior y otra en la parte inferior (Ver fig.7). A veces se llama arcilla micácea. Las capas de illita están unidas entre sí por iones de potasio. (Das,2013)

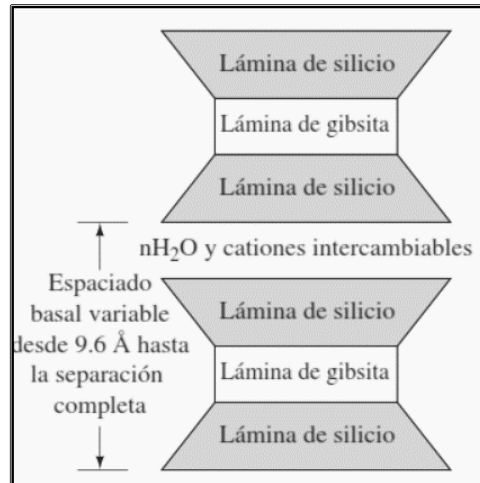


Figura 7.-Estructura laminar de arcilla Illita

- Montmorillonita

Tiene una estructura similar a la de la illita, es decir, una lámina de gibbsita intercalada entre dos láminas de sílice con la diferencia que aquí no están presentes los iones de potasio, como en el caso de la illita, y una gran cantidad de agua es atraída al espacio entre las capas (Ver fig.8). (Das,2013).

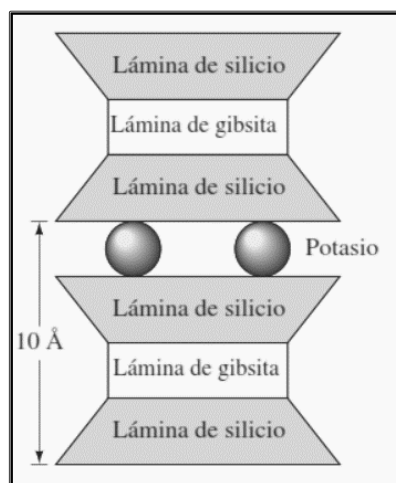


Figura 8.-Estructura laminar de arcilla Montmorillonita

➤ **Propiedades Físico-Químicas de arcillas**

- Superficie específica

La superficie específica o área superficial de una arcilla se define como el área de la superficie externa más el área de la superficie interna (en el caso de que esta exista) de las partículas constituyentes, por unidad de masa, expresada en m^2 / g . (García y Suárez,2015)

- Capacidad de intercambio catiónico

Los minerales de arcilla pueden adsorber ciertos cationes y aniones y retenerlos alrededor del exterior de la unidad estructural en un estado intercambiable, generalmente sin afectar la estructura básica de silicato. Estos iones adsorbidos son intercambiados fácilmente por otros iones. (Encyclopædia Britannica,2016).

- Hidratación e hinchamiento.

La absorción de agua en el espacio interlaminar tiene como consecuencia la separación de las láminas dando lugar al hinchamiento. Este proceso depende del balance entre la atracción electrostática catión-lámina y la energía de hidratación del catión. A medida que se intercalan capas de agua y la separación entre las láminas aumenta, las fuerzas que predominan son de repulsión electrostática entre láminas, lo que contribuye a que el proceso de hinchamiento pueda llegar a disociar completamente unas láminas de otras. (García y Suárez,2015).

- Plasticidad

La plasticidad de las arcillas está relacionada con la morfología de las partículas minerales de arcilla en forma de placa que se deslizan sobre las otras cuando se agrega agua, que actúa como lubricante. A medida que aumenta el contenido de agua de la arcilla, la plasticidad aumenta hasta un máximo, dependiendo de la naturaleza de la arcilla. (Andrade, Qureshi y Hotza, 2011).

➤ Interacción Agua-arcilla

El agua y las arcillas son componentes fundamentales en la fabricación del tapial ya que, de la unión de estos se obtiene una pasta moldeable con propiedades cohesivas y comportamiento plástico. Debido a ello es importante conocer la relación entre agua-arcilla.

El ingeniero BRAJA M. DAS, en su libro Fundamentos de ingeniería geotécnica nos explica que las partículas de arcilla tienen una carga neta negativa en sus superficies. Cuando la arcilla está seca, la carga negativa se compensa con cationes intercambiables, como Ca^{+} , Mg^{+} , Na^{+} y K^{+} , rodeando las partículas sostenidos por la atracción electrostática. Cuando se añade agua a la arcilla, estos cationes y un pequeño número de aniones flotan alrededor de las partículas de arcilla. Esto se conoce como doble capa difusa. (Ver fig.9).

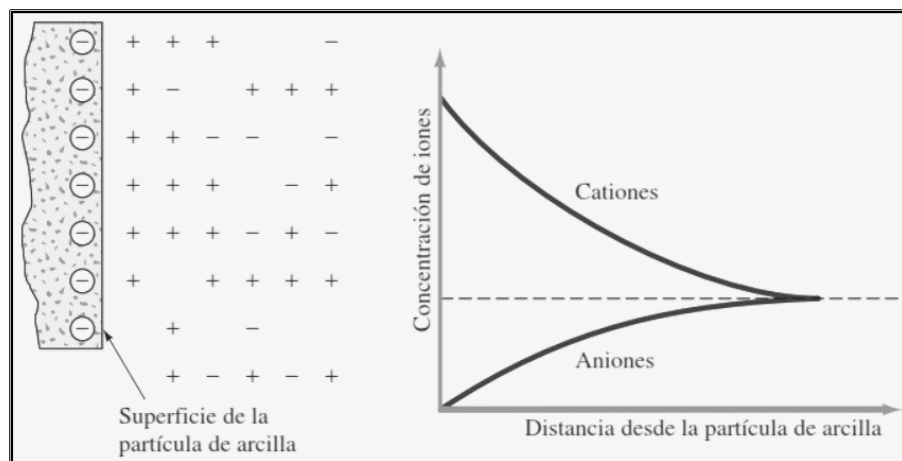


Figura 9.-Capa doble difusa

La concentración de cationes disminuye con la distancia desde la superficie de la partícula. Las moléculas de agua son polares. Los átomos de hidrógeno no están dispuestos de una manera simétrica alrededor de un átomo de oxígeno, sino que se producen en un ángulo de enlace de 105° (Ver fig.10). Como resultado de ello, una molécula de agua actúa como una pequeña varilla con una carga positiva en un extremo y una carga negativa en el otro, esto se conoce como un dipolo. (Das,2013).

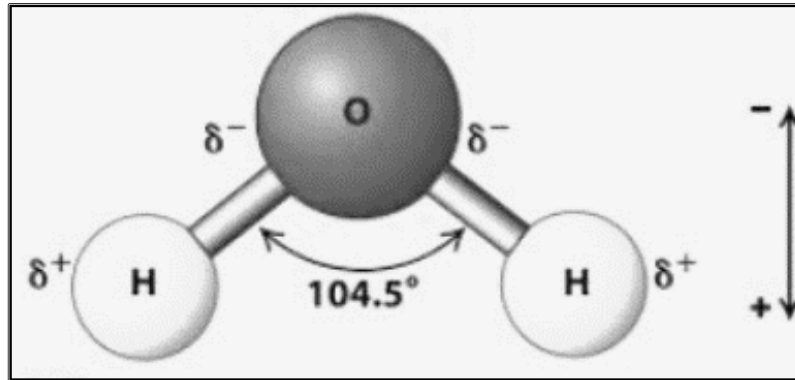


Figura 10.-Molécula de agua

El agua dipolar es atraída por la superficie cargada negativamente de las partículas de arcilla y por los cationes en la capa doble.

El exceso de agua en la arcilla causa una carga superficial muy elevada, esto hace que las láminas se repelen entre sí separándose unas de otras por lo que el espacio interlaminar se expande, originando el hinchamiento característico de las arcillas y su incremento de su volumen (Ver fig.11). (Domingo y Schifter,1992). A medida que se intercalan capas de agua y la separación entre las láminas aumenta, el proceso de hinchamiento puede llegar a disociar completamente unas láminas de otras.

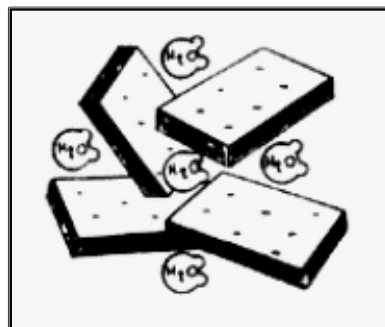


Figura 11.-Separación de láminas de arcilla

Otro mecanismo por el cual el agua es atraída por las partículas de arcilla es el enlace de hidrógeno, en el que los átomos de hidrógeno en las moléculas de agua son compartidos con los átomos de oxígeno en la superficie de la arcilla. Algunos cationes de los poros parcialmente hidratados en el agua también son atraídos a la superficie de las partículas de arcilla. Estos cationes atraen moléculas de agua dipolares. La fuerza de atracción entre el agua y la arcilla disminuye con la distancia desde la superficie de las

partículas. Toda el agua que se unió a las partículas de arcilla por la fuerza de atracción se conoce como agua de capa doble. A la capa más interna del agua de capa doble, que está unida con mucha fuerza por la arcilla, se le conoce como agua adsorbida (Ver fig.12). Esta agua es más viscosa que el agua libre. (Das,2013).

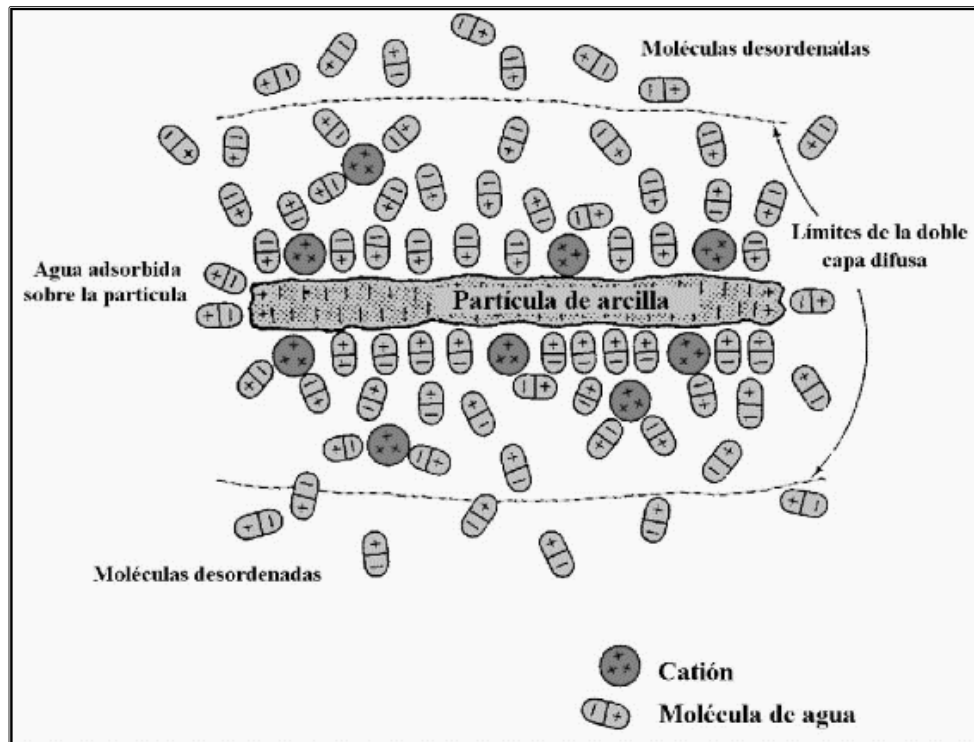


Figura 12.-Agua adsorbida sobre la partícula de arcilla

Debido a lo antes mencionado se debe tener cuidado con el uso del agua en el tapial, tanto en su fabricación como en su protección ante la intemperie, ya que sus características mecánicas y físicas se verían afectadas negativamente.

2.2.2 Compactación

El ingeniero Braja Das, nos describe que la compactación es la consolidación del suelo por la eliminación de aire y requiere energía mecánica (Ver fig.13). El grado de compactación de un suelo se mide en términos de su peso unitario seco. Cuando se añade agua a la tierra durante la compactación, ésta actúa como agente suavizante sobre las partículas del suelo. Éstas se deslizan una sobre la otra y se mueven en una posición densamente empaquetadas.



Figura 13.-Compactación de suelos

La compactación es el procedimiento característico y esencial en la fabricación de muros de tierra comprimida, pues, le brindará sus propiedades resistentes y establecerá su calidad (Ver fig.14). Por ello el contenido de humedad debe ser el óptimo, ya que una mezcla con alto contenido de humedad no puede ser compactada adecuadamente, se adhiere al pisón impidiendo el trabajo y genera alteraciones o deformaciones en las estructuras haciendo que su resistencia a la compresión disminuya. De la misma forma ocurre si se tiene una mezcla demasiado seca, no se obtendrá la resistencia necesaria, aunque se compacte de modo correcto. (Doat, 1996, p. 25).

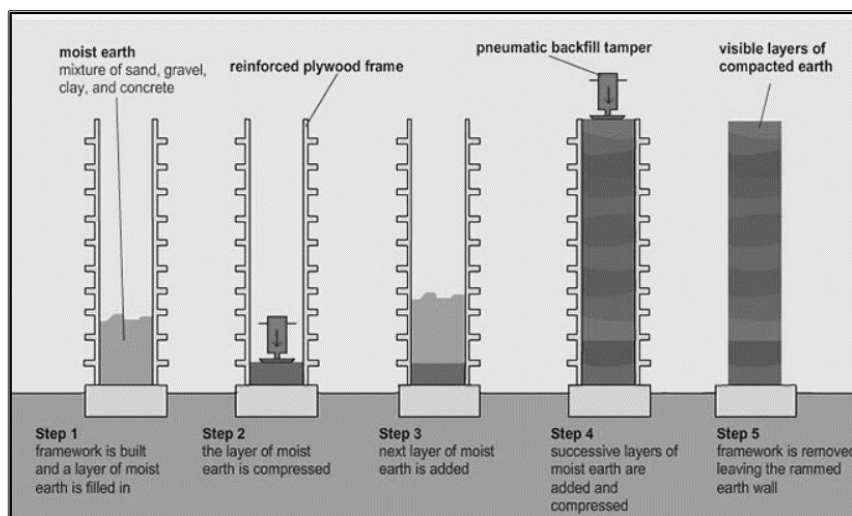


Figura 14.-Proceso de compactación en el tapial

2.2.3 Tapial

Conocido también como tierra pisada. Es un muro monolítico de tierra encofrada y compactada a base de un pisón manual o mecánico (Ver fig. 15). (Hernández,2016).

Según la NTE E.080, el suelo adecuado debe contener principalmente entre sus componentes, cantidades suficientes de arcilla y de arena. El porcentaje de arcilla, suministra cohesión, uniendo las partículas de arena, conformando una mezcla estructuralmente resistente. Sin embargo, el exceso de arcilla puede producir grietas al secarse el tapial, por lo que, en general se considera que no debe exceder el 20%.



Figura 15.-Muro monolítico de tierra comprimida: Tapial

➤ **Proceso de construcción**

Tejada, Mendoza y Torrealva (2015)., en su publicación “USO DEL TAPIAL EN LA CONSTRUCCIÓN” nos muestra una serie de pasos para la realización de los muros comprimidos de tierra.

- Tamizado

Una vez seleccionado el suelo, la primera acción deberá ser someterlo a un proceso de tamizado, a fin de retirar piedras mayores a 3/8 pulgadas, así como otros materiales que impidan su adecuada compactación. (Ver fig.16)

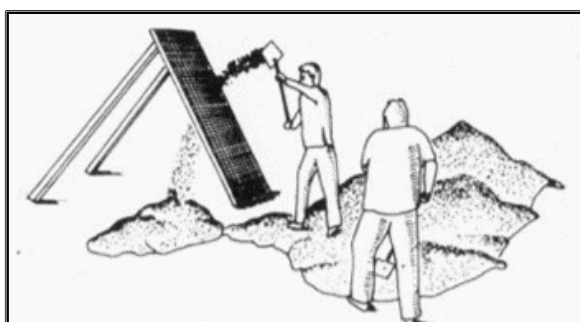


Figura 16.-Tamizado del material

- Formación de la pasta

Luego de ser tamizado, se mezclará con agua en cantidad suficiente para que quede húmedo y así formar una mezcla consistente pero no barrosa (Ver fig.17). Se dejará reposar por 24 hora para que el agua penetre en todas las partículas de arcilla presente desarrollando su capacidad adhesiva y ayudando a homogenizar la mezcla.

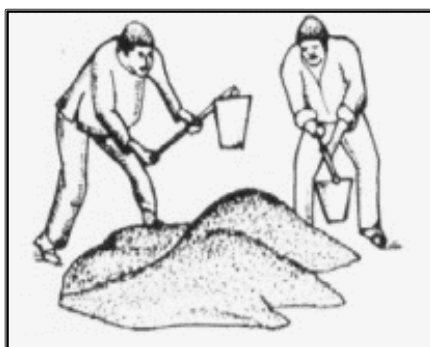


Figura 17.-Mezcla de agua y suelo

- Encofrados

Lo que caracteriza la construcción de tapiales es el empleo de moldes o encofrados, dentro de los cuales se vierte el suelo ya preparado para ser compactado (Ver fig.18). Durante el proceso de construcción deberá conservarse la verticalidad de los muros, a pesar de la existencia vibraciones, y mantener constantes las dimensiones de ancho del muro, a pesar de las presiones laterales que ejerce el material apisonado, por lo que es necesario que los encofrados sean preparados para que resistan dichos empujes y vibraciones.

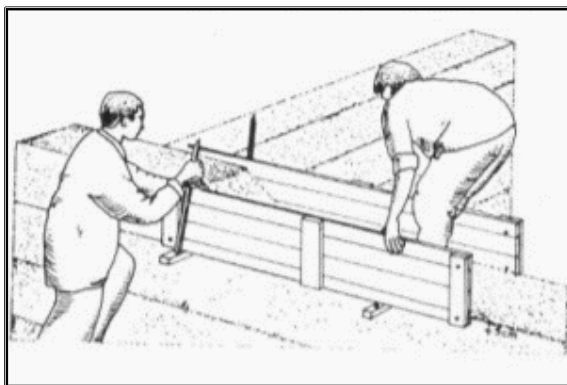


Figura 18.-Encofrado de madera típico en tapial

- Moldeo y compactación

Se verterá el suelo “dormido” en capas de 15 cm cada una; se procederá a la compactación hasta llegar a 10 cm aproximadamente. La compactación se realizará con un mazo de unos 10 kg aproximadamente (Ver fig.19). La cantidad de apisonados quedará definida por la persona encargada de este trabajo. La capa superior de cada tapial será nivelada con una paleta de madera.

El encofrado se desplazará lateralmente para el nuevo tapial contiguo a construir. Se terminará la primera hilada de tapiales y se esperará 3 días. La segunda hilada se colocará alternando la posición de la primera hilada.

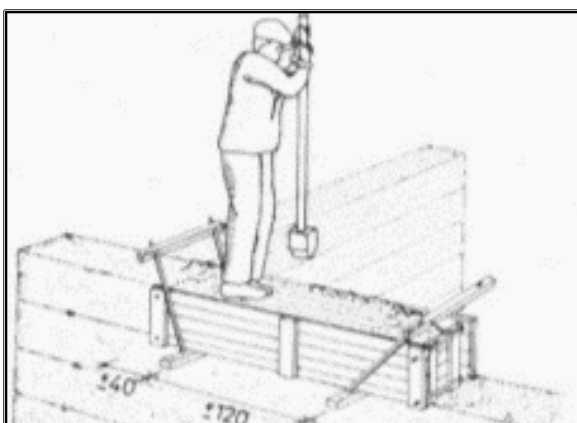


Figura 19.-Moldeo y compactación del tapial

Luego se retira las agujas transversales de sujeción, se desmolda y se adecua para el siguiente tapial (Ver fig.20).

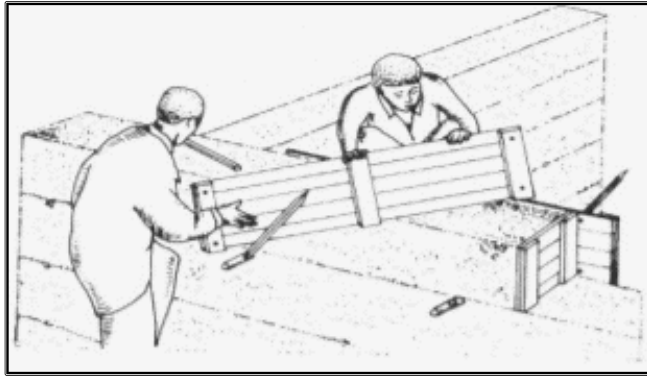


Figura 20.-Desmontaje de encofrado

➤ **Propiedades del Tapial**

- Densidad Seca

Depende del tipo de suelo, el contenido de humedad durante la compactación y esfuerzo de compactación. Esta propiedad se considera importante ya que está relacionada con la resistencia y la durabilidad. Para lograr la máxima densidad, es necesario que el contenido de humedad sea el óptimo y el ensayo más utilizado para determinar la densidad de los suelos en un laboratorio es el Ensayo de compactación Estándar y Modificado. (Maniatidis y Walker,2003).

- Resistencia a Compresión

La tierra apisonada tiene una resistencia relativamente buena en la compresión, pero generalmente poca resistencia en el corte y tensión, especialmente cuando está húmedo.

- Módulo de Elasticidad

Permite determinar el acortamiento de las paredes de tierra apisonada en la construcción de carga cuando las paredes adyacentes se cargan de manera diferente. (Jayasinghe y Kamaladasa,2007).

- Durabilidad

La durabilidad en el contexto de la construcción de la tierra significa la capacidad de la estructura y todos sus elementos para resistir la acción destructiva de la intemperie y otras acciones sin degradar la vida útil esperada (Maniatidis y Walker,2003).

Muchos factores pueden afectar la durabilidad de la tapia, según (Hall, Lindsay y Krayenhoff, 2012). los principales son:

- ✓ Pérdida de fortaleza mecánica debido a un aumento significativo de la humedad.
- ✓ Erosión en la superficie de las paredes debido a la lluvia
- ✓ Daños que afectan al material del muro debido a la congelación y descongelación debido a la presencia de agua que contiene.
- ✓ Daños causados por abrasión, insectos y plantas.

➤ **Ventajas del Tapial**

González, Escoda y Peñín en su libro Construcción con Tierra: análisis, conservación y mejora nos presenta una serie de ventajas que tiene construir con tapial

- Materia prima fácil, abundante y económica.
- Bajo impacto ambiental, ecológico y sostenible.
- Buen comportamiento bioclimático, higroscópico y saludable.

➤ **Patologías**

- Agua

La entrada de agua en las paredes del muro puede ser causada por varios mecanismos diferentes, pero el deterioro y erosión del muro se debe principalmente a la lluvia impulsada por el viento, la absorción del suelo circundante y la humedad del ambiente:(Hall, Lindsay y Krayenhoff, 2012).

- ✓ Lluvia impulsada por el viento

El tapial con un contenido elevado de agua disminuye su cohesión interna y se vuelve más vulnerable a la erosión, es por eso que, para la misma cantidad de agua, una lluvia fuerte pero corta es menos erosiva que la lluvia prolongada (Heathcote, 1995). En este último caso, el agua tiene más tiempo para penetrar el material, lo que reduce su resistencia a la erosión. Este efecto es más dañino

que el aumento de la energía cinética de las gotas de lluvia incidentales. La energía cinética de las gotas de lluvia incidentales depende en primer lugar de la intensidad de la lluvia (cuanto más fuerte es la fuerza con la que las gotas de lluvia golpean el muro, más se erosiona) y, en segundo lugar, del ángulo de la lluvia. El ángulo en el que las gotas de lluvia golpean la superficie del tapial está determinado por la velocidad del viento. Si no hay viento, las gotas de lluvia caerán verticalmente y no habrá erosión. La energía cinética es máxima para un ángulo de 90° , pero se favorecerá la erosión para un ángulo de impacto más bajo gracias al efecto de excavación (Ver fig.21). (Hall, Lindsay y Krayenhoff, 2012).

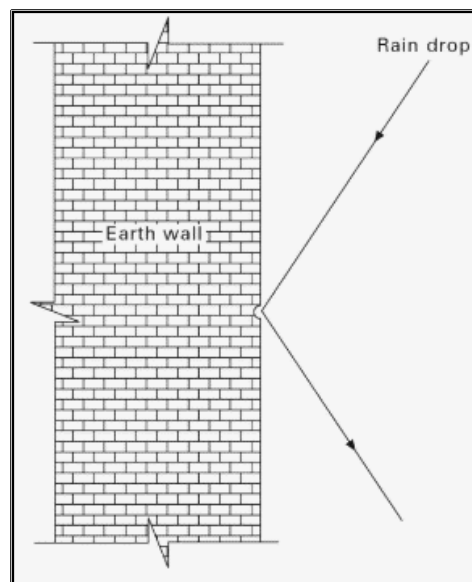


Figura 21.-Efecto de la lluvia en el tapial

✓ Absorción del suelo circundante

Se da cuando el agua se transporta a través de los poros del muro debido a la atracción intermolecular que existe entre el agua y las partículas sólidas de la tierra, afectando la parte inferior del muro. (Science Encyclopedia,2011).

✓ Humedad

Las variaciones de humedad originan dilataciones y contracciones, que afectan en mayor medida a muros de mayor longitud.

2.2.4 Técnicas Constructivas antisísmicas de Tapial

El tapial debido a su gran masa, fisuras producidas por la contracción de secado, debilidad de sus juntas de construcción y por la pobre conexión entre muros ortogonales; resulta ser vulnerable a las acciones sísmicas (ININVI, 1989). Es por ello que se han realizado considerables estudios que buscan reducir la fragilidad de esta técnica constructiva ante los eventos sísmicos.

➤ Estabilización por la forma geométrica

Debido a que los muros delgados son débiles a los impactos horizontales perpendiculares; Gernot Minke propone una solución simple de estabilización mediante la forma angular; es decir; elementos de muro en forma de L, T, U, X, Y o Z que solo por su forma proveen resistencia al volcamiento y al colapso. Las fuerzas perpendiculares al muro se transfieren a la sección del muro paralela a las mismas y debido a que las fuerzas se concentran en la esquina del ángulo, este tiende a abrirse, por ello es recomendable diseñarlas con un espesor mayor a la del resto del elemento evitando el ángulo recto, como se puede ver en la figura 22. Esta es una solución sencilla especialmente para la técnica del tapial (Gernot Minke, 2005).

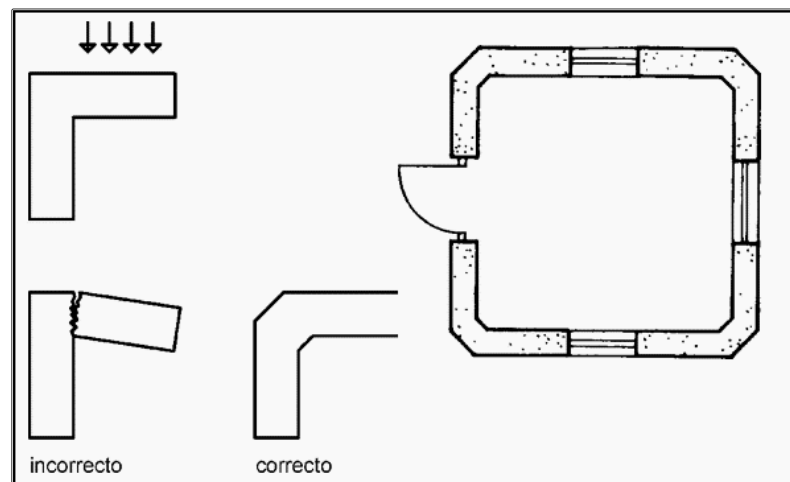


Figura 22.-Forma de un ángulo peligroso y de uno mejorado

➤ **Estabilización mediante refuerzos internos**

Otra solución que propone Gernot Minke para obtener una estructura más flexible y estabilizar los muros de tapial contra los impactos horizontales del sismo es utilizar elementos verticales de madera o bambú dentro del muro, anclados con el sobrecimiento y fijados al encadenado o viga solera.

Este sistema de paneles de tapial reforzados con bambú se desarrolló en 1978 como parte de un proyecto de investigación en el FEB, y se implementó exitosamente en Guatemala con la Universidad de Francisco Marroquín (UFM) y el Centro de Tecnología Apropiada (CEMAT).

En este proyecto se construyeron elementos de 80 cm de largo y de un piso de altura, de tapial reforzado con bambú utilizando un encofrado de metal en forma de T de 80 cm de largo, 40 cm de altura y 14 a 30 cm de espesor, ver fig.23. La estabilidad de los elementos se obtuvo con 4 varillas de bambú de 2 a 3 cm de espesor y la sección T. Estos elementos se fijaron en la base a un encadenado de bambú dentro de un zócalo de mampostería de piedra (hormigón ciclópeo) y en la parte superior a un encadenado de bambú rectangular.



Figura 23.-Paneles de tapial reforzado con bambú

Debido a la nervadura integrada al elemento, este sistema tiene aproximadamente cuatro veces más resistencia a los impactos horizontales que un muro de 14 cm de espesor. Luego del secado aparecieron grietas verticales de 2 cm de espesor entre los elementos, estas se rellenaron posteriormente con barro y actúan como juntas de fallo prediseñadas permitiendo un movimiento independiente a cada elemento durante el sismo. Esto significa que estas juntas pueden abrirse y que toda la estructura se deforma (disipando la energía cinética sísmica) sin que la unidad del muro se quiebre o colapse. Las columnas sobre las que descansa la cubierta se ubicaron a 50 cm del muro hacia el interior, de manera tal que la estructura de la cubierta fuera independiente del sistema de muros. (Gernot Minke, 2005).

➤ **Estabilización mediante sistema tapial postensado**

Inspirados por los estudios sobre viviendas antisísmicas de tierra propuesto por Gernot Minke (2008); Barros e Imhoff en su artículo “Resistencia sísmica del suelo-cemento postensado en construcciones de baja complejidad geométrica” presentan el desarrollo y evaluación de un sistema a base de tierra cruda, que ofrece mejorar la sismorresistencia dentro de un rango aceptable (0.8g.). La Hipótesis de su trabajo consistió en insertar en el alma del muro unos tubos de plástico común y corriente, por los cuales corren hilos de acero (Ver fig.24). Luego, se coronó con un tablón que cumple la función de una viga perimetral o solera, el hilo pasa a través del tablón con una arandela y una vez que el muro está terminado se le da tensión a través de esta varilla de acero.

La primera etapa de su investigación consistió en encontrar el porcentaje óptimo de humedad (12%) para conseguir la máxima densidad compactada seca (1.979 gr/cm³). Conociendo que con un 12% de agua lograban la máxima densidad seca procedieron a analizar la implementación de distintos porcentajes de cemento portland en la mezcla de tierra; 6, 8 y 10% en peso. Con la elaboración de probetas encontraron que el porcentaje ideal de cemento es de 10%, alcanzando una resistencia a la compresión de 56.33 kgf/cm².

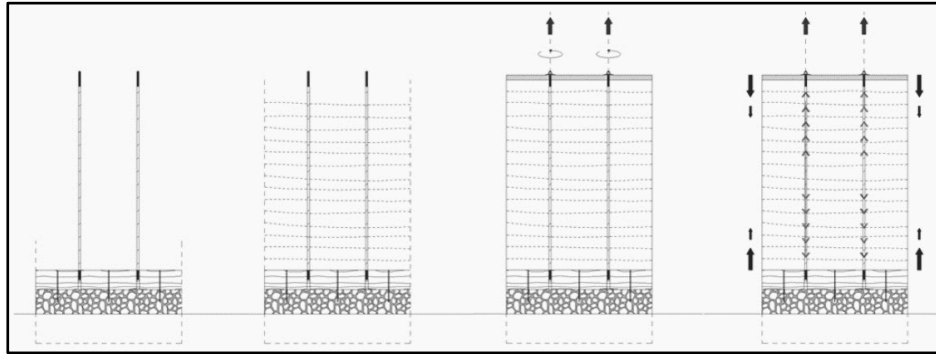


Figura 24.-Proceso constructivo del sistema postensado

Para poder realizar una comparación, desarrollaron un prototipo de adobe y otro de tapial suelo cemento postensado (Ver fig.25 y 26). Ambos modelos fueron ensayados bajo los parámetros del terremoto de Kobe, Japón ocurrido en 1995. El cual tuvo una magnitud entre 6.9 y 7.3 en la escala de Richter y causó mucho daño, sobre todo a las construcciones de tierra, debido a su rápida y fuerte aceleración (0.8g).



Figura 25.-Prototipo de adobe durante el ensayo en la mesa de simulación de terremotos

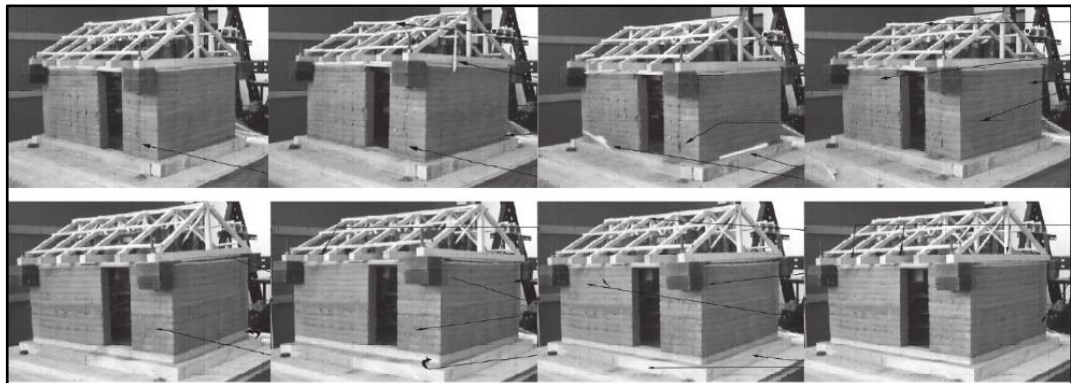


Figura 26.-Prototipo de tapial postensado durante el ensayo en la mesa de simulación de terremotos

2.2.5 *Cordia lutea* Lam

Es un Arbusto-árbol de hasta 4 m de altura, con muchas ramas desde la base por encima del suelo. Su tallo es verde oscuro y áspero. Tiene hojas medianas a grandes de color verde claro, aterciopeladas. Posee flores grandes de color amarillo, en forma de campanas, de 10 a 40 flores por grupo (Ver fig.27). Su fruto es una baya de color blanca a veces crema de 1–2 cm y alberga en su interior una única semilla de color marrón claro que cuando está maduro tiene pulpa blanca mucilaginosa muy pegajosa y altamente viscosa.

Este arbusto pertenece a la familia Boraginaceae y es nativa de Bolivia, Ecuador, islas. Galápagos y Perú. Crece en bosque seco; bordes de campos de cultivo. (Whaley, Orellana, Pérez, Tenorio, Quinteros, Mendoza y Pecho,2010).

Estudios realizados al fruto informan que el mucilago contenido en el fruto es una red de polisacáridos que se comportan como un líquido pseudoplástico (Fluido No Newtoniano) y contiene excelentes propiedades adhesivas. (Troncoso, Zamora y Torres,2017).



Figura 27.-Arbusto *Cordia Lutea*

2.3 Definiciones conceptuales

Aditivos naturales. -. Materiales naturales como la paja y la arena gruesa, que controlan las fisuras que se producen durante el proceso de secado rápido. (Norma E. 0.80, 2017).

Arena fina.- Es un componente inerte, estable en contacto con agua y sin propiedades cohesivas, constituido por partículas de roca con tamaños comprendido entre 0.08 mm y 0.50 mm. Como el limo puede contribuir a lograr una mayor compacidad del suelo, en ciertas circunstancias. (Norma E. 0.80, 2017).

Boraginaceae. - son árboles, con troncos rectos y copas bien definidas, pero otras especies pueden ser hierbas o arbustos. Entre sus subfamilias tenemos: Cordioideae, Ehretioideae, Heliotropioideae y Boraginoideae. (Biodiversidad Mexicana,2010).

Enlace-puente de hidrógeno. - Un puente de hidrógeno es una atracción dipolo-dipolo entre moléculas. (Textos científicos,2006).

Equipo de Frecuencia de resonancia. -Es un equipo no destructivo que permite determinar las frecuencias de resonancia longitudinal, torsional y de flexión o transversal de una variedad de materiales. También permite hallar el módulo de elasticidad. (NDT James Instruments,2018).

Grupo Hidroxilo. - El grupo hidroxilo es un grupo funcional que consiste en un átomo de hidrógeno unido a un átomo de oxígeno . El grupo hidroxilo se denota por -OH en estructuras químicas y tiene una carga de valencia de -1. El radical hidroxilo es muy reactivo, por lo que reacciona rápidamente con otras especies químicas. Debido a la polaridad que brinda a la molécula le permite fácilmente la formación de enlaces de hidrógeno logrando que estas sean solubles en el agua. (Helmenstine,2018).

Índice de plasticidad (IP). - Es el rango de contenido de humedad sobre el cual aún suelo se comporta plásticamente. Numéricamente es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico. (NTP 339.129:1999).

Límites de Atterberg. – Llamados también "límites de consistencia" de suelos de grano fino. Albert Atterberg definió seis límites: el límite superior de flujo viscoso, el límite líquido, límite de pegajosidad, el límite de cohesión, el límite plástico, y el límite de contracción. En ingeniería se usan frecuentemente el límite líquido, el límite plástico, y en algunas referencias el límite de contracción. (Norma Técnica Peruana, NTP 339.129:1999).

Límite líquido. - Es el contenido de humedad, expresado en porcentaje para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico. Arbitrariamente se designa como el contenido de humedad al cual el surco separador de dos mitades de una pasta de suelo se cierra a 10 largo de su fondo en una distancia de 13 mm (112 pulg) cuando se deja caer la copa 25 veces desde una altura de 1 cm a razón de dos caídas por segundo. (NTP 339.129:1999).

Límite plástico. - Es el contenido de humedad, expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados plástico y semisólido. Arbitrariamente se designa como el contenido de humedad más bajo al cual el suelo puede ser roloado en hilos de 3,2 mm. (118 pulg) sin que se rompan en pedazos. (NTP 339.129:1999).

Mucílago. Un mucílago es técnicamente un polisacárido ramificado heterogéneo, es decir, un compuesto por múltiples monómeros monosacáridos diferentes que normalmente se encuentra en los brotes, hojas y frutos de muchas especies de árboles. (Veterinary Herbal Medicine, 2007).

Polaridad. - La polaridad es una propiedad de las moléculas que representa la separación de las cargas eléctricas dentro de la molécula, según el número y tipo de enlaces que posea. (Cedrón, Landa y Robles,2011).

Tierra. -. Material de construcción compuesto de cuatro componentes básicos: arcilla, limo, arena fina y arena gruesa. (Norma E. 0.80, 2017).

2.4 Hipótesis

Si utilizamos el 10% de goma natural de *Cordia Lutea* en la producción del tapial en el centro poblado Cungunday, distrito de Charat, entonces su resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad aumentarán en 20% y la Succión disminuirá en 15%.

2.5 Variables

Tabla 1.-Operacionalización de las variables

TIPO DE VARIABLE	VARIABLE	INDICADORES	SUB-INDICADORES	INDICES	TÉCNICAS
Variable Independiente	Porcentaje de goma natural de <i>Cordia Lutea</i>	Contenido óptimo de goma natural que mejore las propiedades del tapial	-	%	Ensayos físicos y mecánicos
	Resistencia a la compresión	Esfuerzo máximo admisible que soporta el tapial	Esfuerzo admisible supera el valor establecido por la norma E0.80:2017	kg/cm ²	Ensayo de resistencia a la compresión según norma E 0.80:2017
Variable Dependiente	Módulo de elasticidad	Relación de esfuerzo y deformación Unitaria	Esfuerzo admisible supera el valor establecido por la norma E0.80:2017	kg/cm ²	Ensayo de Frecuencia de resonancia
	Succión	Cantidad de agua absorbida por el tapial en 1 minuto	Peso de tapial en estado seco y en estado húmedo	gr/200/cm ² /min	Ensayo de Succión según norma NTP 339.613:2005

Fuente: Elaboración propia

III. METODOLOGIA EMPLEADA

3.1 Tipo y nivel de investigación

Investigación Experimental

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

Se pretende analizar las propiedades del tapial común que se utiliza en la construcción y también haciendo uso de la goma natural de Cordia Lutea. Entonces las construcciones de tierra del centro poblado Cungunday, distrito de Charat, provincia de Otuzco conformarían nuestra población.

3.2.2 Muestra

Se realizaron 100 especímenes de tierra compactada o tapiales, de diferentes dimensiones y diferentes porcentajes de mucilago. Se establecieron tres grupos:

- 1er grupo: Dimensiones de 15cmx10cmx6cm
- 2do grupo: Dimensiones de 15cmx10cmx10cm
- 3er grupo: Dimensiones de 15cmx10cmx15cm

Tabla 2.-Muestras requeridas para elaboración de ensayos

GRUPO	UNIDADES DE 0%	UNIDADES DE 5%	UNIDADES DE 10%	UNIDADES DE 20%	SUBTOTAL
1er Grupo:Erosión y Succión	10	10	10	10	40
2do Grupo:Resistencia del material a compresión	5	5	5	5	20
3er Grupo:Resistencia a compresión del Tapial	10	10	10	10	40
TOTAL					100

Fuente: Elaboración propia

3.3 Técnicas e instrumentos de investigación

Tabla 3.-Técnicas e instrumentos para cada ensayo

DESCRIPCIÓN	ENSAYOS	NORMA	INSTRUMENTOS
Caraterización del material	Análisis Granulométrico	NTP 400.012:2001	Tamices, balanza, horno
	Contenido de humedad	NTP 339.127.1998	Balanza de sensibilidad 0.1g. Horno o estufa, recipientes.
	Límites de Atterberg	NTP 339.129:1999	Copa de casagrande, acanalador, placa de vidrio, tamiz, recipiente.
	Clasificación de suelos (Sucs)	NTP 339.134:1999	Tamices, balanza.
Elaboración Tapial	Ensayo de Compactación	NTP 339.141:1999	Molde cilindrico de 4", pisón, balanza, recipiente.
Ensayos físicos y mecánicos	Resistencia del material a compresión	E 0.80:2017	Equipo de ensayo
	Resistencia del tapial a compresión	E 0.80:2017	Equipo de ensayo
	Resistencia a la compresión Diagonal	E 0.80:2017	Anillo de fuerza
	Módulo de Elasticidad	—	Equipo de resonancia
	Succión	NTP 339.613:2005	Bandeja o recipiente, soportes, balanza, horno
	Erosión acelerada Swinburne(SAET)	UNE 41410:2008	Equipo de ensayo, varilla de 3mm de diámetro.

Fuente: Elaboración propia

3.3.1 Ensayo de laboratorio: caracterización del material

➤ Análisis Granulométrico por tamizado

- Norma Utilizada: NTP 400.012:2001
- Objeto: Determinación cuantitativa de la distribución de tamaño de partículas de los suelos.
- Aparatos:
 - Balanzas
 - Tamices
 - Horno
 - Agitador Mecánico de Tamices
- Procedimiento

Mezclar completamente la muestra y reducirla a la cantidad necesaria para realizar el ensayo.

Secar la muestra a peso constante a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Eliminar los terrones en partículas pequeñas.

Encajar los tamices en orden de abertura decreciente desde la tapa hasta el fondo y colocar la muestra sobre el tamiz superior. Limitar la cantidad de material sobre el tamiz utilizado de tal manera que todas las partículas tengan la oportunidad de alcanzar la abertura del tamiz un número de veces durante la operación de tamizado. Agitar los tamices manualmente o por medio de un aparato mecánico por un periodo suficiente. (NTP 400.012,2001).
- Calcular

Calcular el porcentaje que pasa, los porcentajes totales retenidos, o los porcentajes sobre cada tamiz, aproximando al 0,1% más cercano de la masa seca inicial de la muestra.

Para determinar el módulo de fineza, se suma el porcentaje acumulado retenido de material de cada uno de los siguientes tamices (porcentaje acumulado retenido) y dividir la suma entre 100. (NTP 400.012,2001)

➤ Contenido de Humedad

- Norma Utilizada: NTP 339.127:1998
- Objeto: Determinación la humedad o contenido de humedad de un suelo.
- Aparatos:
 - Balanzas
 - Recipientes
 - Horno
- Procedimiento
 - Determinar y registrar la masa de un contenedor limpio y seco.
 - Seleccionar especímenes de ensayo representativos.
 - Colocar el material húmedo en un recipiente y determinar el peso.
 - Registrar este valor y luego dejarlo en el horno durante 24 horas a temperatura de 110 C°.
 - Luego que el material se haya secado se deberá dejar enfriar para luego poder determinar el peso del recipiente y el material secado al horno. (NTP 339.127,1998)
- Cálculos
 - Se calcula el contenido de humedad de la muestra, mediante la fórmula siguiente:

$$w = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso del suelo seco al horno}} \times 100$$

$$w = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

w = Contenido de humedad, [%]

M_{cws} =Peso del recipiente más el suelo húmedo, [g.]

M_{cs} =Peso del recipiente más el suelo secado en horno, [g.]

M_c =Peso del recipiente, [g.]

M_w =Peso del agua, [g.]

M_s =Peso de partículas sólidas, [g.]

➤ Límites de Atterberg:

- Norma Utilizada: NTP 339.129:1999
- Objeto: Determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de una muestra de suelo.
- Aparatos:
 - Dispositivo de limite liquido
 - Base
 - Acanalador
 - Horno
 - Balanza con aproximación de 0,01 g.
 - Placa de vidrio
 - Recipientes
 - Espátula
- Procedimiento

A la muestra se le remueve cualquier material retenido en el tamiz 425 p.m. (No 40). El límite líquido se determina realizando pruebas en las cuales se esparce una porción de la muestra en una copa de bronce, dividida en dos por un ranurador, y luego permitiendo que fluya debido a los impactos causados por las repetidas caídas de la copa en un dispositivo mecánico estándar (Ver fig. 28). Se requiere realizar tres o más pruebas sobre un rango de contenidos de humedad y graficar o calcular la información de las pruebas para establecer una relación a, partir de] a cuál se determine el límite líquido. (NTP 339.129,1999).

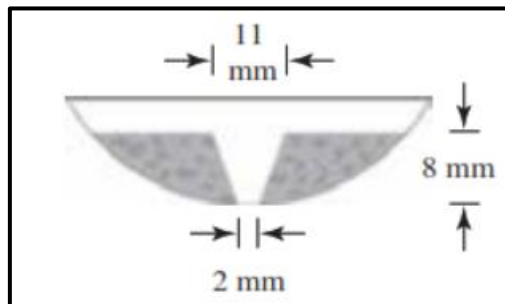


Figura 28.-Porción de muestra dividida por un ranurador

El límite plástico se determina presionando y enrollando alternadamente a un hilo de 3,2 mm. de diámetro (114 pulg), una porción pequeña de suelo plástico hasta que su contenido de humedad se reduzca hasta el punto en que el hilo se quiebre y no pueda ser más presionado y reenrollado. El contenido de humedad del suelo en este punto se reporta como el límite plástico. (NTP 339.129,1999).

- Cálculos

Para hallar el límite líquido se debe representar la relación entre el contenido de humedad, y el número de golpes correspondiente de la copa sobre un gráfico semilogarítmico con el contenido de humedad como ordenada sobre la escala aritmética, y el número de golpes como abscisa en escala logarítmica. Trazar la mejor línea recta que pase por los tres o más puntos graficados. Tomar el contenido de humedad correspondiente a la intersección de la línea con la abscisa de 25 golpes como el límite líquido del suelo. (NTP 339.129,1999).

El límite plástico se determina hallando el promedio de los dos contenidos de humedad.

El Índice de plasticidad se calcula de la siguiente manera:

$$IP = LL - LP$$

Donde:

IP: Índice de plasticidad

LL: Limite liquido

LP: Limite plástico

➤ Clasificación de suelos (SUCS):

- Norma Utilizada: NTP 339.134:1999
- Objeto: Clasificación de suelos minerales y orgánicos con propósito de ingeniería, basado en la determinación en el laboratorio de las características de granulometría, limite liquido e índice plástico.

Este sistema de clasificación identifica tres grandes divisiones de suelos: Suelos de grano grueso, grano fino y suelos altamente orgánicos. (NTP 339.134,1999)

- Aparatos

Además de los equipos que pueden ser necesario para obtener y preparar la muestra, es importante el uso de una carta de plasticidad (Ver fig.29) y una curva de distribución acumulativa del tamaño de las partículas (Ver fig. 30).

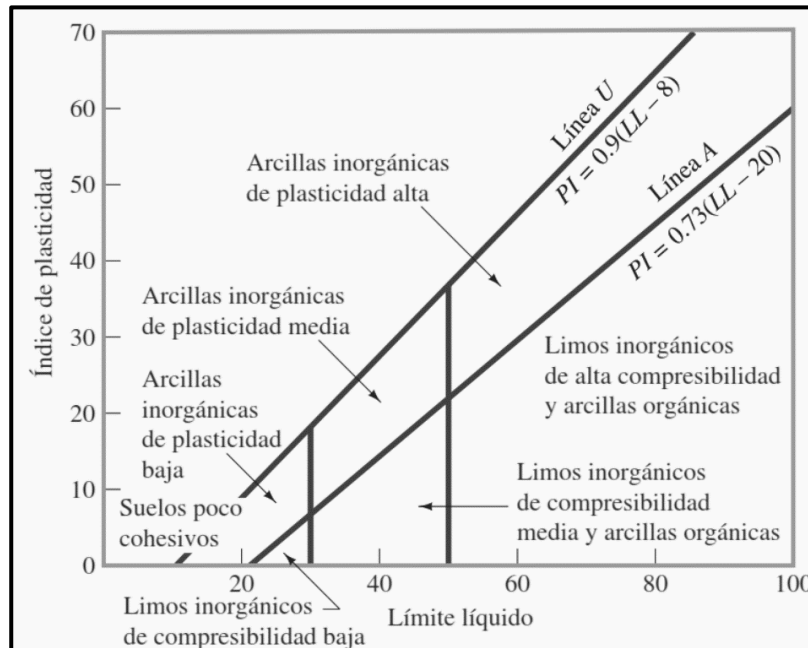


Figura 29.-Carta de Plasticidad

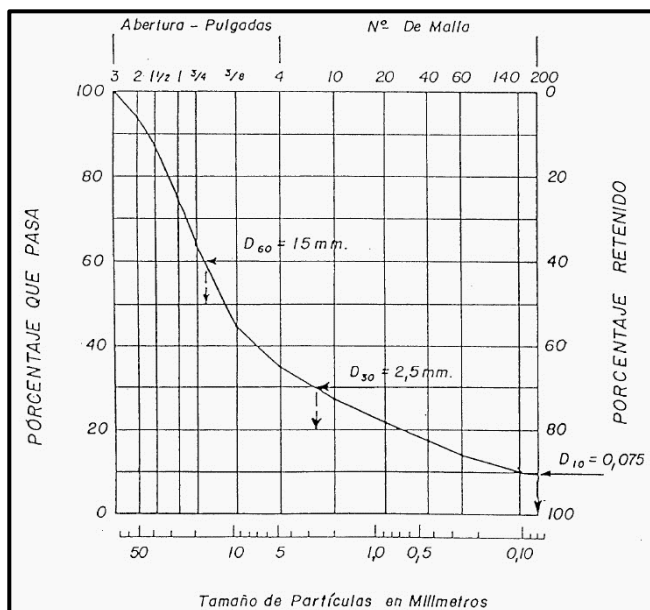


Figura 30.-Curva de distribución acumulativa del tamaño de partículas

- Procedimiento

Antes de iniciar con la clasificación del material, se determinará primero la curva granulométrica que pasa el tamiza 3pulg. (75mm) y sus características de plasticidad.

Luego haciendo uso de la figura 31 determinar qué tipo de suelo es el material. (NTP 339.134,1999)

DIVISIONES PRINCIPALES			Símbolos del grupo	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO	
SUELOS DE GRANO GRUESO Más de la mitad del material retenido en el tamiz número 200	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz número 4 (4,76 mm)	Gravas limpias (sin o con pocos finos)	GW	Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	<p>Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue:</p> <ul style="list-style-type: none"> <5% - >GW, GP, SW, SP. >12% - >GM, GC, SM, SC. 5 al 12% - >casos límite que requieren usar doble símbolo. 	
		Gravas con finos (apreciable cantidad de finos)	GP	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.		
		Gravas con finos (apreciable cantidad de finos)	GM	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.		
			GC	Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.		
	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (4,76 mm)	Arenas limpias (pocos o sin finos)	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		
			SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		
		Arenas con finos (apreciable cantidad de finos)	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.		
			SC	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.		
			Limos y arcillas: Límite líquido menor de 50	ML		Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosa, o limos arcillosos con ligera plasticidad.
				CL		Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.
Limos y arcillas: Límite líquido mayor de 50	OL	Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.				
	MH	Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.				
	CH	Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.				
	OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.				
Suelos muy orgánicos			PT	Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.		

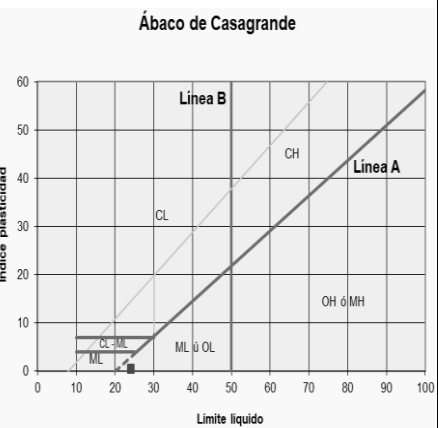


Figura 31.-Clasificación de suelos (SUCS)

3.3.2 Elaboración de Tapial

Para la realización de los tapiales es fundamental determinar primero el contenido de humedad y densidad máxima seca del material. Teniendo estos datos se podrá fabricar los tapiales variando el porcentaje de mucílago.

➤ Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2,700 kN-m/m³ (56,000 pie-lbf/pie³)).

- Norma Utilizada: NTP 339.141:1999
- Objeto: Determinar las relaciones entre el contenido de agua y el peso unitario seco de los suelos (curva de compactación) compactada en un molde con un diámetro de 101.6 o 152.4 mm (4 o 6 pulg) con un pisón de 44.5-N (lbf) que cae a una altura de 457 mm (18 pulg) produciendo un esfuerzo de compactación de (2,700 kN-m/m³ (56,000 pie-lbf/pie)).

- Procedimiento

La masa necesaria para los procedimientos A y B es aproximadamente 16 kg (35 lb) mientras que para el método C aproximadamente de 29 kg (65 lbm) del suelo seco.

Luego se debe determinar el porcentaje del material retenido en el tamiz N° 4 (4,75 mm), 9,5 mm (3/8 pulg) o 19,0 mm (3/4 pulg) y seleccionar el procedimiento A, B o C (Ver tabla 4)

Preparar cinco especímenes de aproximadamente 2.3 kg cada uno si el procedimiento a emplear es A y B de lo contrario se utilizará 5.9 kg por espécimen y agregar un contenido de agua lo más cerca al óptimo. Un espécimen que tiene un contenido de agua cerca al óptimo debe ser preparado primero, añadiendo al cálculo agua y mezcla. Seleccione contenidos de agua para el resto de los especímenes que varíen alrededor del 2 %. Dejar curando las muestras. (NTP 339.141,1999).

Tabla 4.-Procedimientos de ensayo Proctor Modificado

Elemento	Procedimientos de ensayo Proctor Modificado		
	Procedimiento A	Procedimiento B	Procedimiento C
Molde	4 pulgadas	4 pulgadas	6 pulgadas
Diametro de molde	101.6 mm	101.6 mm	152.4 mm
volumen del molde	944 cm ³	944 cm ³	2124 cm ³
Peso del martillo	4.54 kg(10lb)	4.54 kg(10lb)	4.54 kg(10lb)
Altura de caída del martillo	457.2 mm	457.2 mm	457.2 mm
Número de capas	5	5	5
Número de golpes por capa	25	25	56
Energía de compactación	2700 KN-m/m ³	2700 KN-m/m ³	2700 KN-m/m ³
Uso	Se utiliza, si la mallaN° 4 (4,75 mm) retiene el 20 % o menos del peso del material.	Se utiliza, si el tamiz N"4 (4,75 mm) retiene más del 20 % en peso del material y el tamiz de 9,5 mm (3/8 pulg) retiene el 20 % o menos en peso del material.	Se utiliza si el tamiz 9,53 mm (3/8 pulg.) retiene más del 20 % en peso del material y el tamiz 19,0 mm (3/4 pulg.) retiene menos del 30 % en peso del material.

Fuente: Elaboración propia

Para realizar la compactación de los especímenes lo primero que se debe realizar es registrar el peso del plato base y molde de 4" o 6" según sea el procedimiento A, B o C a seguir. Luego ensamblar el collarín y agregar la primera capa de material para la compactación. Repetir el proceso hasta culminar las 5 capas necesarias, retirar el collarín y enrasar. Determinar y registrar la masa del suelo compactado con aproximación al gramo. (NTP 339.141,1999).

Remover el material del molde y obtener una muestra representativa de aproximadamente 500g para el contenido de humedad.

- Cálculos

Calcular el contenido de agua de cada espécimen compactado según la Norma Técnica Peruana 339. 127. Calcular el peso unitario seco con las siguientes ecuaciones:

$$\rho_m = 1000(M_t - M_{md})/V$$

Donde

ρ_m = Densidad húmeda del espécimen compactado [Mg/m^3]

M_t = Masa del espécimen y molde, [kg]

M_{md} = Masa del molde compactado, [kg]

V = Volumen del molde de compactación, [m^3]

$$\rho_d = \rho_m(1 + w/100)$$

Donde

ρ_d = Densidad seca del espécimen compactado, [Mg/m^3]

w = Contenido de agua, [%]

$$\gamma_d = 62.43\rho_d \text{ en } lbf/ft^3$$

$$\gamma_d = 9.807\rho_d \text{ en } KN/m^3$$

Donde

γ_d = Peso unitario seco del espécimen compactado

Plotear los valores y dibujar la curva de compactación como una curva llana a través de los puntos. Plotear también el peso unitario seco con aproximación a 0,2 kN/m³ (0,1 lbf/ft³) y el contenido de agua lo más cerca al 0,1 %. En base a la curva de compactación, determine el contenido de agua óptimo y el peso unitario seco máximo. (NTP 339.141,1999).

Plotear la curva del 100% de saturación o curva de relación de vacíos cero del peso unitario seco. Los valores del contenido de agua para un 100% de saturación se calculan utilizando las siguientes ecuaciones:

$$w_{sat} = \frac{(\gamma_w)G_s - \gamma_d}{(\gamma_d)(G_s)} \times 100$$

Donde

w_{sat} =Contenido de agua para una completa saturación, [%].

γ_w =Peso unitario del agua, $62.43 \text{ lbf}/\text{pie}^3$, $9.807 \text{ KN}/\text{m}^3$.

ρ_m =Peso unitario seco del suelo.

G_s =Gravedad específica del suelo.

➤ **Elaboración de Tapiales con Mucilago de Cordia Lutea**

Se realizaron 25 tapiales para cada porcentaje de 0%,5%,10% y 20% de mucilago de Cordia Lutea.

3.3.3 Ensayos Físicos y mecánicos

➤ **Resistencia del material de tierra a compresión**

- Norma Utilizada: E 0.80 :2017
- Objeto: Medir la Resistencia del material tierra a la compresión
- Aparatos:
Equipo de ensayo
- Procedimiento

El ensayo se realiza conforme al procedimiento siguiente:

La resistencia se mide mediante el ensayo de compresión del material en cubos de 0.1 m de arista.

Las muestras de tapial deben cumplir con que el promedio de las cuatro mejores muestras sea igual o mayor a la resistencia última indicada. (E 0.80 ,2017).

- Calcular

La resistencia se calcula conforme a la expresión siguiente:

$$C = W/A$$

Donde:

C=Resistencia a la compresión del espécimen, [MPa]

W=Máxima carga, indicada por la máquina de ensayo, [N]

A=Promedio del área bruta de las superficies de contacto superior e inferior del espécimen, [mm^2].

La resistencia última que debe presentar el material de tierra según la norma es de:

$$f_u = 1.0 \text{ MPa} = 10.2 \text{ kgf/cm}^2$$

➤ Resistencia del tapial a la compresión

- Norma Utilizada: E 0.80 :2017
- Objeto: Medir la Resistencia de los muretes de tapial a la compresión.
- Aparatos:

Equipo de ensayo

- Procedimiento

El ensayo se realiza conforme al procedimiento siguiente:

Después de 28 días de secado, los 6 muretes elaborados se deben ensayar.

La resistencia promedio de las cuatro mejores muestras deberán ser igual o mayor a la resistencia última. (E 0.80 ,2017)

- Calcular

La resistencia se calcula conforme a la expresión siguiente:

$$C = W/A$$

Donde:

C=Resistencia a la compresión del espécimen, [MPa]

W=Máxima carga, indicada por la máquina de ensayo, [N]

A=Promedio del área bruta de las superficies de contacto superior e inferior del espécimen, [mm^2].

La resistencia última de los tapias según la norma es de:

$$f_u = 0.6 \text{ MPa} = 6.12 \text{ kgf/cm}^2$$

➤ Resistencia a compresión diagonal

- Norma Utilizada: E 0.80 :2017
- Objeto: Determinar la resistencia a compresión diagonal de los tapias
- Aparatos:
Equipo de ensayo
- Procedimiento
Los muretes deben cumplir con que el promedio de las cuatro mejores muestras deberá ser igual o mayor a la resistencia última. (E 0.80 ,2017)
- Calcular
La resistencia última de los tapias según la norma es de:

$$f_u = 0.025 \text{ MPa} = 0.25 \text{ kgf/cm}^2$$

➤ Ensayo de Módulo de elasticidad

- Objeto: Hallar el módulo de elasticidad de los muretes de tapia haciendo uso de un equipo no destructivo.
- Aparatos:
Equipo de Frecuencia de Resonancia (Ver fig.32)
- Procedimiento
Para realizar el ensayo de frecuencia de resonancia se utiliza un acelerómetro en miniatura como receptor y un conjunto de 6 bolas de acero endurecido que se utilizan para generas las vibraciones en la muestra por un impacto mecánico.
Para obtener la frecuencia de resonancia de la muestra, la señal recibida se analiza en un tiempo determinado y el espectrómetro de frecuencia se muestra en la pantalla del instrumento.

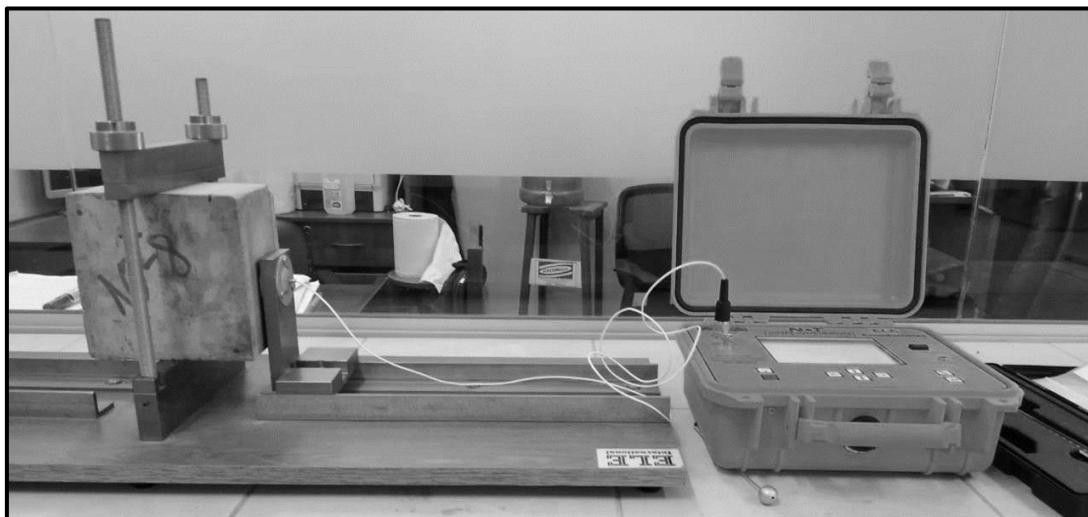


Figura 32.-Equipo de Frecuencia de Resonancia

➤ Ensayo de Succión

- Norma Utilizada: NTP 339.613:2005.
- Objeto: calcular el índice de Succión o tasa de absorción en un minuto.

- Aparatos:

Bandejas y recipientes.

Soportes para ladrillos

Dispositivos para mantener el nivel de agua constante.

Horno de secado

Balanza

- Procedimiento

Primero se debe pesar el espécimen con una aproximación de 0.5g, luego registrar el área del murete que estará en contacto con el agua.

Ajustar la posición de la bandeja, de manera tal que el fondo de la misma este nivelado, debiéndose comprobar con un nivel de burbuja y fijar el murete encima de los soportes. Agregar agua hasta que el nivel de la misma sea de $3\text{mm} \pm 0.25\text{ mm}$ sobre los soportes. Durante el periodo de contacto, $1\text{min} \pm 1\text{s}$, se mantendrá el nivel de agua entre los límites prescritos agregando agua si se requiere. Al final del tiempo de $1\text{min} \pm 1\text{s}$, retirar el espécimen y secar el agua superficial con un paño húmedo y volver a pesar el espécimen con aproximación de 0.5g.(NTP 339.613,2005).

- Calcular

La diferencia de pesos se calcula conforme a la expresión siguiente:

$$w = P_f - P_i$$

Donde:

w =Diferencia de pesos del espécimen, [g].

P_f =Peso después del periodo de contacto, [g].

P_i =Peso antes del periodo de contacto, [g].

La succión corregida del espécimen se calcula con la expresión siguiente:

$$x = 200w/LB$$

Donde:

x =Diferencia de pesos Corregida, [g/min/200 cm^2].

w =Diferencia de pesos del espécimen, [g].

L =Longitud del espécimen corregida, [cm].

B =Ancho del espécimen, [cm].

➤ Ensayo de Erosión Acelerada Swinburne (SAET)

- Norma Utilizada: UNE 41410:2008
- Objeto: calcular el índice de absorción en un minuto.
- Aparatos:

Equipo de ensayo

Varilla de $\varnothing 3mm$

- Procedimiento

Se deja caer una corriente de agua sobre el bloque durante 10 minutos a través de un tubo de $\varnothing_{interior} 5mm$, conectado a un tanque de agua de nivel constante. Cuya cabecera está a 1.5m sobre la cara del bloque. (Ver fig. 33). Este se mantiene inclinado a 27° respecto a la horizontal. Con una varilla de $\varnothing 3mm$ se mide la profundidad de las oquedades. (Norma UNE 41410,2008).

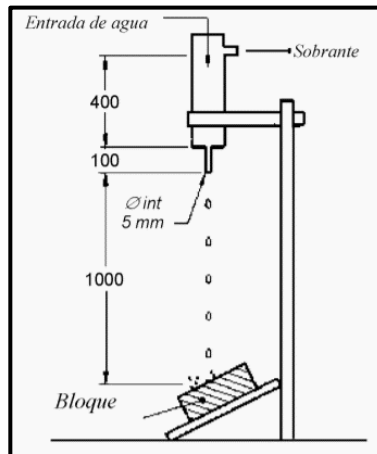


Figura 33.-Equipo para ensayo de Erosión Acelerada Swinburne (SAET)

- Calcular

Los criterios de aceptación o rechazo establecidos por la norma UNE 41410,2008 son los siguientes:

Se clasificará apto al tapial que cumpla con lo siguiente:

$$0 \leq D \leq 10$$

Donde:

D =Profundidad de la Oquedad, [mm].

Un tapial no apto será aquel que presente una profundidad de oquedad mayor a 10mm.

$$D > 10$$

Donde:

D =Profundidad de la Oquedad, [mm].

3.4 Diseño de Investigación

El presente estudio desarrollado es una Investigación Cuasi-Experimental ya que se determinó las propiedades físicas y mecánicas utilizando diferentes porcentajes de goma natural (*Cordia Lutea*). Aleatorio por bloque.

3.5 Procesamiento y análisis de datos

3.5.1 Ensayo de laboratorio: caracterización del material

El proceso inició con la obtención del material necesario para la fabricación de los tapiales en el centro poblado Cungunday (Charat). Se realizó los siguientes ensayos para conocer las características de suelo:

➤ Análisis Granulométrico por Tamizado

El material se dejó secar al aire libre durante tres días (Ver anexos). Luego se realizó el triturado y eliminación de partículas mayores a 1^{1/2}".

Haciendo uso del cuarteador mecánico se obtuvo una muestra representativa de todo nuestro material y se inició con el ensayo granulométrico (Ver anexos). Se pesó 8998 gramos y se procedió a pasarla por cada tamiz. Los tamices utilizados fueron:

Tabla 5 .-Tamices utilizados

TAMIZ	ABERTURA(mm)
1"	25.4
3/4"	19.1
1/2"	12.7
3/8"	9.52
N°4	4.75
N°8	2.36
N°10	2
N°16	1.18
N°20	0.85
N°40	0.43
N°60	0.25
N°100	0.15
N°200	0.07

Fuente: Elaboración propia

➤ Ensayo de Contenido de Humedad natural

Se analizaron tres muestras húmedas, cada uno con una masa de aproximadamente de 630 gr., las cuales se colocaron en un horno termostático a una temperatura de 110°C por un lapso de 24 horas. Cada muestra presentó una cantidad de agua de alrededor de 23 gr. A partir de estos datos obtenidos al realizar el ensayo en las tres muestras se determinó el porcentaje de humedad promedio utilizando la siguiente expresión:

$$w\% = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100$$

Donde:

M_{cws} = Masa del suelo húmedo + masa de recipiente

M_{cs} = Masa del suelo seco + masa de recipiente

M_c = Masa del recipiente.

➤ Límites de Atterberg

Limite Líquido. - Para el obtener los datos necesarios se utilizó el material que pasa el tamiz de 426 mm. (N°40). Fue preciso utilizar tres muestras con distintos contenidos de humedad; como se observa en la tabla 6; esto nos permite conocer que la cantidad de golpes necesarios para cerrar la acanaladura va disminuyendo conforme el contenido de humedad de la muestra aumenta. Percibiendo esta relación se pudo realizar una interpolación y obtener el contenido de humedad que corresponde a la frontera entre una consistencia plástica y líquida de la muestra.

Tabla 6.-Procesamiento de datos de Límite líquido

LÍMITE LÍQUIDO			
Nº CAPSULA	N9	6B	4B
PESO DE LA CAPSULA (gr)	17.57	18.93	18.58
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO (gr)	43.93	44.58	45.10
PESO CAPSULA + SUELO SECO (gr)	36.28	36.74	36.57
PESO DE AGUA (gr)	7.65	7.84	8.53
PESO DEL SUELO SECO (gr)	18.71	17.81	17.99
CONTENIDO DE HUMEDAD (gr)	40.89	44.02	47.42
NUMERO DE GOLPES	35	25	15

Fuente: Elaboración propia

Límite Plástico. - Fue necesario utilizar el material que pasa el tamiz de 426 mm (N°40); alrededor de 20 gr. Se dividió la muestra a la mitad para obtener dos datos del contenido de humedad mínimo para formar el cilindro de 3.2mm. de diámetro; con lo cual la media aritmética correspondió al límite plástico.

Tabla 7.- *Tabla de datos para el ensayo de Límite Plástico*

LÍMITE PLÁSTICO		
Nº CAPSULA	7B	5B
PESO DE LA CAPSULA(gr)	17.97	19.01
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO(gr)	27.38	28.00
PESO CAPSULA + SUELO SECO(gr)	25.68	26.40
PESO DE AGUA(gr)	1.70	1.60
PESO DEL SUELO SECO(gr)	7.71	7.39
CONTENIDO DE DE HUMEDAD(%)	22.05	21.65

Fuente: Elaboración propia

Con los datos obtenidos anteriormente se realizó la gráfica Porcentaje de contenido de humedad vs Número de golpes el cual nos permitió hallar el límite Líquido y límite Plástico del material ensayado.

3.5.2 Elaboración de Tapiales

➤ Proctor Modificado

Para iniciar con el ensayo se necesitó procesar los datos obtenidos del análisis granulométrico para escoger el procedimiento de compactación de acuerdo a la NTP 339.141:1999 Método A, Método B y C. (Ver tabla 8).

Tabla 8.-Datos de Análisis Granulométrico.

Abertura	(mm)	Peso (gr)	Pasante (gr)	Ret.(%)	Pasa(%)
1 1/2"	37.50	-			100.0
1"	25.40	318.0	8,680.0	3.53	96.5
3/4"	19.10	234.0	8,446.0	2.60	93.9
1/2"	12.70	472.0	7,974.0	5.25	88.6
3/8"	9.52	343.0	7,631.0	3.81	84.8
1/4"	6.35	-			
N° 4	4.75	917.0	6,714.00	10.19	74.6

Fuente: Elaboración propia

Los tamices a analizar son el 3/4", 3/8", N°4. (Ver tabla 9).

Tabla 9.-Procesamiento de datos obtenidos en Tamiz 3/4,3/8 y N° 4

TAMIZ	% PASA	% RETENIDO
3/4	93.90	6.10
3/8	84.90	15.20
N° 4	74.60	25.40

Fuente: Elaboración propia

Como el tamiz N°4 retiene más del 20% en peso del material y el tamiz 3/8" retiene menos del 20% en peso del material, el método a utilizar es el "B".

Luego se prepararon 5 muestras de material, cada uno de 2.5 kg. con diferentes porcentajes de agua. Teniendo en consideración que el contenido de humedad natural presente en el material es de 4.3%, los porcentajes de agua añadidos fueron 6%, 8% 10% y 12%.

Conociendo el volumen y peso del molde, 937.3 cm³ y 4147.1 gr. Respectivamente (Ver tabla 10), se inició el proceso de compactación, observando un incremento en el peso del suelo compactado cuando el porcentaje de agua añadida está cerca al 8%.

Tabla 10.-Características del Método B-Proctor
Modificado

DESCRIPCIÓN	ENSAYO DE COMPACTACIÓN
Volúmen del molde	937.3 cm ³
Peso del molde	4147.1 gr
Número de capas	5
Numero de golpes por capa	25
Método utilizado	B

Fuente: Elaboración propia

Los datos obtenidos en el ensayo, se organizaron en tablas y se calculó la densidad húmeda (Ver tabla 11), densidad seca (Ver tabla 12) y el contenido de humedad óptimo.

Tabla 11.-Determinación de la densidad húmeda

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD HÚMEDA				
ENSAYO N°	1	2	3	4
% Agua añadida	6.0%	8.0%	10.0%	12.0%
Peso del molde + Suelo. (gr)	6124	6218	6210	6172
Peso del molde. (gr)	4147	4147	4147	4147
Peso del suelo compactado.(gr)	1976.9	2070.9	2062.9	2024.9
γ Humeda. (gr/cm ³)	2.109	2.209	2.201	2.160

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12.-Determinación de contenido de humedad

DETERMINACION DE CONTENIDO DE HUMEDAD Y LA DENSIDAD SECA				
RECIPIENTE N°	18	19	23	24
Suelo humedo + Recipiente (gr)	234.40	122.10	105.30	122.40
Suelo seco + Recipiente (gr)	215.80	112.70	96.20	110.20
Peso del recipiente (gr)	28.20	38.10	39.10	38.90
Peso del agua (gr)	18.6	9.4	9.1	12.2
Peso del suelo seco(gr)	187.6	74.6	57.1	71.3
% De humedad sin corregir.	9.91	12.60	15.94	17.11
γ Seca sin corregir (gr/cm3)	1.919	1.962	1.898	1.845

Fuente: Elaboración propia

Estableciendo una relación entre el peso del suelo compactado húmedo y el volumen del molde se halló la densidad húmeda compactada. Se determinó también el contenido de humedad de cada muestra según la NTP 339.141,1999. Teniendo estos datos se pudo deducir la densidad seca compactada para cada contenido de humedad y graficar la relación existente entre estas dos variables.

➤ Fabricación de Tapiales

Para empezar con la elaboración de los tapiales se tuvo que decidir el número de capas. Según lo indicado en la norma E.080:2017, cada unidad de tapial se debe fabricar en capas de tierra de 0.15 m. de altura máxima, compactándolas hasta llegar a una altura de 0.10 m. aproximadamente (por cada capa), en un encofrado que tiene una altura máxima de 0.60m. Teniendo en consideración lo especificado se determinó compactar en 6 capas y entonces calcular el número de golpes por capa para cada grupo de tapial mediante la ecuación de energía de compactación. Ver tabla 13. La energía requerida en la compactación de los tapiales fue de 2700 KN-m/m³.

$$E_c = \frac{N*n*w*h}{V}$$

Donde

E_c =Energía de compactación [$Kg.cm/cm^3$].

N = Número de capas.

n = Número de golpes de compactación.

W =Peso del martillo, [Kg]

h = Altura de caída del martillo, [cm].

V =Volumen del suelo compactado, [cm^3].

Tabla 13.-Datos para la fabricación de las unidades de Tapial

Descripción	1er grupo (15cmx10cmx6cm)	2do grupo (15cmx10cmx10cm)	3er grupo (15cmx10cmx15cm)
Energía de compactación	27.52 Kg.cm/cm ³	27.52 Kg.cm/cm ³	27.52 Kg.cm/cm ³
Volumen del suelo compactado	900 cm ³	1500 cm ³	2250 cm ³
# de capas de suelo	6	6	6
Peso del martillo	4.54 Kg	4.54 Kg	4.54 Kg
Altura de caída del martillo	45.72 cm	45.72 cm	45.72 cm
# de golpes por capa	20	33	50

Fuente: Elaboración propia

3.5.3 Ensayos Físicos y mecánicos

➤ Ensayo de resistencia del material tierra a compresión

Los ensayos de laboratorio de esfuerzos de rotura mínimos para medir la Resistencia del material tierra a la compresión (ensayo de compresión en muestras de dimensiones 10x15x10cm. comprimidos con una energía de compactación de 2700 KN-m/m³) se pudo evaluar al mes de secado, se calculó la relación entre la carga de rotura y el área bruta de la sección transversal de los tapiales. Se organizaron los resultados en grupos de 5 tapiales, cada grupo con diferentes porcentajes de mucilago en su composición. Se cumple que el promedio de todas las muestras supera la resistencia ultima indicada en la Norma E.080:2017.

Conforme a la Norma E.080:2017, la resistencia última del material tierra a la compresión debe ser mayor a:

$$f_o = 10.2 \text{ Kg/cm}^2$$

Tabla 14 .-Procesamiento de datos, resistencia a compresión del material -0% Cordia I.

UNIDADES DE 0%					
GRUPO	DESCRIPCION	FUERZA (kgf)	f_o (kgf/cm ²)	Desviación Estandar (σ)	$\bar{f}_o - \sigma_{est}$
2do GRUPO- RESISTENCIA UNIDAD (area=150cm²)	0-1	7955.9	53	5	50 kg/cm ²
	0-2	8593.5	57		
	0-3	7153.4	48		
	0-4	9196.6	61		
	0-5	8339.7	56		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15.-Procesamiento de datos, resistencia a compresión del material -5% Cordia I.

UNIDADES DE 5%					
GRUPO	DESCRIPCION	FUERZA (kgf)	f_o (kgf/cm ²)	Desviación Estandar (σ)	$\bar{f}_o - \sigma_{est}$
2do GRUPO- RESISTENCIA UNIDAD (area=150cm²)	5-1	8443.4	56	4	56 kg/cm ²
	5-2	8893.3	59		
	5-3	9150.3	61		
	5-4	8678.9	58		
	5-5	9925.4	66		

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 16.-Procesamiento de datos, resistencia a compresión del material -10%
Cordia I.**

UNIDADES DE 10%					
GRUPO	DESCRIPCION	FUERZA (kgf)	f_o (kgf/cm ²)	Desviación Estandar (σ)	$\bar{f}_o - \sigma_{est}$
2do GRUPO- RESISTENCIA UNIDAD (area=150cm²)	10-1	10497.1	70	5	66 kg/cm ²
	10-2	10279.9	69		
	10-3	10751.2	72		
	10-4	11747.5	78		
	10-5	9808.4	65		

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 17.-Procesamiento de datos, resistencia a compresión del material -20%
Cordia I.**

UNIDADES DE 20%					
GRUPO	DESCRIPCION	FUERZA (kgf)	f_o (kgf/cm ²)	Desviación Estandar (σ)	$\bar{f}_o - \sigma_{est}$
2do GRUPO- RESISTENCIA UNIDAD (area=150cm²)	20-1	6989.4	47	1	46 kg/cm ²
	20-2	7092.1	47		
	20-3	7150.3	48		
	20-4	7371.5	49		
	20-5	6956.3	46		

Fuente: Elaboración propia

- Ensayo de resistencia a compresión en muretes de tapial (prismas rectangulares)

Los ensayos de laboratorio de esfuerzos de rotura mínimos para medir la Resistencia del murete a la compresión (ensayo de compresión en prismas rectangulares de dimensiones 15x10x15cm. comprimidos con una energía de compactación de 2700 KN-m/m³) se pudo evaluar al mes de secado, se calculó la relación entre la carga de rotura y el área bruta de la sección transversal de los tapias. Se organizaron los resultados en grupos de 5 prismas rectangulares, cada grupo con diferentes porcentajes de mucilago en su composición. Además, se tuvo en consideración un coeficiente de corrección por esbeltez, según la investigación realizada por Daniel Quiun (2005) (ver tabla 18) y los valores presentes en la Norma E.070 (para una esbeltez estándar E=5) (ver tabla 19), se observa que existe buena aproximación entre ambos grupos de valores.

Tabla 18.-Coeficientes de corrección por esbeltez por Daniel Quiun

E = h/t	1.3	1.5	2	2.5	3	4	4.5	5
Factor	0.7	0.71	0.74	0.79	0.84	0.93	0.97	1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19.-Coeficientes de corrección por esbeltez, según Norma E 0.70

E = h/t	2	2.5	3	4	4.5	5
Factor	0.73	0.8	0.91	0.95	0.98	1

Fuente: Elaboración propia

En las tablas siguientes se muestran los resultados del ensayo para calcular la resistencia a compresión de las primas rectangulares de tapial. El valor f_m ha sido calculado contemplando los coeficientes de corrección por esbeltez de la tabla 18.

Se cumple que el promedio de todas las muestras prismáticas supera la resistencia última indicada en la Norma E.080:2017.

Conforme a la Norma E.080:2017, la resistencia última de los muretes de tapial a la compresión debe ser mayor a:

$$f_o = 6.12 \text{ Kgf/cm}^2$$

**Tabla 20.-Esfuerzos resistentes a compresión en primas de tapial con 0%
Cordia Lutea**

UNIDADES DE 0%					
GRUPO	DESCRIPCION	FUERZA (kgf)	f_m (kgf/cm ²)	Desviación Estandar (σ)	$\bar{f}'_m - \sigma_{est}$
3er GRUPO- RESISTENCIA TAPIAL (area=150cm ²)	0-1	7677.1	36	3	34 kg/cm ²
	0-4	8829	42		
	0-8	7646.3	36		
	0-9	8175.5	39		
	0-10	6877.3	33		

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 21.-Esfuerzos resistentes a compresión en primas de tapial con 5%
Cordia Lutea**

UNIDADES DE 5%					
GRUPO	DESCRIPCION	FUERZA (kgf)	f_m (kgf/cm ²)	Desviación Estandar (σ)	$\bar{f}'_m - \sigma_{est}$
3er GRUPO- RESISTENCIA TAPIAL (area=150cm ²)	5-3	8206	39	1	39 kg/cm ²
	5-4	8386.8	40		
	5-5	8233.9	39		
	5-7	8664.1	41		
	5-10	8421.8	40		

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 22 .-Esfuerzos resistentes a compresión en primas de tapial con 10%
Cordia Lutea**

UNIDADES DE 10%					
GRUPO	DESCRIPCION	FUERZA (kgf)	f_m (kgf/cm ²)	Desviación Estandar (σ)	$\bar{f}'_m - \sigma_{est}$
3cer GRUPO- RESISTENCIA TAPIAL (area=150cm²)	10-1	10083.7	48	2	47 kg/cm ²
	10-3	9650.7	46		
	10-4	10388.4	49		
	10-6	10591.7	50		
	10-10	10903.3	52		

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 23.-Esfuerzos resistentes a compresión en primas de tapial con 20%
Cordia Lutea**

UNIDADES DE 20%					
GRUPO	DESCRIPCION	FUERZA (kgf)	f_m (kgf/cm ²)	Desviación Estandar (σ)	$\bar{f}'_m - \sigma_{est}$
3cer GRUPO- RESISTENCIA TAPIAL (area=150cm²)	20-2	7472.2	35	2	33 kg/cm ²
	20-4	7263.4	34		
	20-7	7009.3	33		
	20-8	7564	36		
	20-9	6765.7	32		

Fuente: Elaboración propia

- Ensayo de resistencia a compresión diagonal en muretes de tapial (prismas rectangulares)

Los ensayos de laboratorio para medir la Resistencia del murete a la tracción indirecta (ensayo de tracción indirecta en prismas rectangulares de dimensiones 10x15x15cm. comprimidos con una energía de compactación de 2700 KN-m/m³) se pudo evaluar al mes de secado, se organizaron los resultados en grupos de 5 prismas rectangulares, cada grupo con diferentes

porcentajes de mucilago en su composición. La resistencia se calculó mediante la expresión siguiente:

$$f'_t = \frac{P}{2Lt}$$

Para garantizar que el 84% de los especímenes ensayados tengan una resistencia mayor al valor característico, se consideró disminuir la desviación estándar de la muestra.

Tabla 24.-Esfuerzos resistentes a compresión diagonal en primas de tapial con 0% Cordia I.

UNIDADES DE 0%					
GRUPO	DESCRIPCION	FUERZA (kgf)	f_m (kgf/cm ²)	Desviación Estandar (σ)	$\bar{f}'_m - \sigma_{est}$
3cer GRUPO- RESISTENCIA TAPIAL (area=150cm ²)	0-7	482.87	1.61	0.21	1.61 kg/cm ²
	0-5	641.5	2.14		
	0-6	504.3	1.68		
	0-3	568.61	1.9		
	0-2	525.74	1.75		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25.-Esfuerzos resistentes a compresión diagonal en primas de tapial con 5% Cordia I.

UNIDADES DE 5%					
GRUPO	DESCRIPCION	FUERZA (kgf)	f_m (kgf/cm ²)	Desviación Estandar (σ)	$\bar{f}'_m - \sigma_{est}$
3cer GRUPO- RESISTENCIA TAPIAL (area=150cm ²)	5-1	594.34	1.98	0.13	1.82 kg/cm ²
	5-6	624.35	2.08		
	5-9	577.19	1.92		
	5-2	611.48	2.04		
	5-8	525.74	1.75		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26.-Esfuerzos resistentes a compresión diagonal en primas de tapial con 10% Cordia I.

UNIDADES DE 10%					
GRUPO	DESCRIPCION	FUERZA (kgf)	f_m (kgf/cm ²)	Desviación Estandar (σ)	$\bar{f}'_m - \sigma_{est}$
3cer GRUPO- RESISTENCIA TAPIAL (area=150cm²)	10-8	675.79	2.25	0.30	2.07 kg/cm ²
	10-5	641.5	2.14		
	10-7	761.54	2.54		
	10-2	847.28	2.82		
	10-9	632.92	2.11		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27.-Esfuerzos resistentes a compresión diagonal en primas de tapial con 20% Cordia I.

UNIDADES DE 20%					
GRUPO	DESCRIPCION	FUERZA (kgf)	f_m (kgf/cm ²)	Desviación Estandar (σ)	$\bar{f}'_m - \sigma_{est}$
3cer GRUPO- RESISTENCIA TAPIAL (area=150cm²)	20-10	495.73	1.65	0.15	1.52 kg/cm ²
	20-6	560.04	1.87		
	20-1	470.01	1.57		
	20-5	534.32	1.78		
	20-3	448.57	1.5		

Fuente: Elaboración propia

➤ Ensayo de Módulo de elasticidad en muretes de tapial

El instrumento que nos permitió hallar el módulo de elasticidad de los tapiales con diferentes porcentajes fue el equipo de Frecuencia de Resonancia. Este ensayo consiste en golpear ligeramente el espécimen con una pequeña bola de acero endurecido (Ver fig. 34), esto genera vibraciones en la muestra que son captadas por un acelerómetro en miniatura.

La señal recibida se analiza y la frecuencia de resonancia y módulo de elasticidad de muestran en la pantalla del equipo.

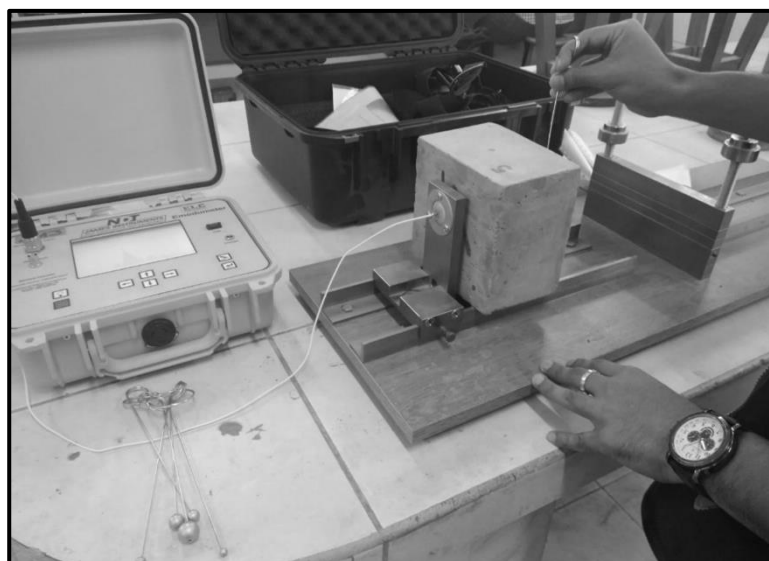


Figura 34.-Ensayo de Módulo de elasticidad con Equipo de resonancia.

Los datos obtenidos se plasmaron en tablas como se muestra a continuación, esto se realizó para el análisis estadístico respectivo.

Tabla 28 .-Procesamiento de datos, Módulo de elasticidad Tapiales con 0% Cordia Lutea

UNIDADES DE 0%				
GRUPO	DESCRIPCION	MODULO DE ELASTICIDAD E (GPa)	Desviación Estandar (σ)	$E-\sigma_{est}$
3er GRUPO- RESISTENCIA TAPIAL (area=150cm ²)	0-5	1.1		
	0-2	1		
	0-3	1.3	0.11	1.05 GPa
	0-6	1.2		
	0-2	1.2		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29.-Procesamiento de datos, Módulo de elasticidad Tapiales con 5% *Cordia Lutea*

UNIDADES DE 5%				
GRUPO	DESCRIPCION	MODULO DE ELASTICIDAD E (GPa)	Desviación Estandar (σ)	$E - \sigma_{est}$
3cer GRUPO-RESISTENCIA TAPIAL (area=150cm ²)	5-9	1.2		
	5-8	1.5		
	5-6	1.4	0.13	1.21 GPa
	5-2	1.4		
	5-1	1.2		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30.-Procesamiento de datos, Módulo de elasticidad Tapiales con 10% *Cordia Lutea*

UNIDADES DE 10%				
GRUPO	DESCRIPCION	MODULO DE ELASTICIDAD E (GPa)	Desviación Estandar (σ)	$E - \sigma_{est}$
3cer GRUPO-RESISTENCIA TAPIAL (area=150cm ²)	10-8	1.3		
	10-5	1.4		
	10-2	1.5	0.08	1.34 GPa
	10-9	1.4		
	10-7	1.5		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31.-Procesamiento de datos, Módulo de elasticidad Tapiales con 20% Cordia Lutea

UNIDADES DE 20%				
GRUPO	DESCRIPCION	MODULO DE ELASTICIDAD E (GPa)	Desviación Estandar (σ)	$E-\sigma_{est}$
3er GRUPO- RESISTENCIA TAPIAL (area=150cm ²)	20-5	1.2		
	20-3	1.2		
	20-10	1.1	0.11	1.11 GPa
	20-6	1.2		
	20-1	1.4		

Fuente: Elaboración propia

➤ Ensayo de Succión

Este ensayo nos permitió determinar la tasa inicial de absorción de agua de los tapiales de dimensiones 10x15x6cm. Se inicio el ensayo registrando los pesos iniciales de cada espécimen y luego se colocaron sobre los soportes de plásticos ubicados dentro de las bandejas de agua. Pasado un minuto se procedió a retirar y secar superficialmente los tapiales y volver a pesarlos.

Los datos obtenidos, para su mejor comprensión se ordenaron en tablas que nos permitieron obtener calcular el promedio y la desviación estándar de cada porcentaje ensayado.

Se puede observar que la succión hallada de los especímenes es esta muy por debajo del rango establecido por la norma E.070:2006.

Tabla 32.-Procesamiento de datos, ensayo de succión Tapiales con 0% Cordia lutea

UNIDADES DE 0%								
GRUPO	DESCRIPCIÓN	PESO INICIAL (g.)	PESO HÚMEDO (g.)	AREA (cm ²)	SUCCIÓN (g/min/200 cm ²)	PROMEDIO SUCCIÓN (g/min/200 cm ²)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (σ)	SUCCION FINAL (g/min/200 cm ²)
1er GRUPO-SUCCIÓN (área=150cm ²)	0-1	1745	1761.7	144.1	2.3	2.2	0.26	1.98
	0-2	1736.4	1752.4	144.1	2.2			
	0-3	1743.3	1756.3	144.1	1.8			
	0-4	1708.5	1726.5	145.5	2.5			
	0-5	1727.9	1745.1	146.5	2.3			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33.-Procesamiento de datos, ensayo de succión Tapiales con 5% Cordia lutea

UNIDADES DE 5%								
GRUPO	DESCRIPCIÓN	PESO INICIAL (g.)	PESO HÚMEDO (g.)	AREA (cm ²)	SUCCIÓN (g/min/200 cm ²)	PROMEDIO SUCCIÓN (g/min/200 cm ²)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (σ)	SUCCION FINAL (g/min/200 cm ²)
1er GRUPO-SUCCIÓN (area=150cm ²)	5-1	1742.4	1755.9	142.6	1.9	1.7	0.22	1.45
	5-2	1738.1	1749.8	144.5	1.6			
	5-3	1741.1	1752.8	145.0	1.6			
	5-4	1743	1752.8	145.0	1.4			
	5-5	1732.5	1745.8	144.1	1.8			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34 .-Procesamiento de datos, ensayo de succión Tapiales con 10% Cordia lutea

UNIDADES DE 10%								
GRUPO	DESCRIPCIÓN	PESO INICIAL (g.)	PESO HÚMEDO (g.)	AREA (cm ²)	SUCCIÓN (g/min/200 cm ²)	PROMEDIO SUCCIÓN (g/min/200 cm ²)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (σ)	SUCCION FINAL (g/min/200 cm ²)
1er GRUPO-SUCCIÓN (area=150cm ²)	10-1	1766.2	1773.2	146.52	1.0	0.8	0.09	0.73
	10-2	1760.4	1766.6	146.52	0.8			
	10-3	1757.2	1763.3	146.02	0.8			
	10-4	1758.8	1764.5	145.04	0.8			
	10-5	1762.2	1767.2	145.04	0.7			
	10'-1	1701.1	1707.5	148.5	0.9			
	10'-2	1747.8	1753.1	148.5	0.7			
	10'-3	1752.4	1758.9	148.5	0.9			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35.-Procesamiento de datos, Succión Tapiales con 20% Cordia lutea

UNIDADES DE 20%								
GRUPO	DESCRIPCIÓN	PESO INICIAL (g.)	PESO HÚMEDO (g.)	AREA (cm ²)	SUCCIÓN (g/min/200cm ²)	PROMEDIO SUCCIÓN (g/min/200cm ²)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (σ)	SUCCION FINAL (g/min/200cm ²)
1er GRUPO-SUCCIÓN (area=150cm²)	20-1	1773.7	1778.5	146.0	0.7	0.6	0.07	0.56
	20-2	1770.5	1775.0	147.5	0.6			
	20-3	1787.2	1791.0	148.0	0.5			
	20-4	1768.4	1773.6	148.0	0.7			
	20-5	1769.8	1774.6	146.5	0.7			

Fuente: Elaboración propia

➤ Ensayo de Erosión Acelerada Swinburne (SAET)

Se ensayaron 5 muestras elegidas de manera aleatoria. Los días de secado fueron 28 días y el equipo utilizado se puede ver en la figura.

Los datos obtenidos se ordenaron en tablas para poder determinar la oquedad máxima en cada porcentaje de mucilago de Cordia Lutea presente en los tapiales.

Tabla 36.-Procesamiento de datos, Erosión Acelerada Tapiales con 0% Cordia

UNIDADES DE 0%				
GRUPO	DESCRIPCION	PESO	PROFUNDIDAD DE OQUEDAD(mm)	CONCLUSION FINAL
ENSAYO DE EROSIÓN ACCELERADA SWINBURNE (SAET) UNE 41410	0-6	1828.4	7	APTO
	0-7	1739.9	8	APTO
	0-8	1742.2	7	APTO
	0-9	1744.1	8	APTO
	0-10	1708.1	8	APTO

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37.-Procesamiento de datos, Erosión Acelerada Tapiales con 5% Cordia L.

UNIDADES DE 5%				
GRUPO	DESCRIPCION	PESO	PROFUNDIDAD DE OQUEDAD(mm)	CONCLUSION FINAL
	5-6	1755.3	5	APTO
ENSAYO DE EROSIÓN ACCELERADA SWINBURNE (SAET) UNE 41410	5-7	1752.3	6	APTO
	5-8	1729.4	5	APTO
	5-9	1746.1	5	APTO
	5-10	1753	5	APTO

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38 .-Procesamiento de datos, Erosión Acelerada Tapiales con 10% Cordia I.

UNIDADES DE 10%				
GRUPO	DESCRIPCION	PESO	PROFUNDIDAD DE OQUEDAD(mm)	CONCLUSION FINAL
	10-6	1759.8	0	APTO
ENSAYO DE EROSIÓN ACCELERADA SWINBURNE (SAET) UNE 41410	10-7	1770.6	0	APTO
	10-8	1760.8	0	APTO
	10-9	1771.3	0	APTO
	10-10	1770.7	0	APTO

Fuente: Elaboración propia

Tabla 39.-Procesamiento de datos, Erosión Acelerada Tapiales con 20% Cordia lutea

UNIDADES DE 20%				
GRUPO	DESCRIPCION	PESO	PROFUNDIDAD DE OQUEDAD (mm)	CONCLUSION FINAL
	20-6	1782.3	0	APTO
ENSAYO DE EROSIÓN ACCELERADA SWINBURNE (SAET) UNE 41410	20-7	1783.7	0	APTO
	20-8	1767.2	0	APTO
	20-9	1780.3	0	APTO
	20-10	1770.8	0	APTO

Fuente: Elaboración propia

IV. RESULTADOS

4.1 Resúmenes de los resultados

Tabla 40.-Resumen de resultados, resistencia del material tierra a compresión

Porcentajes de Goma Natural de Cordia lutea				
Ensayo	0%	5%	10%	20%
f_o (kg/cm ²)	50	56	66	46

Fuente: Elaboración propia

Tabla 41.-Resumen de resultados, resistencia a la compresión del Tapial

Porcentajes de Goma Natural de Cordia lutea				
Ensayo	0%	5%	10%	20%
f'_m (kg/cm ²)	34	39	47	33

Fuente: Elaboración propia

Tabla 42.-Resumen de resultados, resistencia a la compresión Diagonal

Porcentajes de Goma Natural de Cordia lutea				
Ensayo	0%	5%	10%	20%
f'_t (kg/cm ²)	1.61	1.82	2.07	1.52

Fuente: Elaboración propia

Tabla 43.-Resumen de resultados, ensayo de Módulo de elasticidad

Porcentajes de Goma Natural de Cordia lutea				
Ensayo	0%	5%	10%	20%
E (GPa)	1.05	1.21	1.34	1.11

Fuente: Elaboración propia

Tabla 44.-Resumen de resultados, ensayo de Succión

Porcentajes de Goma Natural de Cordia lutea				
Ensayo	0%	5%	10%	20%
g/min/200cm ²	1.98	1.45	0.73	0.56

Fuente: Elaboración propia

Tabla 45.-Resumen de resultados, Erosión Acelerada Swinburne (SAET)

Porcentajes de Goma Natural de Cordia lutea				
Ensayo	0%	5%	10%	20%
<i>Oquedad (mm)</i>	50	56	66	46

Fuente: Elaboración propia

4.2 Prueba de Hipótesis

Tabla 46.-Porcentaje de Variación de Resultados

Ensayo	0% Goma Natural de Cordia lutea	10% Goma Natural de Cordia lutea	Porcentaje de Variación
Resistencia a la compresión	34 kg/cm ²	47 kg/cm ²	38%
Resistencia a la compresión Diagonal	1.61 kg/cm ²	2.07 kg/cm ²	29%
Módulo de elasticidad	1.05 GPa	1.34 GPa	28%
Succión	1.98 g/min/ 200 cm ²	.73 g/min/ 200 cm ²	63%

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de los ensayos realizados permiten comprobar la veracidad de la Hipótesis planteada en esta investigación ya que, los tapiales con 10% de goma natural de Cordia lutea en el ensayo de resistencia a la compresión, resistencia a compresional diagonal y en el ensayo de módulo de elasticidad aumentaron en más del 20% con respecto al valor obtenido de la muestra patrón mientras que, en el ensayo de succión se obtuvo una disminución en más del 15%. (Ver tabla 46).

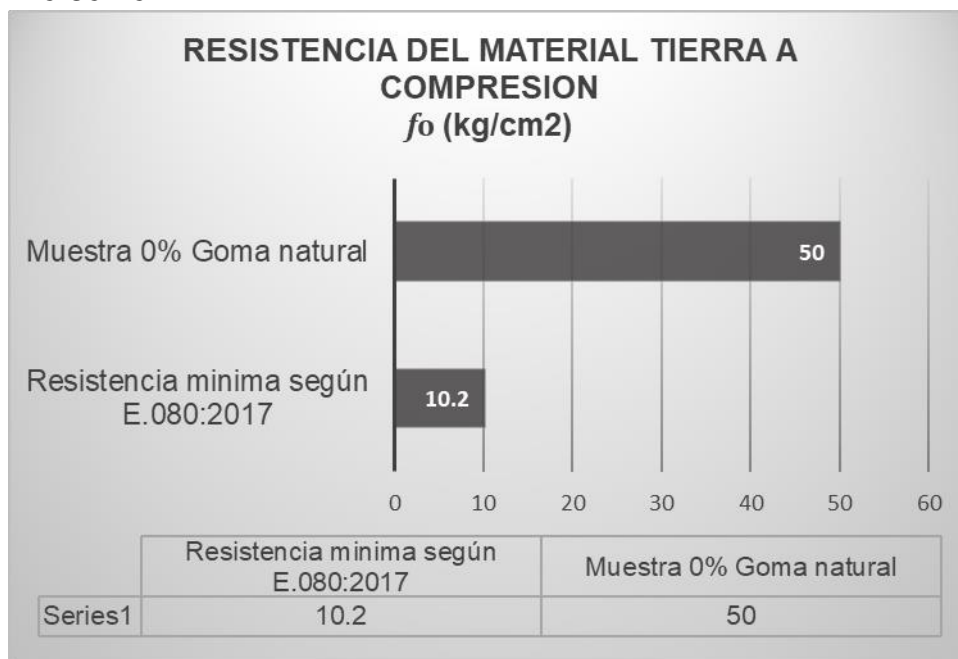
V. DISCUSION DE RESULTADOS

5.1 Interpretación de resultados

- Ensayo de resistencia del material tierra a compresión

Los resultados de este ensayo nos permiten conocer que la norma E.080:2017 es conservadora con respecto al valor mínimo para medir la resistencia del material tierra a la compresión, lo cierto es que al aplicar una mayor energía de compactación en la elaboración de los especímenes de tierra se puede lograr superar grandemente los 10.2 Kg/cm^2 que indica nuestro reglamento. El promedio de los resultados de las muestras comprimidas que no contienen goma natural de *Cordia Lutea*, alcanza una resistencia a la compresión de 55 Kg/cm^2 ; sin embargo, para garantizar que el 84% de los especímenes ensayados tengan una resistencia mayor al valor característico, se consideró disminuir la desviación estándar de la muestra.

Gráfica 1.-Resistencia del material mínima según Norma E 0.80:2017

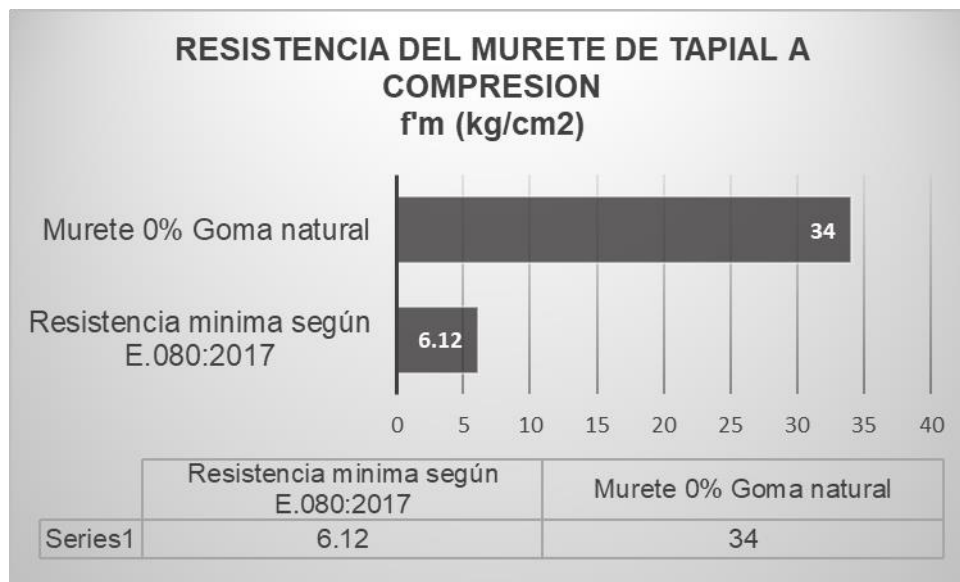


Fuente: Elaboración propia

- Ensayo de resistencia a compresión en muretes de tapial (prismas rectangulares)

La resistencia del material tierra a la compresión alcanzó un valor de $50 \text{ Kg}/\text{cm}^2$, sin embargo, el murete con 0% de goma natural de *Cordia lutea* muestra una resistencia menor de $34 \text{ Kg}/\text{cm}^2$ pues se esta considerando los efectos de esbeltez característica de un muro a escala real. Así mismo se puede observar que la resistencia del murete supera alrededor de 5 veces el valor mínimo dispuesto por la Norma E.080:2017.

Gráfica 2.-Resistencia a la compresión del tapial mínima según Norma E 0.80:2017



Fuente: Elaboración propia

- Ensayo de laboratorio para medir la Resistencia del murete a la Tracción indirecta

Se puede observar que el valor de resistencia ultima indicada por la norma E.080:2017 ($0.25 \text{ Kg}/\text{cm}^2$) es muy inferior al que se consiguió con el Murete 0% de goma natural ($1.61 \text{ Kg}/\text{cm}^2$) , que fue elaborado con una energía de compactación de $2700 \text{ KN} \cdot \text{m}/\text{m}^3$ y simulando la construcción de un muro monolítico.

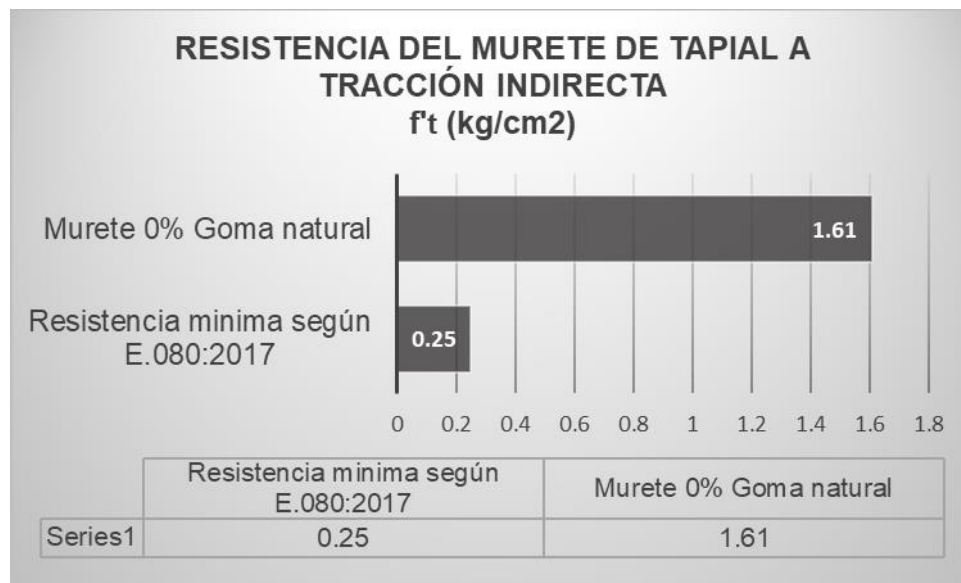
Además, la Norma E.080 indica que el esfuerzo admisible de corte sea 2.5 veces menor que f'_t , esto es:

$$v_m = 0.40 f'_t$$

$$v_m = 0.40 \times 1.61 \text{ Kgf/cm}^2$$

$$v_m = 0.64 \text{ Kgf/cm}^2$$

Gráfica 3.-Resistencia del tapial a la compresión diagonal mínima según Norma E 0.80

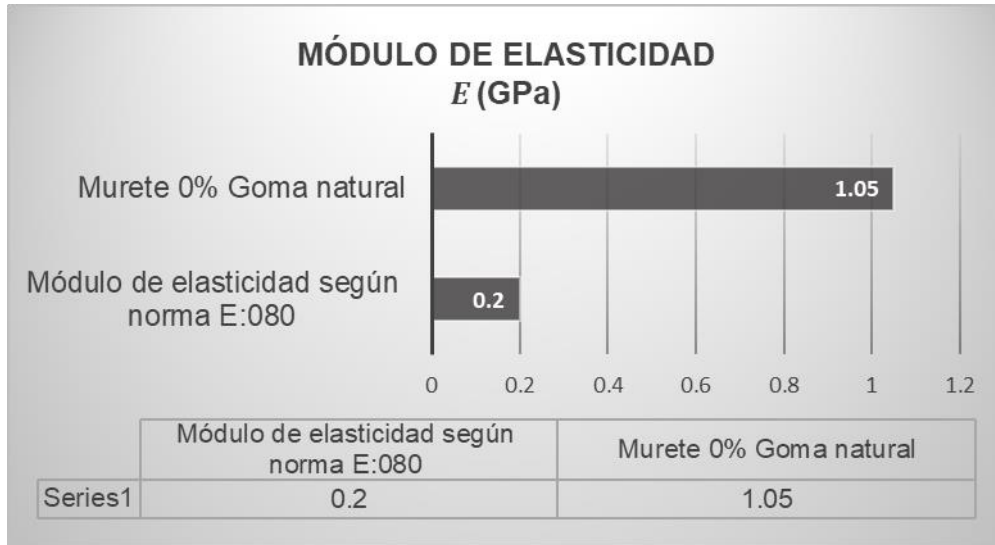


Fuente: Elaboración propia

➤ Ensayo de Módulo de Elasticidad

Según los resultados del equipo de frecuencia de resonancia, la energía de compactación aplicada a los especímenes aumenta aproximadamente 5 veces el valor indicado por la norma, lo que sugiere que el material se vuelve mucho más resistente ante las deformaciones. La adición de goma natural de *Cordia lutea* también ayuda a mejorar esta propiedad. (ver gráfico 28)

Gráfica 4.-Módulo de elasticidad según Norma E 0.80:2017



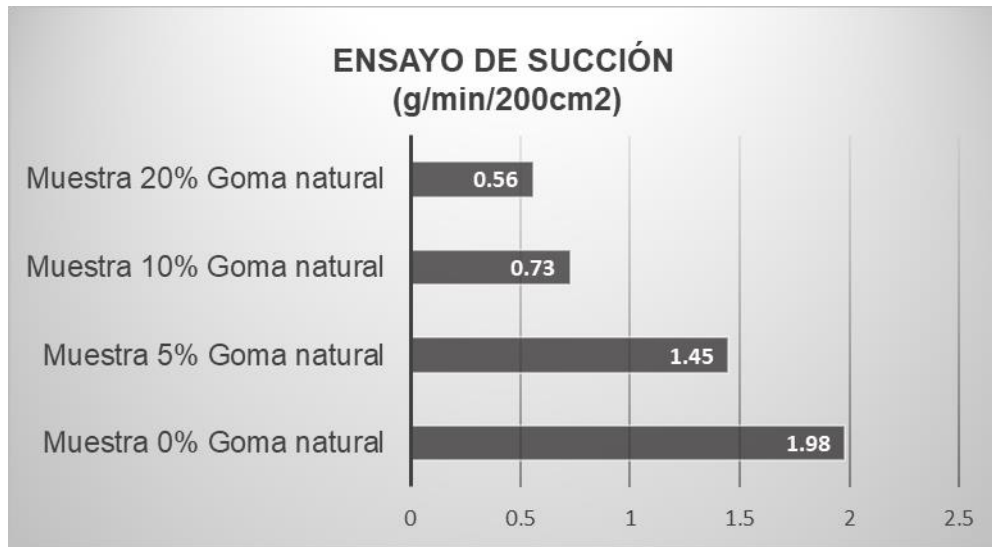
Fuente: Elaboración propia

➤ **Ensayo de Succión**

De los datos obtenidos en la realización del ensayo de succión se puede notar que los especímenes sin porcentaje de goma presentaron una succión de 1.98 g/min mientras que las muestras que contenían 5%,10% y 20% de goma natural mostraron una reducción del 27%,63% y 72 % en su índice de succión respectivamente. (Ver tabla 51).

Debido a la ausencia de goma natural de *Cordia lutea* en los especímenes iniciales, la presencia de grietas y fisuraciones fue mayor, esto conllevó a una mayor absorción de agua en la cara expuesta del tapial.

Gráfica 5.- *Succión de tapiales con diferentes porcentajes de goma natural de Cordia L.*

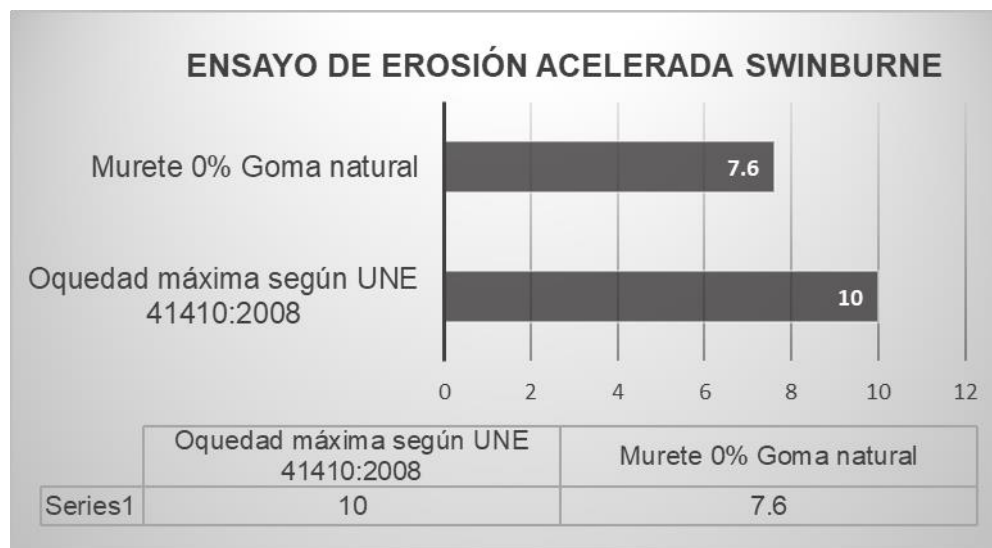


Fuente: Elaboración propia

➤ **Ensayo de Erosión Acelerada Swinburne (SAET)**

De la tabla 52 se puede interpretar que los especímenes con 0% de adición de goma natural de Cordia Lutea ensayos obtuvieron una profundidad de oquedad menor a los 10mm que establece la norma Une 41410, por lo tanto, la muestra se considera como tapial apto para la construcción de viviendas con tierra comprimida.

Gráfica 6.- *Oquedad máxima según norma UNE 41410:2008*



Fuente: Elaboración propia

5.2 Comparación de resultados

- Ensayo de resistencia del material tierra a compresión

Como se observa en la gráfica de barras N° 7, la adición de goma natural de *Cordia lutea* Lam en la elaboración de tapiales ocasiona un aumento en la resistencia del material tierra a la compresión, siendo el 10% el más favorable ya que pasando este límite se incurre en una degradación de f_o

Gráfica 7.-Resistencia del material tierra a compresión, con diferentes porcentajes de goma natural.



Fuente: Elaboración propia

- Ensayo de resistencia a compresión en muretes de tapial (prismas rectangulares)

De la gráfica 8 se percibe que la adición del 10% de goma natural de *Cordia lutea* Lam en la elaboración de tapiales incrementa su resistencia a la compresión en un 38% con respecto a la muestra de 0% y un aumento de seis veces el valor establecido por la norma E 0.80.

Gráfica 8.-Resistencia del tapial a la compresión, diferentes porcentajes de goma natural

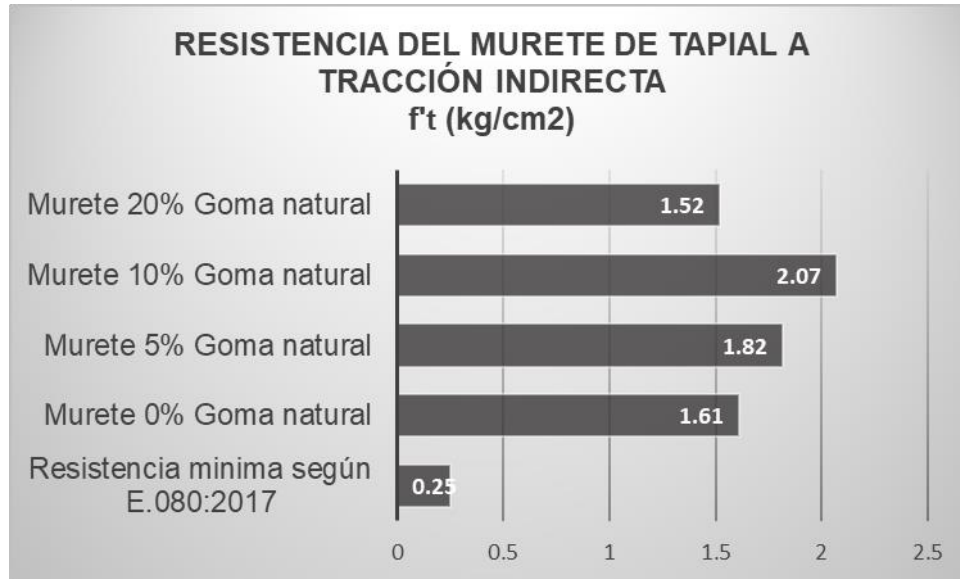


Fuente: Elaboración propia

- Ensayo de laboratorio para medir la Resistencia del murete a la Tracción indirecta

La gráfica de barras N° 9 muestra que la adición de goma natural de *Cordia lutea* Lam en la fabricación de tapiales ocasiona un aumento en la resistencia a la compresión diagonal, siendo el 10% el más favorable ya que pasando este límite se observa una disminución en el valor de f'_t .

Gráfica 9.-Resistencia a la compresión diagonal, diferente adición de goma natural

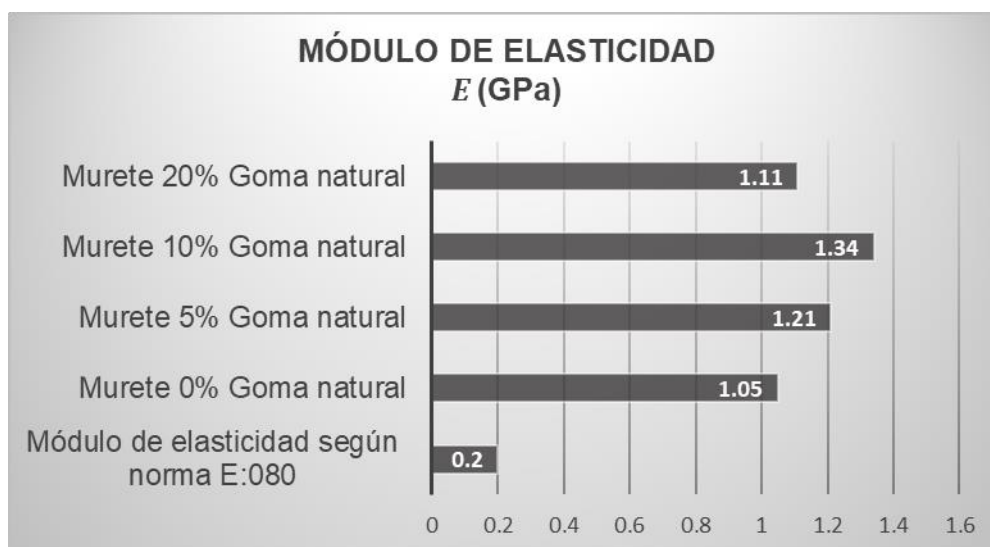


Fuente: Elaboración propia

➤ Ensayo de Módulo de Elasticidad

Los especímenes de 10 % de goma natural presentaron un incremento del 28% en su módulo de elasticidad respecto a las muestras sin adición de goma natural..

Gráfica 10.-Módulo de elasticidad, diferente adición de goma natural

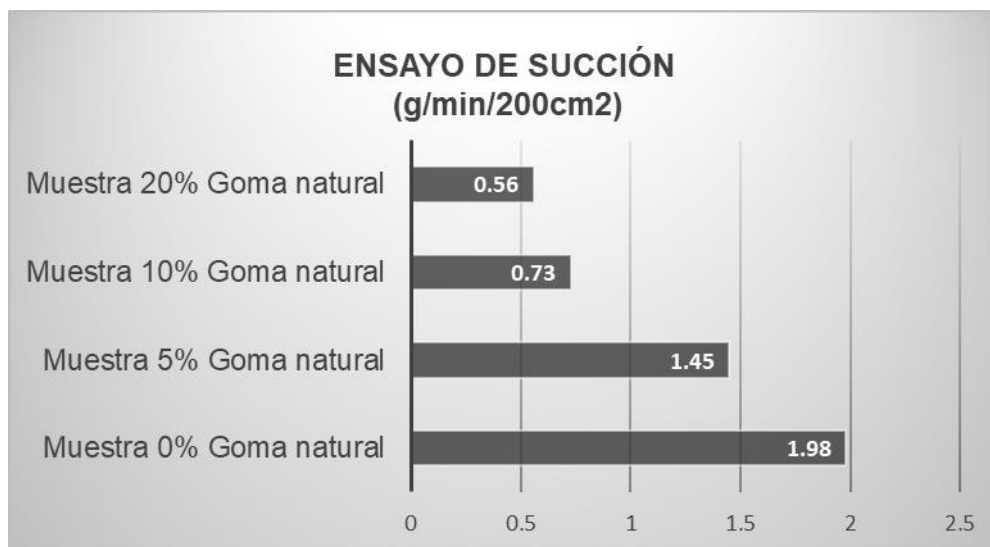


Fuente: Elaboración propia

➤ Ensayo de Succión

La tasa de succión inicial en los tapiales con 10% de adición de goma natural se redujo aproximadamente un 63% mientras que las muestras con 20% de mucilago presentaron mayor impermeabilidad, teniendo un índice de succión de solo un 29% de la muestra patrón.

Gráfica 11.-Ensayo de Succión, diferentes porcentajes de goma natural



Fuente: Elaboración propia

➤ Ensayo de Erosión Acelerada Swinburne (SAET)

Los especímenes ensayados presentaron profundidad de oquedad menor a la máxima admitida por la norma UNE 41410. En el caso de los muretes del 10% y 20% su valor promedio fue de 0 mm. Por lo tanto, todos los tapiales realizados son aptos para la construcción con tierra comprimida.

Gráfica 12.-Erosión Acelerada, diferentes porcentajes de goma natural



Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

- Mediante los ensayos “Análisis granulométrico por tamizado” y “Límites de Atterberg” se determinó que el suelo está compuesto por 25.4% de gravas, 10.2% de arena gruesa 16.9% arena media 13.2% y 34.3% finos limosos de baja plasticidad, además el índice de plasticidad obtenido fue de 21.8.
- Según el ensayo de laboratorio para medir la resistencia del material tierra a la compresión, la presencia de la goma natural de *Cordia lutea* Lam dentro de la mezcla de tierra, alcanza el valor de $f_o = 66 \text{ kgf/cm}^2$.
- La resistencia a la compresión de los prismas f'_m fue calculada contemplando un coeficiente de corrección por esbeltez, y alcanzó un valor de $f'_m = 47 \text{ kgf/cm}^2$ que supera la resistencia última (6.12 kgf/cm^2) indicada en la norma E.080:2017.
- La resistencia del murete a la tracción indirecta f'_t alcanzó un valor de 2.07 kgf/cm^2 superando 8 veces la resistencia última (0.25 kgf/cm^2) que indica la norma E.080:2017. Se cumple que f'_t alcanza un 4.4% de la resistencia a la compresión del prisma f'_m .
- El ensayo de laboratorio para medir el Módulo de elasticidad del tapial mediante el equipo de frecuencia de resonancia no mostró mucha dispersión en los resultados arrojados, indicando que los prismas ensayados presentan aproximadamente 6 veces el valor de 0.20 GPa indicado en la norma E.080:2017.
- Los resultados mostraron que el simple hecho de utilizar una energía estandarizada de 2700 KN.m/m^3 y un contenido óptimo de humedad de 13% en la compactación del tapial, logra aumentar la resistencia mecánica considerablemente respecto a los valores mínimos presentes la norma E.080:2017.

RECOMENDACIONES

- Se sugiere el estudio del esfuerzo resistente a compresión f'_m en prismas con mayores dimensiones y más esbeltos, utilizando sensores LVDT (Linear Variable Differential Transformer) para conseguir un diagrama esfuerzo-deformación unitaria y consecuentemente hallar una expresión que relacione el módulo de elasticidad (E) y el f'_m .
- Al mismo tiempo, se sugiere que el ensayo de laboratorio para conseguir la resistencia a compresión diagonal f'_t se realice con muretes de tapial de mayores dimensiones y más esbeltos, utilizando sensores LVDT (Linear Variable Differential Transformer) de manera que se puedan obtener resultados más precisos acerca de la resistencia a corte V'_m y el módulo de corte G'_m , para estudiar su relación con el f'_m .
- Se recomienda investigar cómo mejorar la resistencia a la tracción por flexión mediante soluciones que no resulten muy costosas como la utilización de barras de acero en el interior de los muros de tapial, siendo ese factor una de las debilidades que tiene la tierra compactada.
- Se sugiere darle mayor importancia al proceso de compactación, ya que quedó demostrado que el aplicar una mayor energía en el proceso de construcción del tapial incrementa muy por encima los valores de resistencia mínimos que indica la norma E.080:2017, quedando de estudio encontrar una técnica de apisonamiento que no sea muy costosa y otorgue resultados de compactación homogénea como los estudiados en laboratorio.
- Se sugiere estudiar el ensayo de erosión por pulverizado de agua a presión según normas europeas en especímenes de tierra compactada estabilizada con cemento y diferentes porcentajes de la goma natural de *Cordia lutea* Lam para ver si se mejora la durabilidad de este material ante los agentes erosivos del clima.

- Se recomienda realizar una buena homogenización del material tierra con la goma natural de *Cordia lutea*, debido a que este último, al mezclarse con la tierra forma grumos que se adhieren fácilmente y se vuelven difíciles de trabajar.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Afanador, N., Carrascal, M. & Bayona, M. (2013). *Experimentación, comportamiento y modelación de la tapia pisada*. (Tesis de pregrado). Universidad Francisco de Paula Santander, Colombia.
- Andrade, F., Al-Qureshi y Hotza, D., (2011). Measuring the plasticity of clays: A review. *Elsevier, Volumen (51)*. 1-7 páginas.
- Barton, CD., Karathanasis, A., *Clay Minerals (2002)*. *Encyclopedia of Soil Science*. [Versión electrónica]. New York, USA: ed. Encyclopedia of Soil Science
- Biodiversidad Mexicana, (2010). Boraginaceae. Recuperado de https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/gran_familia/plantas/magnoliayM arg/SiricotesBojones/pdf/Siricotes.pdf
- Bolaños, J. (2016). *Resistencia a compresión, flexión y absorción del adobe compactado con adición de goma de tuna*. (Tesis de pregrado). Universidad Privada Del Norte, Perú.
- Cervantes, A. (2015). *Adobe orgánico elaborado con arcilla y mucilago de nopal, para construcción de centro Eco-turístico en el municipio de Acolman*. (Tesis de pregrado). Instituto Politécnico Nacional, México.
- Conley K. McMullen. (1999). *Flowering Plants of the Galapagos*. New York, Estados Unidos: Cornell University Press.
- Das, B. (2013). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. México D.F: Cengage Learning.
- Doat, P. (1996). *Construir con tierra*. Bogotá, Colombia: Fondo Rotatorio Editorial.

- Domínguez, J. y Schifter, I., (1992). *Las arcillas: el barro noble*. México: Fondo de Cultura Económica.
- García E., Suárez M., (2015). *Las arcillas: propiedades y usos*. Universidad de Salamanca. Recuperado de: <http://campus.usal.es/~delcien/doc/GA.PDF>
- Guerrero, O. (2016). *Estudio de la tecnología del tapial para su aplicación en la vivienda en Tarija*. (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, Bolivia.
- Hernández, J., (2016). *Construcción con Tierra: Análisis, conservación y mejora. Un caso práctico en Senegal*. (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica de Cataluña, España.
- Ion-exchange capacity (2016). *Encyclopædia Britannica*. [Versión electrónica]. New York,EU: Encyclopædia Britannica, inc., <https://www.britannica.com/science/ion-exchange-capacity>.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2017). *Los Censos Nacionales 2017: XII de Población y VII de Vivienda*.
- Maniatidis, V., Walker, P., (2003). *A Review of Rammed Earth Construction for DTi Partners in Innovation Project 'Developing Rammed Earth for UK Housing'*. Recuperado de: <https://people.bath.ac.uk/abspw/rammedearth/review.pdf>
- Medina, L. & Vásquez, K. 2015. Poder Capturador de radicales libres in vitro de los flavonoides totales obtenidos de las flores de Cordia Lutea (flor de overo) proveniente de Cormot distrito de Compín provincia de Gran Chimú región La Libertad. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Trujillo, Perú.
- Minke, G. (2001). *Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra*. Estado Federal de Hesse, Alemania: Universidad de Kassel.
- Norma técnica peruana 339.141(1999). Suelos. *Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 KN-m/m³ (56,000 pie-lbf/pie³))*. Lima, Perú.
- Norma técnica peruana 339.613(2005). *Unidades de Albañilería. Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería*. Lima, Perú.

- Norma técnica peruana 339.128(1999). Suelos. Método de ensayo para el análisis granulométrico. Lima, Perú.
- Quintana, D. & Vera, M. (2017). *Evaluación de la erosión y la resistencia a compresión de adobes con sustitución parcial y total de agua en peso por mucílago de tuna en porcentajes del 0%, 25%, 50%, 75% y 100%*. (Tesis de pregrado). Universidad Andina Del Cusco, Perú.
- Reglamento Nacional de Edificaciones. NORMA E.080 *Diseño y construcción con tierra reforzada* (2006). Lima, Perú.
- Reglamento Nacional de Edificaciones. NORMA E.080 *Diseño y construcción con tierra reforzada* (2017). Lima, Perú.
- Science Encyclopedia (2011). *Capillary Action*. Recuperado de <https://science.jrank.org/pages/1182/Capillary-Action.html>
- Tejada, U., Mendoza. Torrealva, D., (2015). *Uso del Tapial en la construcción* (2015) Lima, Perú: Editorial Sencico
- Troncoso, O., Zamora, B., & Torres, F. G. (2017). *Thermal and Rheological Properties of the Mucilage from the Fruit of Cordia lutea. Polymers from Renewable Resources*, 8(3), 79–90.
- Vargas, J., Torrealva, D. & Blondet, M. (2007). *Construcción de casas saludables y sismorresistente de Adobe reforzado con geomallas*. Lima, Perú: Fondo Editorial
- Yamín, L., Phillips, C., Reyes, J., y Ruiz, D. R. (2007). *Estudios de la Vulnerabilidad Sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas en adobe y tapia pisada*. Aportes, 20(2), 286-303.
- Yarnell, E. (2007). *Plant Chemistry in Veterinary Medicine: Medicinal Constituents and Their Mechanisms of Action*. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-02998-8.50015-9>
- Whaley, O., Orellana, A. & Pérez, E. Tenorio, M., Quinteros, F., Mendoza, M. y Pecho, O. (2010). *Plantas y Vegetación de Ica, Perú – Un recurso para su restauración y conservación*. Lima, Perú: Royal Botanic Gardens, Kew.

ANEXOS

➤ Ensayo de laboratorio: caracterización del material



Secado de muestra a temperatura ambiente



Cuarteo Mecánico del material

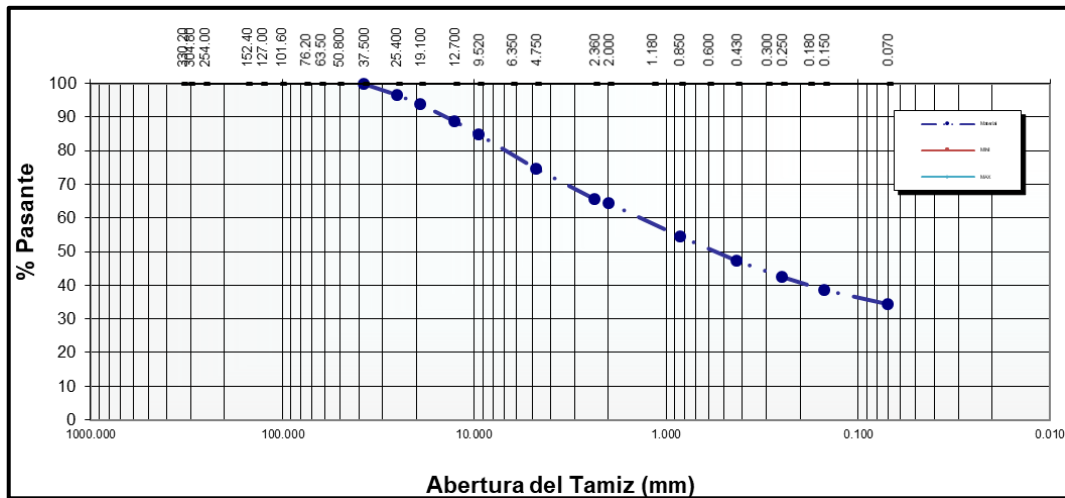


Realización de ensayo Análisis granulométrico por tamizado

TABLA: ANEXO. -Análisis Granulométrico

Abertura	(mm)	Peso (gr)	Pasante (gr)	Ret.(%)	Pasa(%)
1 1/2"	37.50	-			100.0
1"	25.40	318.0	8,680.0	3.53	96.5
3/4"	19.10	234.0	8,446.0	2.60	93.9
1/2"	12.70	472.0	7,974.0	5.25	88.6
3/8"	9.52	343.0	7,631.0	3.81	84.8
Nº 4	4.75	917.0	6,714.00	10.19	74.6
Nº 8	2.36	76.7	555.0	9.05	65.6
Nº 10	2.00	10.0	545.0	1.18	64.4
Nº 16	1.18	62.1	482.9	7.34	57.0
Nº 20	0.85	20.7	462.2	2.44	54.6
Nº 40	0.43	60.4	401.8	7.14	47.5
Nº 60	0.25	40.7	361.1	4.81	42.7
Nº 100	0.15	33.5	327.6	3.96	38.7
Nº 200	0.07	37.2	290.4	4.39	34.3
FONDO		290.4	-	34.30	

GRAFICO: ANEXO. -Curva granulométrica



Instrumentos para realización de ensayo Límites de Atterberg



Realización ensayo Límite Plástico



**Ejecución de Ensayo de compactación de suelo:
Proctor Modificado**



Molde cilíndrico con material compactado

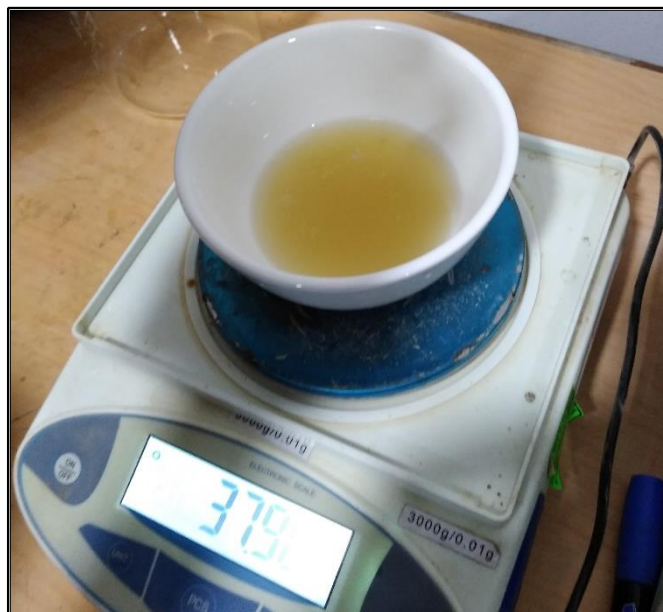


Muestra compactada

➤ **Elaboración de tapias**



Extracción de goma natural de Cordia lutea L.



Goma Natural de Cordia Lutea



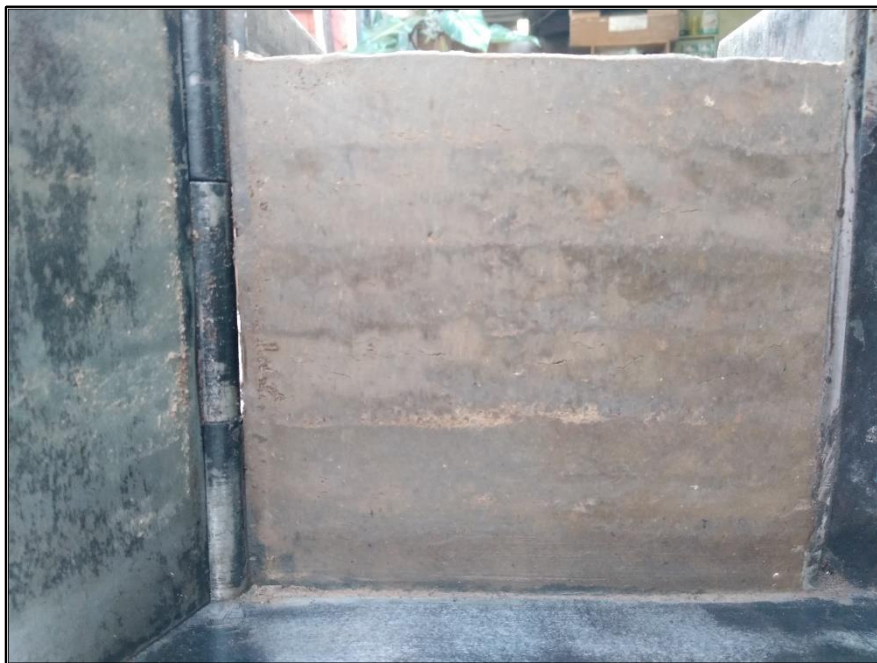
Prueba Empírica para determinar Contenido de humedad según E 0.80



Preparación de mezcla para Tapial



Molde metálico para elaboración de tapial



Desmolde de Tapial



Vista perfil-horizontal de un tapial



Tapiales a una escala de reducción

➤ **Ensayo de Físicos y mecánicos**



Registro de masa de muestras a los 28 días de secado



Registro de dimensiones de las muestras a los 28 días de secado

TABLA: ANEXO. – Dimensiones tapiales 0% a los 28 días de secado

UNIDADES DE 0%				
GRUPO	DESCRIPCION	DIMENSIONES(cm)		
		LARGO	ANCHO	ALTO
1er GRUPO- EROSIÓN Y SUCCIÓN	0-1	14.7	9.8	5.7
	0-2	14.7	9.8	5.7
	0-3	14.7	9.8	5.8
	0-4	14.7	9.7	5.8
	0-5	14.8	9.7	5.8
	0-6	14.8	9.7	5.8
	0-7	14.8	9.7	5.8
	0-8	14.8	9.8	5.9
	0-9	14.8	9.8	5.9
	0-10	14.9	9.9	5.8
2do GRUPO- RESISTENCIA UNIDAD	0-1	14.8	9.7	9.7
	0-2	14.8	9.7	9.7
	0-3	14.8	9.8	9.8
	0-4	14.8	9.8	9.7
	0-5	14.7	9.8	9.7
3ro GRUPO- RESISTENCIA MURETE	0-1	14.9	9.7	14.8
	0-2	14.8	9.7	14.8
	0-3	14.7	9.7	14.8
	0-4	14.7	9.8	14.8
	0-5	14.7	9.8	14.9
	0-6	14.9	9.8	14.8
	0-7	14.8	9.7	14.9
	0-8	14.8	9.8	14.8
	0-9	14.8	9.8	14.8
	0-10	14.8	9.7	14.8

Fuente: Elaboración propia

TABLA: ANEXO. -Dimensiones tapiales 5% a los 28 días de secado

UNIDADES DE 5%				
GRUPO	DESCRIPCION	DIMENSIONES		
		LARGO	ANCHO	ALTO
1er GRUPO- EROSIÓN Y SUCCIÓN	5-1	14.7	9.7	5.8
	5-2	14.7	9.9	5.7
	5-3	14.8	9.8	5.8
	5-4	14.8	9.8	5.8
	5-5	14.8	9.8	5.9
	5-6	14.8	9.8	5.8
	5-7	14.8	9.8	5.8
	5-8	14.8	9.8	5.8
	5-9	14.8	9.8	5.7
	5-10	14.8	9.8	5.8
2do GRUPO- RESISTENCI A UNIDAD	5-1	14.8	9.8	9.7
	5-2	14.8	9.8	9.7
	5-3	14.8	9.8	9.8
	5-4	14.8	9.8	9.8
	5-5	14.8	9.8	9.8
3ro GRUPO- RESISTENCI A MURETE	5-1	14.9	9.8	14.9
	5-2	14.9	9.8	15
	5-3	14.9	9.8	14.9
	5-4	14.9	9.8	14.9
	5-5	14.9	9.8	14.9
	5-6	14.9	9.8	14.9
	5-7	14.9	9.8	14.9
	5-8	14.9	9.8	14.8
	5-9	14.9	9.8	14.8
	5-10	15	9.8	14.8

Fuente: Elaboración propia

TABLA: ANEXO. -Dimensiones tapias 10% a los 28 días de secado

UNIDADES DE 10%				
GRUPO	DESCRIPCION	DIMENSIONES		
		LARGO	ANCHO	ALTO
1er GRUPO- EROSIÓN Y SUCCIÓN	10-1	14.8	9.9	5.8
	10-2	14.8	9.9	5.8
	10-3	14.9	9.9	5.8
	10-4	14.8	9.9	5.8
	10-5	14.8	9.9	5.9
	10-6	14.8	9.8	5.9
	10-7	14.8	9.8	5.9
	10-8	14.8	9.8	5.9
	10-9	14.8	9.8	5.9
	10-10	14.8	9.8	5.9
2do GRUPO- RESISTENCIA UNIDAD	10-1	14.8	9.8	9.8
	10-2	14.8	9.8	9.8
	10-3	14.8	9.8	9.9
	10-4	14.8	9.8	9.9
	10-5	14.9	9.8	9.9
3ro GRUPO- RESISTENCIA MURETE	10-1	14.9	9.8	14.7
	10-2	14.9	9.8	14.9
	10-3	14.9	9.8	14.9
	10-4	14.9	9.8	14.9
	10-5	14.9	9.8	14.9
	10-6	14.9	9.8	14.9
	10-7	14.8	9.8	15
	10-8	14.9	9.8	14.9
	10-9	14.8	9.8	14.9
	10-10	14.9	9.9	15

Fuente: Elaboración propia

TABLA: ANEXO. – Dimensiones tapias 20% a los 28 días de secado

UNIDADES DE 20%

GRUPO	DESCRIPCION	DIMENSIONES		
		LARGO	ANCHO	ALTO
1er GRUPO- EROSIÓN Y SUCCIÓN	20-1	14.9	9.8	5.9
	20-2	14.9	9.9	5.9
	20-3	14.8	10	6
	20-4	14.8	10	6
	20-5	14.9	9.9	5.9
	20-6	15	10	5.9
	20-7	15	10	5.9
	20-8	15	10	5.9
	20-9	15	10	5.9
	20-10	15	10	5.9
2do GRUPO- RESISTENCI A UNIDAD	20-1	14.9	10	9.9
	20-2	14.9	10	10
	20-3	14.9	10	10
	20-4	14.9	9.9	9.9
	20-5	14.9	9.9	9.9
3ro GRUPO- RESISTENCI A MURETE	20-1	15	10	14.8
	20-2	15	10	14.9
	20-3	15	10	14.8
	20-4	14.9	10	14.9
	20-5	15	10	15
	20-6	15	10	15
	20-7	14.9	10	14.8
	20-8	14.9	10	14.8
	20-9	15	10	14.8
	20-10	15	10	14.8

Fuente: Elaboración propia



Ensayo de Succión



Instrumentos para refrentado de especímenes



Especímenes del 0%, 10% y 20% con una cara refrentada



Muestras refrentadas



Especímen del 10% de goma natural con ambas caras refrentadas.



Equipo utilizado para ensayo de resistencia a la compresión.



Inicio de ensayo de resistencia a la compresión



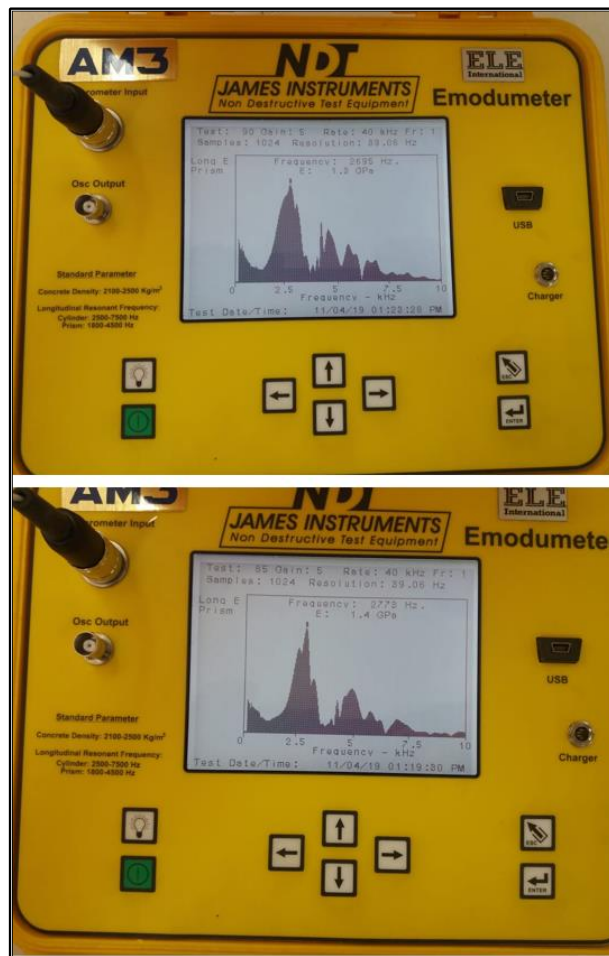
Muestras del 5% ensayadas



Agrietamiento típico en muestras después de ensayo resistencia a la compresión.



Ensayo de Frecuencia de Resonancia



Gráfica frecuencia vs Longitud de Prisma -Equipo de resonancia



Especímenes para ensayo de resistencia a la compresión diagonal-20% goma natural



Especímenes para ensayo de resistencia a la compresión diagonal-0% goma natural



Anillo de carga para ensayo resistencia a la compresión diagonal



Calibración de Anillo de carga

TABLA: ANEXO. -Resultados de calibración

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	37.00	41.29	45.57	49.86	54.15	58.44	62.72	67.01	71.30	75.58
20	79.87	84.16	88.45	92.73	97.02	101.31	105.60	109.88	114.17	118.46
30	122.74	127.03	131.32	135.61	139.89	144.18	148.47	152.75	157.04	161.33
40	165.62	169.90	174.19	178.48	182.76	187.05	191.34	195.63	199.91	204.20
50	208.49	212.78	217.06	221.35	225.64	229.92	234.21	238.50	242.79	247.07
60	251.36	255.65	259.93	264.22	268.51	272.80	277.08	281.37	285.66	289.94
70	294.23	298.52	302.81	307.09	311.38	315.67	319.96	324.24	328.53	332.82
80	337.10	341.39	345.68	349.97	354.25	358.54	362.83	367.11	371.40	375.69
90	379.98	384.26	388.55	392.84	397.12	401.41	405.70	409.99	414.27	418.56
100	422.85	427.14	431.42	435.71	440.00	444.28	448.57	452.86	457.15	461.43
110	465.72	470.01	474.29	478.58	482.87	487.16	491.44	495.73	500.02	504.30
120	508.59	512.88	517.17	521.45	525.74	530.03	534.32	538.60	542.89	547.18
130	551.46	555.75	560.04	564.33	568.61	572.90	577.19	581.47	585.76	590.05
140	594.34	598.62	602.91	607.20	611.48	615.77	620.06	624.35	628.63	632.92
150	637.21	641.50	645.78	650.07	654.36	658.64	662.93	667.22	671.51	675.79
160	680.08	684.37	688.65	692.94	697.23	701.52	705.80	710.09	714.38	718.66
170	722.95	727.24	731.53	735.81	740.10	744.39	748.68	752.96	757.25	761.54
180	765.82	770.11	774.40	778.69	782.97	787.26	791.55	795.83	800.12	804.41
190	808.70	812.98	817.27	821.56	825.84	830.13	834.42	838.71	842.99	847.28
200	851.57	855.86	860.14	864.43	868.72	873.00	877.29	881.58	885.87	890.15
210	894.44	898.73	903.01	907.30	911.59	915.88	920.16	924.45	928.74	933.02
220	937.31	941.60	945.89	950.17	954.46	958.75	963.04	967.32	971.61	975.90
230	980.18	984.47	988.76	993.05	997.33	1001.62	1005.91	1010.19	1014.48	1018.77
240	1023.06	1027.34	1031.63	1035.92	1040.20	1044.49	1048.78	1053.07	1057.35	1061.64
250	1065.93	1070.22	1074.50	1078.79	1083.08	1087.36	1091.65	1095.94	1100.23	1104.51



Utilización de anillo de carga



Agrietamiento diagonal de especímenes

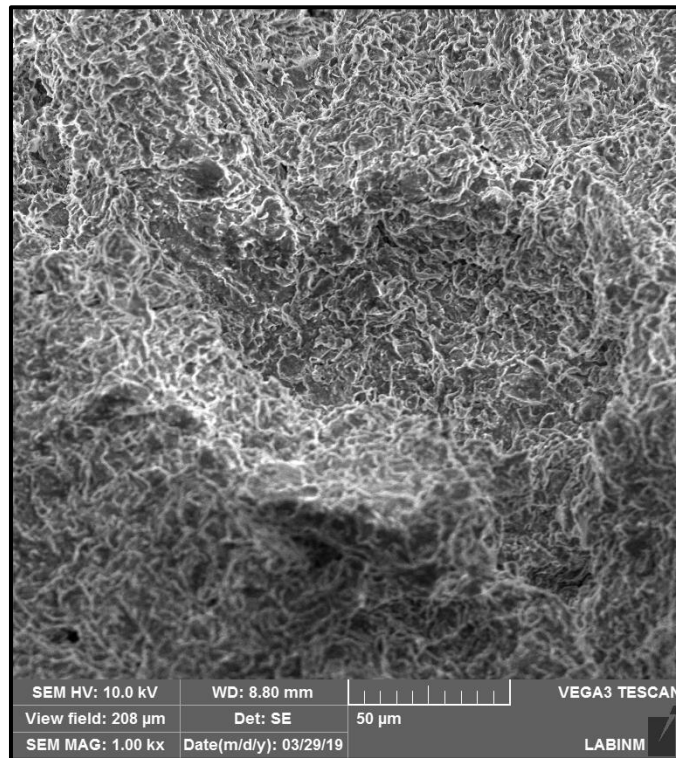
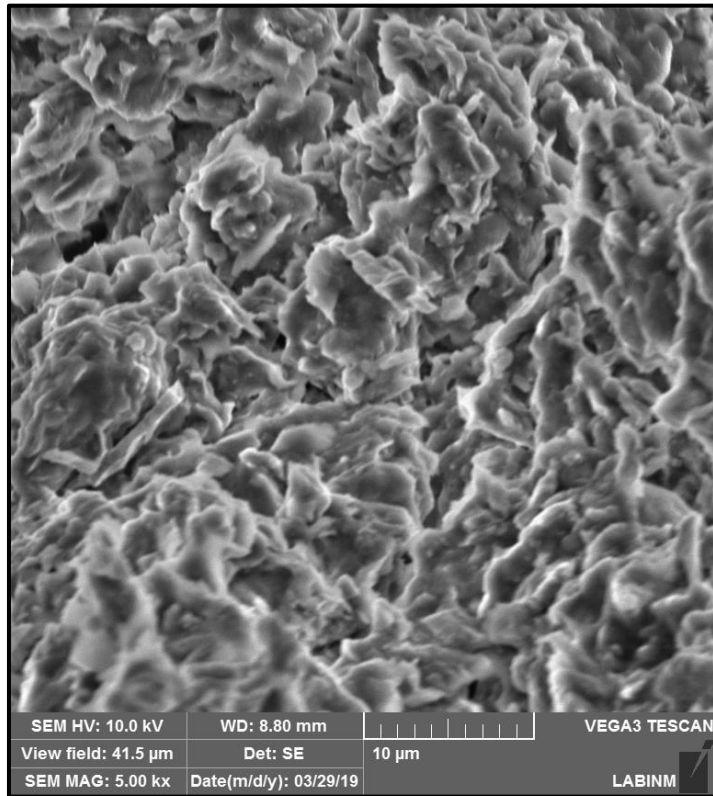


Ensayo Erosión Acelerada Swinburne (SAET)

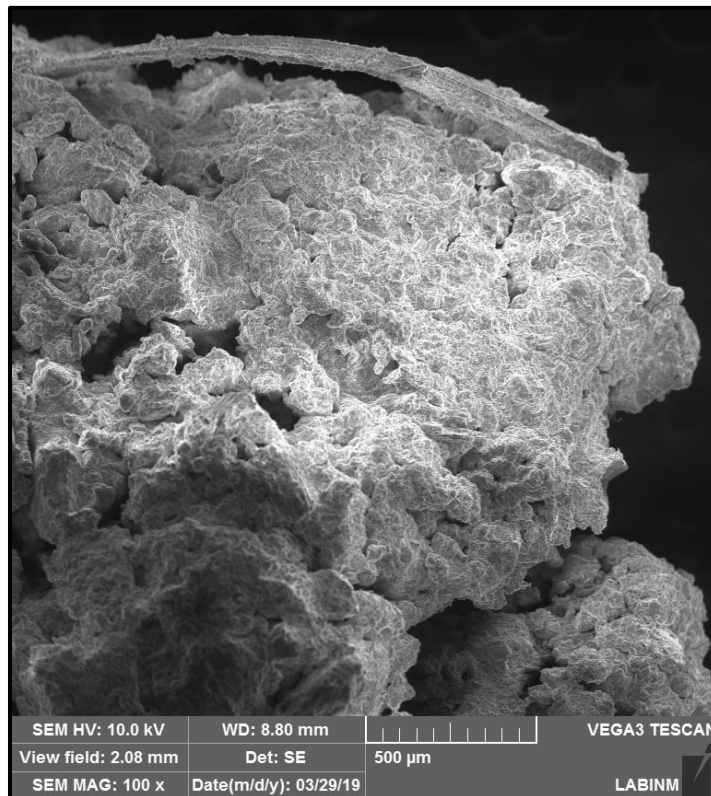
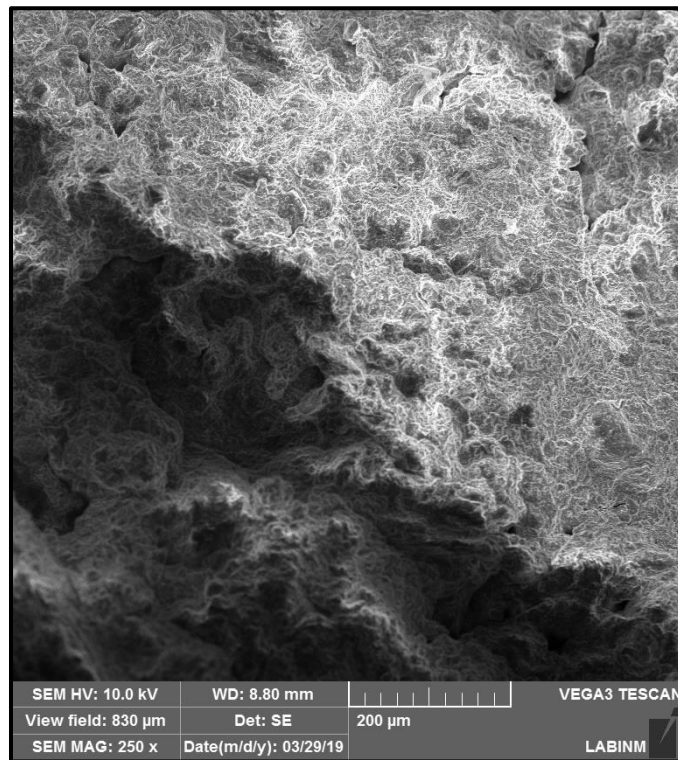


Muestra sin Oquedad

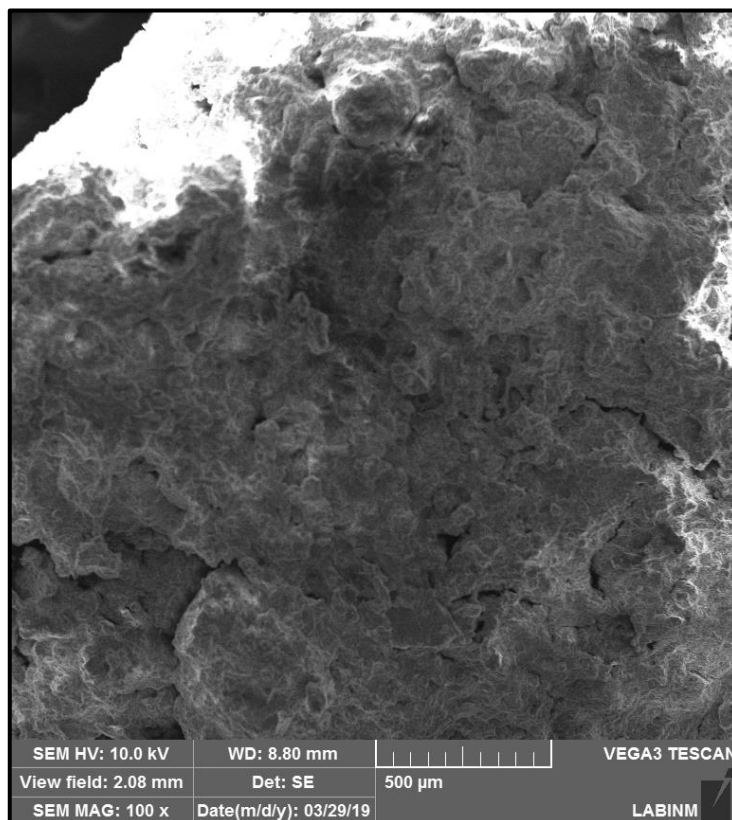
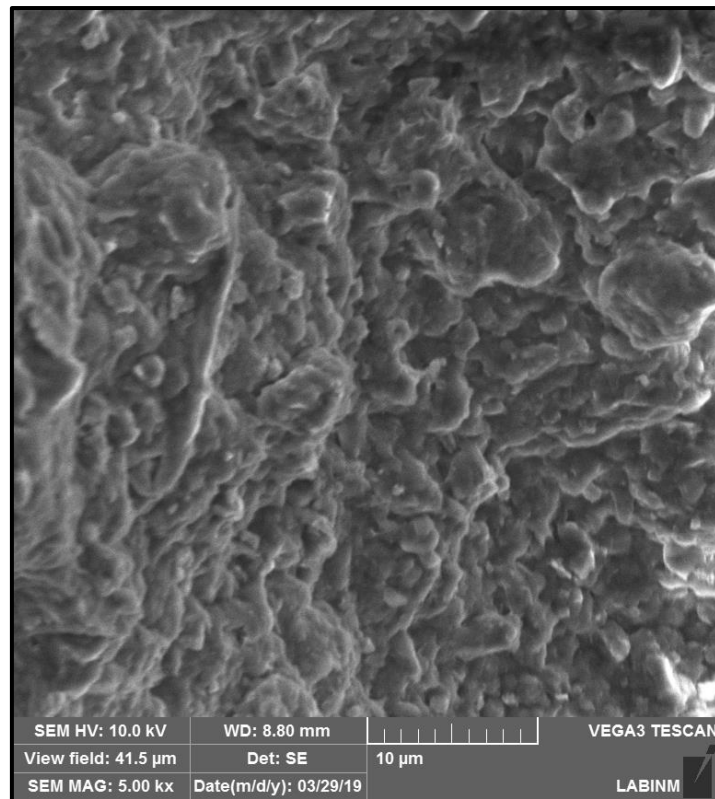
- **Microscopio electrónico de barrido**
 - Muestra sin Adición de Goma Natural



- Muestra con 5% de Adición de Goma Natural



- Muestra con 10% Adición de Goma Natural



- Muestra con 20% Adición de Goma Natural

