

**DETERMINACIÓN DE LA VIABILIDAD DE CONCRETO ESTABILIZADO EN
TIERRA CON ADICIÓN DE BAGAZO Y MELAZA**

**CRISTOPHER CAMILO FLOREZ RANGEL
ERICK RODRIGUEZ CADENA**

**Universidad Pontificia Bolivariana
Escuela de Ingenierías
Facultad de Ingeniería Civil
Floridablanca - Santander
2024**

**DETERMINACIÓN DE LA VIABILIDAD DE CONCRETO ESTABILIZADO EN
TIERRA CON ADICIÓN DE BAGAZO Y MELAZA**

**CRISTOPHER CAMILO FLOREZ RANGEL
ERICK RODRIGUEZ CADENA**

Proyecto de Grado para optar al título de Ingenieros Civiles

**Director:
CARLOS FERNANDO RIVERA PEÑA**

**Universidad Pontificia Bolivariana
Escuela de Ingenierías
Facultad de Ingeniería Civil
Floridablanca - Santander
2024**

Nota de aceptación:

Firma presidente del Jurado

Firma Jurado No. 1

Firma Jurado No. 2

Bucaramanga, marzo de 2024

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO	xii
GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE	13
1. INTRODUCCIÓN	15
2. PLANTEAMIENTO	16
3. JUSTIFICACIÓN	17
4. OBJETIVOS	19
4.1 Objetivo General	19
4.2 Objetivos Específicos	19
5. MARCO TEÓRICO	20
6. METODOLOGÍA	29
6.1 CARACTERIZACIÓN DEL SUELO	29
6.2 DISEÑO Y DOSIFICACIONES DE MEZCLAS BASE	30
6.2 ELABORACIÓN DE MUESTRAS CON DISEÑOS DE MEZCLAS BASE	31
6.2.1 Cilindros	33
6.2.2 Muretes	34
6.2.3 Regletas	35
6.4 ELABORACIÓN DE MUESTRAS CON DISEÑOS DE MEZCLAS BASE y ADITIVOS	36
6.4.1 Mezcla base y melaza	36
6.4.2 Mezcla base y bagazo	38
7. ANÁLISIS Y RESULTADOS	42
7.1 CARACTERIZACIÓN DEL SUELO	42
7.1.1 DESCRIPCIÓN Y LOCALIZACIÓN DEL SUELO	42
7.2 CARACTERIZACIÓN DEL SUELO POR MÉTODO VERNÁCULO	42
7.2.1 Test de tamaño de partículas	42
7.2.2 Test de color	42
7.2.3 Test por brillo	43
7.2.4 Test de caída de bola	43
7.2.5 Test de vidrio	44
7.2.6 Test del cordón	46
7.2.7 Test de la cinta	47
7.2.8 Test de exudación	47
7.2.9 Test de la resistencia seca	48
7.2.10 Test de rollo	49
7.3 CARACTERIZACIÓN DEL SUELO POR MÉTODO CIENTÍFICO	51

7.3.1 Ensayo de granulometría	52
7.3.2 Ensayo de límites de Atterberg	55
7.4 OTROS MÉTODOS DE CLASIFICACIÓN DEL SUELO.....	57
7.4.1 Clasificación del suelo según método AASHTO.....	57
7.4.2 Clasificación del suelo según sistema unificado.....	60
8. DOSIFICACIONES DE MEZCLA BASE PARA MURETES Y CILINDROS	62
9. PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DEL FALLO A MURETES y CILINDROS DE LA MEZCLA BASE.....	64
9.1 Resistencia a la compresión.....	64
9.2 Resistencia a la tracción por flexión	65
9.3 Resistencia a la erosión húmeda	67
9.4 Resistencia a la abrasión	68
9.5 Contracción lineal.....	70
10. MEZCLA BASE TIPO B	72
11. PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE MUESTRAS CON MEZCLA BASE TIPO B MÁS ADITIVOS (MELAZA – BAGAZO).....	74
11.1 Aditivo melaza.....	74
11.2 Aditivo bagazo.....	75
11.3 Correlación entre ensayos de Bagazo y Melaza.....	76
12. DISCUSIÓN	86
13. CONCLUSIONES	90
14. RECOMENDACIONES	92
REFERENCIAS	93

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 Diagrama de flujo para caracterización del suelo.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 2. Pesaje de materiales.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 3. mezclado de los primeros componentes.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 4. Mezcla homogénea de los materiales.</i>	<i>33</i>
<i>Figura 5. Creación y enrasamiento de cilindros A - B.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 6. Extracción de las muestras de los cilindros A. -B.</i>	<i>34</i>
<i>Figura 7. Muestras de muretes.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 8. Muestras de muretes.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 9. Creación de Muestras de retracción.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 10. Elaboración de mezcla con aditivo Melaza (A. Adición de la melaza en los agregados, Vista exterior) (B. Adición de la melaza en los agregados, vista cenital) (C. Adición de la melaza en los agregados, vista interna).....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 11. Adición de melaza.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 12. Retiro de muestra.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 13. Preparación del vertido (A. vertido, enrazamiento y vibrado del vertido) (B. vertido desencofrado).....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 14. Elaboración de mezcla para ensayos.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 15. Bagazo.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 16. Separación de fibras de bagazo.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 17. Mezcla de agregados con bagazo (A. mezcla de los agregados vista superior) (B. mezcla de los agregados vista lateral).....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 18. Mezcla terminada.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 19. Test de brillo.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 20. Test de caída de bola.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 21. Test de vidrio.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 22. Clasificación de suelos (Pocero 2016, p. 9-11 y Célia, 2009).....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 23. Registro fotográfico Ensayo de Granulometría.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 24 Curva Granulométrica.....</i>	<i>53</i>
<i>La Figura 25, representa el valor del límite líquido para la muestra de suelo.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 26 Límite líquido.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 27. Índice de plasticidad.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 28 Clasificación de suelo según método AASHTO.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 29 Gráfica Sistema Unificado de Clasificación de suelos. (Bowles, 1981, p.72).....</i>	<i>61</i>

<i>Figura 30. Resultados esfuerzo a la compresión mezcla base</i>	65
<i>Figura 31 Resultados Esfuerzo de Flexión Mezcla base</i>	66
<i>Figura 32 Ensayo de Erosión</i>	68
<i>Figura 33 Ensayo de Abrasión mezcla base</i>	70
<i>Figura 34 Ensayo de retracción mezcla Base</i>	71
<i>Figura 35 Proporciones de materiales, Diseño Base elegido</i>	73
<i>Figura 36 % de Adición de melaza</i>	75
<i>Figura 37. Porcentaje adición de bagazo</i>	76
<i>Figura 38. Figura Resistencia a la Flexión Aditivo Melaza</i>	77
<i>Figura 39 Ensayos de flexión muretes con aditivo bagazo</i>	78
<i>Figura 40. Ensayos de compresión muretes con aditivo melaza</i>	79
<i>Figura 41 Ensayos de compresión muretes con aditivos bagazo</i>	79
<i>Figura 42 Ensayos de resistencia a la abrasión con aditivo melaza</i>	81
<i>Figura 43 Ensayos de resistencia a la abrasión aditivo bagazo</i>	81
<i>Figura 44 Ensayos de retracción aditivo melaza</i>	83
<i>Figura 45 Ensayo de retracción aditivo de bagazo</i>	83
<i>Figura 46 Ensayos de resistencia a la erosión aditivo Melaza</i>	85
<i>Figura 47 Ensayos de resistencia a la erosión aditivo Bagazo</i>	85

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Técnicas de construcción con tierra. (Gatti, 2012, p.22)	21
Tabla 2 Tipos de ensayos para caracterización de una muestra de tierra (Pocero 2016, p. 9-11)	22
Tabla 3. Dosificaciones para mezclas iniciales.	30
Tabla 4 Dimensiones de muestras para ensayos de laboratorio	31
Tabla 5. Referencias normativas de ensayos de laboratorio	31
Tabla 6. Test de tamaño de partículas	42
Tabla 7. Test de color	43
Tabla 8. Caracterización por brillo	43
Tabla 9. Caracterización de Test de caída de bola	44
Tabla 10. Datos test de vidrio	45
Tabla 11 Cálculos test del vidrio	45
Tabla 12. Caracterización Test del cordón	46
Tabla 13. Interpretación Test de cinta	47
Tabla 14. Caracterización con Test de exudación	47
Tabla 15. Caracterización por Test de resistencia seca	48
Tabla 16. Caracterización por test de rollo	49
Tabla 17. Tipo de suelo y técnica constructiva. (Célia, 2009)	49
Tabla 18. Recomendaciones para las técnicas de construcción y estabilizante en función de los test de campo. (Célia, 2009)	51
Tabla 19. Datos ensayo granulométrico	53
Tabla 20. Coeficiente de curvatura	54
Tabla 21. Datos ensayo límite líquido	55
Tabla 22 clasificación de suelos método AASHTO	59
Tabla 23 clasificación de suelos sistema unificado. (Bowles, 1981, p.72)	60
Tabla 24. Dosificación inicial o Base (A)	62
Tabla 25. Dosificación Inicial o Base (B)	63
Tabla 26. Dosificación Inicial o Base (C)	63
Tabla 27. Resistencia a la compresión diseños base (A, B, C)	64
Tabla 28. Resistencia a la flexión diseños base (A, B, C)	66
Tabla 29. Prueba de Erosión Diseños Base (A, B, C)	67
Tabla 30. Resistencia a la abrasión diseños base (A, B, C)	69
Tabla 31. Prueba de Retracción Diseños Base (A, B, C)	71
Tabla 32. Ensayos de flexión y compresión muretes con aditivos Bagazo y Melaza	77
Tabla 33. Ensayos compresión muretes con aditivos Bagazo vs Melaza	78
Tabla 34. Ensayos de abrasión muretes con aditivos	80

Tabla 35. Ensayos de retracción de muretes con aditivos _____ 82

Tabla 36. Ensayos de resistencia a la erosión muretes con aditivos _____ 84

RESUMEN EN ESPAÑOL



RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: DETERMINACIÓN DE LA VIABILIDAD DE CONCRETO ESTABILIZADO EN TIERRA CON ADICIÓN DE BAGAZO Y MELAZA

AUTOR(ES): CRISTOPHER CAMILO FLOREZ RANGEL
ERICK RODRIGUEZ CADENA

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): CARLOS FERNANDO RIVERA PEÑA

RESUMEN

El presente trabajo de grado tiene como objeto brindar una alternativa sustentable para construcción de concreto en tierra con estabilizantes naturales que son subproductos de la elaboración de la panela, los cuales son: El Bagazo y la Melaza, teniendo en cuenta que en este proyecto se busco la no implementación de cemento como agente ligante con el fin de reducir el impacto de la huella de carbono, y en sustitución se empleó cal. Así mismo se emplearon materiales nativos de la Región, incluyendo el suelo, se realizaron ensayos Físicos, Mecánicos, Organolépticos y el suelo se Clasificó mediante el método Vernáculo y Científico Respectivamente, Posteriormente se procedió a plantear y elegir un diseño base, una vez obtenido el diseño base, se suministran los aditivos y se procede a realizar ensayos de Flexión, Compresión, Erosión, Abrasión, Retracción, mediante estos ensayos se pudo constatar que el aditivo mejoró las propiedades mecánicas de las muestras.

PALABRAS CLAVE:

Concreto en Tierra, Melaza, Bagazo, Estabilizante

Vº Bº DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

RESUMEN EN INGLÉS



GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: DETERMINATION OF THE FEASIBILITY OF CONCRETE STABILIZED ON EARTH WITH THE ADDITION OF BAGASSE AND MOLASSES

AUTHOR(S): CRISTOPHER CAMILO FLOREZ RANGEL
ERICK RODRIGUEZ CADENA

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: CARLOS FERNANDO RIVERA PEÑA

ABSTRACT

The purpose of this degree work is to provide a sustainable alternative for the construction of concrete on land with natural stabilizers that are byproducts of the production of panela, which are: Bagasse and Molasses, taking into account that in this project the non-implementation of cement as a binding agent in order to reduce the impact of the carbon footprint, and lime was used instead. Likewise, native materials from the Region were used, including the soil, Physical, Mechanical, and Organoleptic tests were carried out and the soil was Classified using the Vernacular and Scientific method respectively. Subsequently, a base design was proposed and chosen, once the base design, the additives are supplied and Flexion, Compression, Erosion, Abrasion, Shrinkage tests are carried out. Through these tests it was possible to verify that the additive improved the mechanical properties of the samples.

KEYWORDS:

Earth Concrete, Molasses, Bagasse, Stabilizer

Vº Bº DIRECTOR OF GRADUATE WORK

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años ha crecido el interés de desarrollar materiales de construcción que sean ecológicos y sostenibles. La tierra ha sido el material de construcción más utilizado por el hombre a través de la historia por su gran disponibilidad y abundancia en el mundo, sin embargo, la industrialización introdujo el uso de otros materiales de construcción con gran impacto ambiental que hicieron de la tierra un material menos común. (Catalán, 2018, p.7)

La adición de fibras naturales a la tierra ha podido generar materiales reforzados con mejores propiedades físico-mecánicas, preservando el medio ambiente y de bajo costo.

La melaza y el bagazo, subproductos de la industria panelera, son desechos agrícolas aprovechables y disponibles en la región.

El objetivo de este trabajo de investigación es el reconocimiento, identificación y comparación de propiedades físico-mecánicas del hormigón en tierra adicionando subproductos de la panela. Para lograrlo se diseñó una mezcla base con distintas dosificaciones de materiales; que permitieron elaborar muestras de muretes y cilindros en los que se aplicaron pruebas de resistencia a la compresión, flexión, erosión, abrasión y contracción lineal para establecer la óptima y favorable en la construcción.

2. PLANTEAMIENTO

El área de la construcción y la efectividad de las técnicas utilizadas en la misma se disponen de acuerdo con la facilidad de adquisición de materiales y el comportamiento de estos; este proyecto pretende determinar la viabilidad de la mezcla de concreto en tierra vertida más aditivos orgánicos como el bagazo y la melaza.

Estos materiales son biodegradables y de fácil adquisición; se deben identificar aspectos del comportamiento de la tierra como mezcla y de su unión con los demás agregados para originar combinaciones dosificadas en distintas proporciones y establecer sus propiedades físicas y mecánicas obtenidas experimentalmente; las referencias cuantitativas se obtendrán mediante ensayos de laboratorio que permitan analizar el comportamiento de este material y determinen así su aplicabilidad dentro de las técnicas de construcción actuales.

3. JUSTIFICACIÓN

La construcción en tierra es el método más validado y empleado por el hombre a lo largo de la historia. (Catalán, 2018, p.7) La elección de este recurso es su fácil y gran disponibilidad, el bajo costo en la producción y el uso en variadas técnicas de construcción. (Vargas et al, 2022, p.12). A través de los años el hombre se adaptó a sus características y aprendió a mejorarlas agregándole fibras vegetales como refuerzos para mejorar su resistencia (Echeverry et al, 2017, p.12)

El adobe es una técnica de construcción en tierra aplicada desde la antigüedad y que ha perdurado en el tiempo; se ha caracterizado por su resistencia a movimientos sísmicos sin sufrir daños significativos. Hay quienes afirman que recientes construcciones con ADOBE han causado catástrofes humanas por las inclemencias climáticas, ya que esta técnica tradicional se ha perdido y se utiliza de forma empírica y sin asistencia técnica o de ingeniería. (Echeverry et al, 2017, p.12)

En la actualidad se cuenta con herramientas que permiten evaluar y determinar las propiedades físicas y mecánicas de un material conglomerante de otro, como lo es el concreto en tierra vertida que viene siendo una alternativa económica en la construcción, puesto que reduce el uso del cemento dentro de la mezcla pudiendo alcanzar valores de resistencia aceptables y aptos para las técnicas constructivas actuales; se ha visto como el concreto con tierra vertida tiene diversas aplicaciones desde elementos estructurales como muros portantes hasta fachadas o decoración en edificaciones. (Clausel et al, 2019)

La bioconstrucción como se denomina hoy en día es la recopilación de técnicas ancestrales que protegen el medio ambiente, a su vez tienen la ventaja de ser ejecutada con una combinación de otras técnicas de vaciado; es una alternativa estética, fácilmente manejable, adaptable a diversas formas y texturas y también para aplicarse a varios acabados. (Clausel et al, 2019). En esa medida radica la importancia de este proyecto de naturaleza investigativa y experimental.

Finalmente, la construcción es un campo que no deja de ser tendencia con el paso del tiempo, la tierra vuelve a tener un renovado interés y mayor acogida en la industria para proporcionar construcciones sostenibles que ahorren energía y

también el uso de recursos naturales libres de emisiones de CO₂, los cuales aportan capacidad de regulación higrotérmica, neutralización de olores, no uso de productos químicos. (Rivas, 2021 y Metaarquitectos, 2020). En el presente trabajo de investigación se utilizaron productos orgánicos como estabilizantes lo que permite reducir el impacto ambiental.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Determinar la viabilidad del concreto en tierra vertida estabilizado con subproductos de la panela como materia prima sustentables en la construcción

4.2 Objetivos Específicos

4.2.1 Determinar las características del suelo o materia prima por medio de ensayos in-situ, experimentales, pruebas organolépticas y visuales

4.2.2 Proponer un diseño de mezcla preliminar para elaborar concreto en tierra seleccionando el óptimo.

4.2.3 Analizar los diseños de mezcla de concreto en tierra vertida con adición de bagazo y melaza seleccionando el más favorable.

5. MARCO TEÓRICO

A medida que pasa el tiempo, han incrementado las tecnologías en todos los campos especialmente en la construcción, con el surgimiento de sistemas industrializados que reducen significativamente los tiempos de ejecución de obras y facilitan de cierta manera la realización de proyectos. (Catalán, 2018, p.7)

Las técnicas milenarias como la construcción con tierra que se habían dejado atrás surgen por el efecto del cambio climático y la contaminación ambiental que incurre en el uso de otras técnicas de construcción o elaboración de materiales para la misma; esta técnica se retoma ecológica y sustentable; ya que genera un impacto positivo en cuanto al ahorro energético, lo que hace posible hacer de la tierra un material fuerte, resistente y estudiar métodos que mejoren su calidad, comportamiento, funcionamiento, capacidad portante e impedir su erosión logrando eficiencia mediante el uso de técnicas actuales. (Catalán, 2018, p.11)

La construcción con tierra es de los temas más sonados hoy; aproximadamente un tercio de la población mundial vive en edificios donde su materia prima principal es la tierra, de igual manera muchas obras arquitectónicas emblemáticas se construyeron con tierra, como la muralla china, las pirámides aztecas, los templos egipcios, entre otras. (Metaarquitectos, 2020 y Gatti, 2012, p. 16). La tierra como material de construcción tiene diversas ventajas como la alta resistencia al fuego, adecuada capacidad portante, es de fácil accesibilidad en la naturaleza, es económico y disminuye el impacto ambiental significativamente. (Metaarquitectos, 2020 y Gatti, 2012, p. 14).

Los usos de la tierra en la construcción son varios, estructuralmente útil para construcción de edificaciones y pavimentos, aplica interiores y exteriores, caracteriza la buena capacidad de absorción de la humedad y de olores, reducen ondas de alta frecuencia, genera aislamiento acústico, plasticidad, cohesión y

compactibilidad y puede mantener capacidades por periodos largos. (Gatti, 2012, p. 9).

Existen doce métodos de construcción en tierra presentados en la “rueda de las técnicas”. Las cuales se clasifican con respecto a su plasticidad para aplicarse en obra: seco, húmedo, plástico, viscoso o incluso líquido. (Gatti, 2012, p. 22).

Tabla 1 Técnicas de construcción con tierra. (Gatti, 2012, p.22)

TÉCNICA	PLASTICIDAD
1. EXCAVAR	SÓLIDO Y/O SECO
2. CUBRIR	
3. LLENAR	
4. CORTAR	
5. COMPACTAR	HÚMEDO
6. MOLDEAR	PLÁSTICO
7. AMONTONAR	
8. MODULAR	
9. EXTRUIR	
10. DAR FORMA	LÍQUIDO
11. VERTER	
12. APLICAR	

Dentro de los modos de construcción tradicionales con tierra se tiene: El adobe, la tapia, bloque de tierra comprimido, la tierra ensacada, el terrón y el COB. (Catalán, 2018, p.9 -11 y Pocero, 2016, p. 13-21). El adobe es un mezclado de barro secado al sol con fibras vegetales para mejorar su cohesión, la tapia compuesta de arena húmeda compactada, el bloque de tierra comprimida es una base de arcilla húmeda más un aglomerante, se comprime y moldea, mediante una prensa mecánica

manual o automática. El COB que consiste en juntar bolas de barro unas con otras en forma apilada; funcionando como el actual sistema de mampostería, la tierra ensacada conocido como superadobe que se compone de tierra mezclada con cemento o cal junto con una cantidad de polietileno u otros materiales y también el terrón consiste en un bloque extraído del suelo implementado en Uruguay. (Catalán, 2018, p.9 -11 y Pocero, 2016, p. 13-21)

En la actualidad se cuenta con herramientas que permiten identificar y caracterizar la tierra o el suelo útil para construcción, pues no toda la tierra lo es; se incluyen ensayos que pueden ayudar a elegir de manera adecuada el material como los ensayos organolépticos, in-situ y otros más detallados los ensayos de laboratorio para la caracterización del material estos ensayos se muestran a continuación. (Pocero, 2016, p. 9-11)

Tabla 2 Tipos de ensayos para caracterización de una muestra de tierra (Pocero 2016, p. 9-11)

Tipo de Ensayo	Nombre del ensayo	Descripción
Ensayos Organolépticos	Olfato	Determinar o no la presencia de material orgánico por el olor, al presentar altas temperaturas o humedad se desprende el olor.
Ensayos Organolépticos	Gusto	Ensayo de mordedura. Arenoso: con sensación de movimiento en la boca Arcilloso: sensación harinosa y se pega a la lengua

Tipo de Ensayo	Nombre del ensayo	Descripción
Ensayos Organolépticos	Tacto	<p>Se debe humedecer la muestra de tierra:</p> <p>Limoso: sensación áspera moderadamente cohesiva</p> <p>Arenoso: las partículas no son cohesivas</p> <p>Arcilloso: sensación plástica y pegajosa.</p>
Ensayos Organolépticos	Visual	<p>Si hay grietas en suelos húmedos: tierra con alto nivel de arcilla</p> <p>Si hay granos y no cohesión: tierra arenosa.</p> <p>En terreno seco buscar separar las partículas finas de las gruesas.</p> <p>Si más partículas finas: suelo limoso y arcilloso.</p> <p>Si más partículas gruesas: suelo arenoso.</p>

Tipo de Ensayo	Nombre del ensayo	Descripción
Ensayos Organolépticos	Color	<p>Puede determinar características del suelo, pero puede alterarse por la humedad.</p> <p>Se mide comprándose con las tablas Munsell.</p> <p>Color oscuro o negro: es el color de la materia orgánica.</p> <p>Color blanco: este color lo dan los carbonatos y el yeso.</p> <p>Color pardo amarillo lo dan los óxidos de hierro unidos a la arcilla.</p> <p>Color rojo: lo aporta el óxido férrico.</p> <p>Colores heterogéneos grises y rojos o pardos: compuestos ferrosos y férricos</p> <p>Colores grises verdosos y azulados: compuestos ferrosos y arcillas saturadas.</p>

Tipo de Ensayo	Nombre del ensayo	Descripción
Ensayos in-situ	Adhesión	Consiste en introducir una espátula en la muestra húmeda, cuando quedan partículas adheridas se trata de material arcilloso, de lo contrario el material se considera arenoso.
Ensayos in-situ	Retracción	Se coloca una muestra húmeda en una caja de madera hasta que el fondo se deja por un periodo de 3 días al sol o 7 días en sombra. Una vez seca la muestra se mide el hueco que falta por llenar. La máxima retracción aceptada para muros exteriores es de 2 mm.
Ensayos in-situ	Cuchillo	Consiste en cortar una pelota húmeda en la mitad, si la superficie es color mate indica limo y si su interior se conserva brillante se trata de una arcilla.
Ensayos in-situ	Cilindro	<p>Se forma un cilindro con la muestra húmeda y se aplasta formando una tira, se sostiene en los dedos hasta que esta se rompa. Según el trozo partido estaremos ante un terreno u otro:</p> <ul style="list-style-type: none"> Ø Muy arcilloso: 15-30 cm Ø Arcilla en un 50%: 5-15 cm Ø Pobre en arcillas: < 5 cm.

Tipo de Ensayo	Nombre del ensayo	Descripción
Ensayos in-situ	Bola	Se toma una muestra mezclada con agua formando una bola de 5 cm de diámetro se comprime y posteriormente se deja caer a una altura de 1.2 mt y se concluye el tipo de material de acuerdo con su estado final luego de la caída
Ensayos in-situ	Sedimentación	Se coge una botella de vidrio y se marca hasta $\frac{1}{4}$. Luego se administra el $\frac{1}{4}$ con tierra y el resto con agua. Agitar bien y luego 1 horas después volver a agitar y dejar reposar durante 45 min, luego se observa el grado de sedimentación: las gravas y arenas se depositarán en la parte inferior y limos y arcillas estarán en la parte superior.
Ensayos in-situ	Pastilla	Crear una pastilla con la muestra húmeda de 5x5x1 cm y fragmentarla, se concluye que tipo de suelo es dependiendo la dificultad para destruirla.
Ensayos de laboratorio	Granulometría	Obtención de curva granulométrica por medio de un tamizaje de partículas.
Ensayos de laboratorio	Límite líquido	Límites de Atterberg, cuchara de Casagrande.

Tipo de Ensayo	Nombre del ensayo	Descripción
Ensayos de laboratorio	Proctor	Se mide la cantidad de agua óptima para generar una adecuada compactación del material.
Ensayos de laboratorio	Análisis químico	Establecer la composición química que pueda tener el suelo y la presencia de agentes contaminantes.
Ensayos de laboratorio	Corte directo	Se establece la cohesión, plasticidad, se obtiene mediante la recta de Coulomb y el ángulo de rotura.
Ensayos de laboratorio	Test de Lambe	Consiste en observar hinchamiento y retracción.
Ensayos de laboratorio	Capacidad de absorción y permeabilidad	Determinar el contenido de humedad y su capacidad máxima de retención o inclusión de agua a la muestra.

En la construcción, la tierra requiere el uso de estabilizantes para el mejoramiento de sus propiedades físico-mecánicas, lo cual genera un incremento de la resistencia a la compresión, disminuye o elimina la absorción de agua, reduce su tendencia a dilatarse, crea sellos evitando la porosidad y disminuye la presencia de agrietamiento. (Catalán, 2018, p.19 y Stulz et al. 1993).

Dentro de los tipos de estabilizadores más comunes se pueden encontrar el cemento, la cal, la puzolana, el yeso, el asfalto, el silicato de sodio, la resina, el suero y la melaza pero también puede ser útil la aplicación de productos como fibras vegetales, paja, cenizas de madera; El yeso es favorable como estabilizador para

bloques de tierra por presentar reducción en tiempos de curado, la cal se caracteriza por generar aumento en la resistencia a la compresión al igual que el cemento y la puzolana, el asfalto presenta la ventaja de reducir la presencia de agua, mientras que un aditivo como la melaza mejora las condiciones de resistencia a la compresión y reduce capilaridad, se adhiere con facilidad a suelo limoso y arcilloso. (Catalán, 2018, p.19 y Stulz et al. 1993).

Otro término para considerar en la mezcla de concreto son los llamados aditivos, distintos al cemento, el agua y la cal, que se introducen para mejorar el desempeño del concreto y reducir costos de obra. (Toxement, 2018).

El Bagazo de caña de azúcar es una fibra obtenida de la trituración de la caña y supone el 28 % del peso total y es uno de los mayores residuos agrícolas del mundo. (Pandey et al, 2000, p. 69-80 y Loh et al 2013 p. 14-22).

La melaza se obtiene del proceso final de evaporación, centrifugación y cristalización de los líquidos provenientes de la extracción del jugo de la caña. La fibra del bagazo origina rigidez y sus características morfológicas y las propiedades físico-mecánicas la califican como un material adecuado para ser empleado como fibro-refuerzo (Sera et al, 1990) p. 109-124); la melaza por otro lado es catalogado como un aditivo retardante y reductor de agua.

Colombia es considerado el segundo productor de caña panelera en el mundo y Santander es considerado el departamento con mayor producción de esta, lo cual no nos aleja a echar mano de un elemento disponible para poder ser utilizado y estudiado al mismo tiempo.

Se considera de acuerdo con la revisión bibliográfica, realizar un trabajo de investigación que determine la viabilidad del concreto en tierra con estabilizadores provenientes de productos orgánicos provenientes de la caña panelera que puedan ser sustentables para la construcción en nuestro entorno.

6. METODOLOGÍA

Trabajo de investigación de enfoque experimental.

6.1 CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

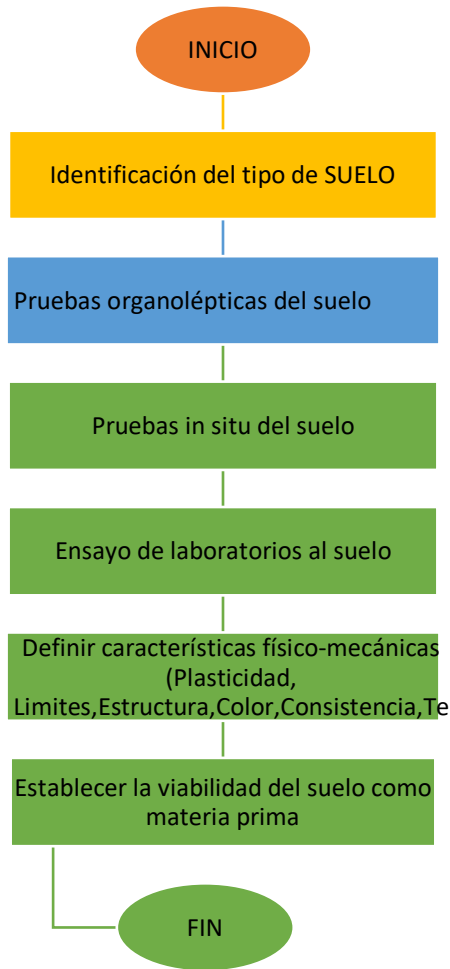


Figura1 Diagrama de flujo para caracterización del suelo.

La Figura 1 se evidencia el diagrama para la determinación de las características físico-mecánicas del suelo. Se realizarán pruebas organolépticas, in situ y de laboratorio, según los resultados esto permitirá establecer la materia prima de la mezcla base.

6.2 DISEÑO Y DOSIFICACIONES DE MEZCLAS BASE.

La referencia bibliográfica Un “**hormigón de tierra**”, establece que se debe analizar el suelo a utilizar, para establecer su composición de acuerdo con su calidad y el uso que se quiere dar; este se compone de un 10% de partículas finas, 28% suelo, un 36% hasta 64% de arena, un 40% de gravas, un 10% de agua y un 4% a 8% de un ligante, como el cemento. Este diseño tiene una dosificación regular ya que, se debe tener presente que hay diferentes tipos de tierra y que en su mayoría se suele usar un porcentaje de cemento en la dosificación con el fin de mejorar sus propiedades. (EPautet, 2018)

Para crear la mezcla preliminar, se obtuvieron 3 diseños de mezclas diferente sin uso del cemento, para identificar mediante diversos ensayos (compresión, flexión, retracción, abrasión, erosión), cuál de estas tenía las mejores propiedades físico-mecánicas ver tabla 3.

Las dosificaciones escogidas fueron las siguientes:

Tabla 3. Dosificaciones para mezclas iniciales.

Dosificación 1	Dosificación 2	Dosificación 3
FINOS 12%	FINOS 10%	FINOS 15%
HUMEDAD (AGUA) 8%	HUMEDAD (AGUA) 10%	HUMEDAD (AGUA) 12%
GRAVA (TRITURADO) 38%	GRAVA (TRITURADO) 40%	GRAVA (TRITURADO) 35%
ARENA 36%	ARENA 36%	ARENA 30%
LIGANTE (CAL) 6%	LIGANTE (CAL) 4%	LIGANTE (CAL) 8%

6.2 ELABORACIÓN DE MUESTRAS CON DISEÑOS DE MEZCLAS BASE

Se elaboró la producción de cilindros y muretes de las siguientes dimensiones:

Tabla 4 Dimensiones de muestras para ensayos de laboratorio

Muretes	Cilindros
Dimensiones: 40x20x40 centímetros	Dimensiones: 20 x 10 centímetros
Cantidad: 6 unidades	Cantidad: 3 unidades

Las muestras de muretes y cilindros se sometieron a ensayos de laboratorio que se referencian en la tabla 5 y se describirán más adelante.

Tabla 5. Referencias normativas de ensayos de laboratorio

Nombre del ensayo	Norma Referencia
Resistencia a la compresión	NTC 5324
Resistencia a tracción por flexión – Módulo de rotura	IRAM 12734, NZS 4298
Resistencia a la erosión húmeda	UNE 41410, NZS 4298, MX-C-508-ONNCCE
Resistencia a la abrasión	VN - E21 – 66, XP P13-901, NTC 5324
Correlación lineal (Retracción)	NZS 4298

Para cada una de las muestras, el proceso de elaboración es el mismo. Primero se obtienen los porcentajes de dicha dosificación, luego se pesan con una cantidad fija como, por ejemplo 100 kg para un murete con el fin de siempre tener las mismas proporciones y que no falte material a la hora de verterlo en el molde.



Figura 2. Pesaje de materiales

Al tener los materiales cuantificados mediante la utilización de la pesa, se procedió a verter la grava, la arena, los finos y la cal, antes de proceder a verter el agua para tener la humedad deseada, todos los componentes anteriormente mencionados se pudieron homogeneizar, es entonces que, al momento de añadir el agua, cada uno de los componentes se adhirieron entre sí.



Figura 3. mezclado de los primeros componentes

Después de unos 3-5 minutos de mezclado, se tiene una mezcla lista para verse en los moldes.



Figura 4. Mezcla homogénea de los materiales.

6.2.1 Cilindros

Para la creación de las muestras de compresión, abrasión y erosión se crearon unos cilindros con la dosificación 1, 2 y 3, de las siguientes medidas: 20 centímetros de altura y 10 centímetros de diámetro.



A

B

Figura 5. Creación y enrasamiento de cilindros A - B

Cada uno de estos cilindros elaborados tenían tres capas de 25 golpes y al final, para eliminar los excesos se enrasaron. Se utilizó como desencofrante -ACPM- con el fin de evitar que en el proceso de curado se pegaran a las paredes y se estropeará

la muestra, finalmente se almacenaron en un lugar sin contacto directo con el sol ni el agua.



Figura 6. Extracción de las muestras de los cilindros A. -B.

Al final de doce días de espera, se desencofraron los cilindros para que tuvieran un curado homogéneo y verificaran el estado de las muestras.

6.2.2 Muretes

Para crear la muestra de flexión se necesitaron unos muretes, que tenían estas medidas: 40 cm de largo, 20 de ancho y 40 de alto.



Figura 7. Muestras de muretes



Figura 8. Muestras de muretes

Estos muretes al igual que los cilindros, se les aplicó ACPM desencofrante y se extrajeron a los 12 días de secado.

6.2.3 Regletas

Por último, se elaboraron regletas en madera para la muestra que se llevaría a la prueba de retracción, para poder ver las grietas o fisuras que presentaban con el tiempo de curado; se resalta que estas regletas no tienen una medida estándar y que estos moldes no requieren de un desmoldante.



Figura 9. Creación de Muestras de retracción

6.4 ELABORACIÓN DE MUESTRAS CON DISEÑOS DE MEZCLAS BASE y ADITIVOS

6.4.1 Mezcla base y melaza

Al tener el diseño óptimo de mezcla, se añadieron diferentes porcentajes del aditivo para evaluar su comportamiento. Los porcentajes escogidos de la dosificación de la melaza de la caña de azúcar fueron del 2%, 4% y 6% ya que, al haber un aumento en el porcentaje de melaza, la resistencia a la compresión se verá reducida. (Rodríguez, 2020).

Para la creación de las muestras el proceso de mezclado y dosificación es similar. A cada muestra se le añadió la melaza, ésta se medía en litros por cada 100kg de dosificación.

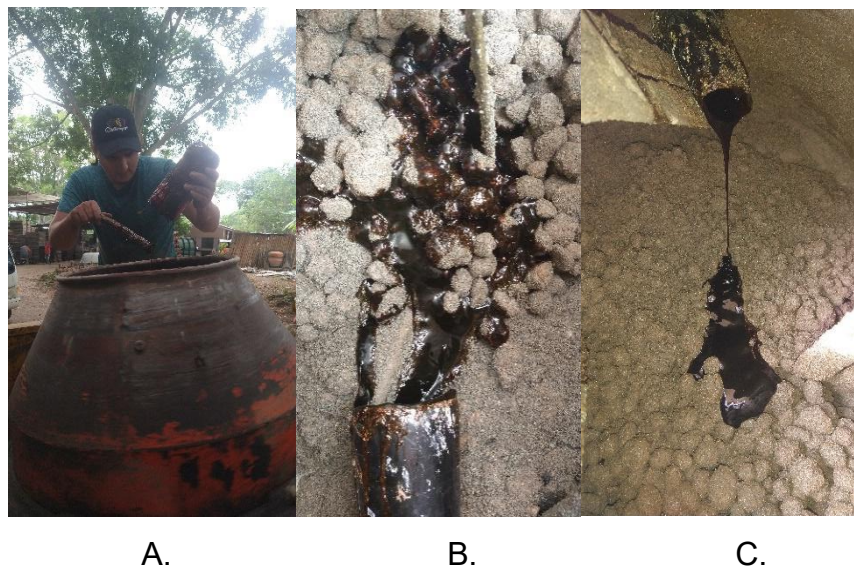


Figura 10. Elaboración de mezcla con aditivo Melaza (A. Adición de la melaza en los agregados, Vista exterior) (B. Adición de la melaza en los agregados, vista cenital) (C. Adición de la melaza en los agregados, vista interna)

La melaza debe añadirse antes de aplicar el agua para que el mezclado y la aplicación lenta homogeneiza toda la mezcla. El principal problema fue que no se puede añadir la totalidad de la melaza a la mezcla.



Figura 11. Adición de melaza

Después del tiempo de mezclado, se procedió a apagar la mezcladora y retirar la mezcla.



Figura 12. Retiro de muestra

Al tener la mezcla lista para el vertido, al igual que con la muestra base, el molde debe tener un desmoldante y no se puede aplicar la mezcla en el molde en un

movimiento, pues se debe hacer por capas, ya que cada capa (3-5) debe tener un vibrado y compactado de la muestra para evitar dejar vacíos en la muestra, se puede hacer con un vibrador o una varilla y finalizar, se mide y se enrasa.



A.

B.

Figura 13. Preparación del vertido (A. vertido, enrazamiento y vibrado del vertido) (B. vertido desencofrado)

Para las pruebas de retracción, abrasión y erosión se hicieron muestras similares al diseño base.



Figura 14. Elaboración de mezcla para ensayos

6.4.2 Mezcla base y bagazo

Al igual que con la melaza, se debía escoger un porcentaje para el agregado de bagazo, en este caso, por la cantidad de volumen que representa el mismo material, no se podían añadir cantidades superiores al 1% de la mezcla en general, pues al

pesar, los porcentajes que se requería para la creación de un murete de 100 kg del 2%, 4% y 6% serían 2 kg, 4 kg y 6 kg respectivamente y un costal de lleno de bagazo no pesa más de 2 kg; además un molde se podía llenar por completo con menos de medio costal y por eso en lugar de escoger el 2%, 4% y 6%, se escogió el 0.2% 0.4% y 0.6% con el fin de poder hacer comparaciones. (Vargas, 2012, p.59 y Rodriguez, 2020).



Figura 15. Bagazo

El bagazo y otros materiales fibrosos que pueden ser de origen vegetal como es el caso de la paja de diferentes gramíneas, virutas de madera, acículas de pináceas, cáscaras de coco, tallos del maíz y fibras de pita o sisal pueden ser utilizados como aditivos lo cual permite que al mezclarse con la tierra mejore la resistencia y la ductilidad. (Guerrero et al, 2014). La recomendación es usar fibras que no superen los 10 cm de longitud, con base en esto, se utiliza el bagazo, en su mayoría está compuesto por fibras largas y anchas, todas las fibras se separaron y cortaron para que cumplieran con la longitud deseada, una vez cortadas y organizadas, se separaron por peso para cada una de las dosificaciones. (Imanzadeh, 2020)



Figura 16. Separación de fibras de bagazo

Al igual que con la melaza, esta fibra se debe suministrar de manera progresiva para que cada una de las fibras quede completamente homogeneizada con la mezcla, puesto que antes de administrar el agua, estas fibras tienden a agruparse en un solo lugar y la mezcla puede quedar con “parches” o zonas en las que hay más presencia de un material que otra.



A.

B.

*Figura 17. Mezcla de agregados con bagazo (A. mezcla de los agregados vista superior)
(B. mezcla de los agregados vista lateral)*

Tras un par de minutos en la mezcladora y se retira el material, se revisará que la mezcla sea homogénea antes de aplicarla a los moldes.



Figura 18. Mezcla terminada

Igualmente se procedió a aplicar por capas y a compactar, para evitar la formación de burbujas de aire.

7. ANÁLISIS Y RESULTADOS

7.1 CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

7.1.1 DESCRIPCIÓN Y LOCALIZACIÓN DEL SUELO

La materia prima (tierra) proviene del municipio de Floridablanca, procedente de la vía que conduce de Piedecuesta a Bucaramanga, se tomó material suficiente para proceder con la elaboración de ensayos de laboratorio que permitieron su caracterización y la determinación de propiedades físico-mecánicas.

7.2 CARACTERIZACIÓN DEL SUELO POR MÉTODO VERNÁCULO

7.2.1 Test de tamaño de partículas

El ensayo consiste en una separación manual de partículas discrepando partículas finas de partículas gruesas.

Tabla 6. Test de tamaño de partículas

Test táctil visual	Marque con X	Clasificación
Limos y arcillas > Arena y grava	X	Limosa o arcillosa
Limos y arcillas < Arena y grava		Arenosa

7.2.2 Test de color

El ensayo consiste en una inspección visual del color de la muestra. (*Pocero 2016, p. 9-11 y Célia, 2009*)

Tabla 7. Test de color

Marque con X	Color	Característica
	Claros y brillantes	Suelo inorgánico
X	Café oscuro, verde oliva o negro	Suelo orgánico

7.2.3 Test por brillo

La prueba consistió en la toma de material fino del suelo y amasar aplicando agua de modo que el tamaño de la bola formada sea igual al de la mano, se corta en la mitad y se observa la presencia de brillo en la superficie. (Célia, 2009)



Figura 19. Test de brillo

Tabla 8. Caracterización por brillo

Tipo de superficie	Marque con una X	Clasificación
Brillante		Arcillosa
Poco brillo	X	Limosa
Opaca		Arenosa

7.2.4 Test de caída de bola

La preparación de la muestra se realizó separando la porción de tierra seca y humedeciéndola para formar una bola de diámetro entre 3 a 5 cm, dejándola caer de una altura de 1 o 1.2 metros, observando presencia de fisuras. (Pocero 2016, p. 9-11 y Célia, 2009)



Figura 20. Test de caída de bola

La bola presenta algunas fisuras como se muestra en la Imagen 25 y se consigna en la Tabla 9.

Tabla 9. Caracterización de Test de caída de bola

Fisuras después de la caída	Marque con una X
Ninguna	
Algunas	X
Muchas	
Desintegración total	

7.2.5 Test de vidrio

Con el uso de un frasco de vidrio, se llenó de tierra seca hasta 1/3 de su altura, al cual se adiciona agua hasta 2/3 de la altura del vidrio, se agitó, se dejó en reposo por 1 hora para nuevamente agitar pasado este tiempo y repetir el tiempo de reposo, por último, se tomó la altura de las capas. (Pocero 2016, p. 9-11 y Célia, 2009)

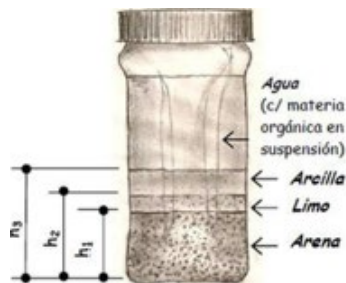


Figura 21. Test de vidrio

Tabla 10. Datos test de vidrio

Altura [cm]		Porcentaje
h1	2	Arena
h2	6	Limo
h3	12	Arcilla

Tabla 11 Cálculos test del vidrio

$(h1/h3) * 100\%$	$((h2-h1)/h3) * 100\%$	$((h3-h2)/h3) * 100\%$
=16.66% arena	=33.33% limos	=50.0% arcilla

Se procede a dar clasificación al suelo mediante la Figura n22.

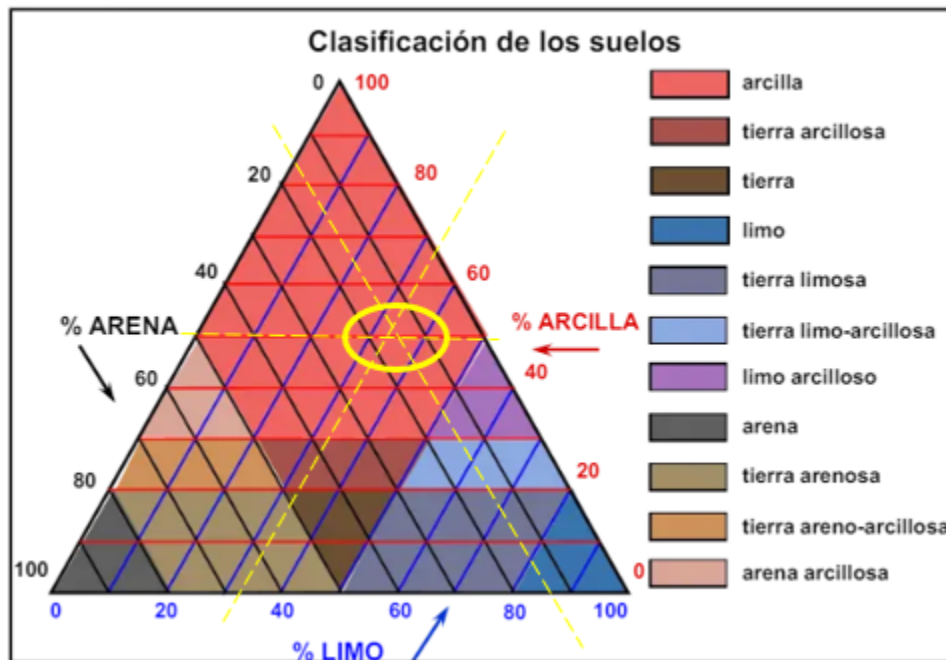


Figura 22. Clasificación de suelos (Pocero 2016, p. 9-11 y Célia, 2009)

Mediante los diagramas indicativos de uso de la tierra por test de vidrio se observa que la muestra corresponde a una arcilla.

7.2.6 Test del cordón

Mediante este test se evalúa la resistencia de la tierra en un determinado estado de humedad y la relaciona con el tipo más probable de suelo.

se toma una porción de tierra seca y se adiciona agua para formar un cordón de 3 mm de diámetro en una superficie plana y lisa hasta que este se rompa.

- Luego se forma una bola de la tierra en esa humedad y se verifica la fuerza necesaria para aplastarla entre el pulgar y el indicador. (*Pocero 2016, p. 9-11 y Célia, 2009*)

Tabla 12. Caracterización Test del cordón

Marque con una X	Tipo del cordón	Ruptura de la bola	Clasificación e interpretación
X	Duro	Solo se puede quebrar la bola con mucho esfuerzo o no se quiebra	Demasiada arcilla; tierra de alta plasticidad
	Suave	Poco resistente, se fisura y desmorona fácilmente	Tierra arcillo limosa, arenosa o areno-arcillosa; plasticidad mediana
	Frágil	Frágil. No se puede moldear la bola debido a su fragilidad	Bastante limo o arena y poca arcilla; baja plasticidad.
	Suave y esponjoso	Esponjosa y suave. Si es comprimida, vuelve a esponjarse.	Suelo orgánico. No es apto para ningún tipo de construcción.

7.2.7 Test de la cinta

Este test consiste en formar una cinta a partir de un cilindro de 3 a 6 mm de espesor y adelgazar la muestra en forma alargada de determinada longitud con las manos hasta dar forma a una cinta hasta que se fracture o rompa. (Célia, 2009)

Tabla 13. Interpretación Test de cinta

Marque X	Tipo de la cinta	Comportamiento de la cinta
X	Es posible formar una cinta de 25 a 30 cm sin dificultad	Mucha arcilla; tierra de alta plasticidad
	Es posible formar una cinta de 5 a 10 cm con dificultad	Tierra arcillo-limosa, arenosa o arenos-arcillosa; plasticidad mediana
	No se hace la cinta	Bastante limo o arena y poca arcilla, sin plasticidad

7.2.8 Test de exudación

El test consiste en aplicar agua a la muestra poniéndola en la palma de la mano, dar una serie de golpes y observar el comportamiento de la salida de agua. (Célia, 2009)

Tabla 14. Caracterización con Test de exudación

Marque con una X	Tipo de reacción	Número de golpes	Efecto en la muestra	Clasificación interpretada
	Rápida	5 a 10	El agua aflora a la superficie de la muestra; la presión de los dedos hace el agua desaparece inmediatamente	Poca plasticidad; arena fina inorgánica o limo grueso inorgánico;

			y una presión más fuerte aplasta la torta	tierra arenosa o limosa.
X	Lenta	20 a 30	El agua aparece y desaparece lentamente, la presión de los dedos hace con que la torta se deforma como una masa de caucho	Limo ligeramente plástico o limo arcilloso
	Muy lenta	Más de 30	No hay cambio notable	Tierra de alta plasticidad, arcilla

7.2.9 Test de la resistencia seca

El test consiste en elaborar “monedas” en estado húmedo de 1 centímetro de espesor y de 2 centímetros a 3 centímetros de diámetro, dejar reposar y secar al sol y luego aplastarlas. (Célia, 2009)

Tabla 15. Caracterización por Test de resistencia seca

Marque con una X	Resistencia	Esfuerzo de ruptura	Comportamiento	Clasificación e interpretación
	Grande	Resistente	No se pulveriza	Suelo inorgánico de alta plasticidad, arcilla
X	Mediana	Poco resistente	Es posible reducir los pedazos a polvo	Tierra arcillo limosa, tierra arcillo arenosa o arena arcillosa
	Poca	No resistente	Fácil disgregación	Falta de cohesión. Suelo arenoso, limoso inorgánico u otro con poca arcilla

7.2.10 Test de rollo

El test consiste en elaborar con las manos un cordón de 200 mm de largo y 15 mm de diámetro, exponiéndose en el borde de una superficie hasta que se rompa. (Célia, 2009)

Tabla 16. Caracterización por test de rollo

Marque con una X	Ruptura del cordón	Interpretación
	Menos de 80 mm	No hay arcilla suficiente
X	Entre 80 y 120 mm	Cantidad ideal de arcilla
	Mayor a 120 mm	Exceso de arcilla

En la tabla 16 se muestra un resumen de los resultados probables de los ensayos descritos anteriormente y se define una técnica constructiva para cada tipo de suelo según estos ensayos.

Tabla 17. Tipo de suelo y técnica constructiva. (Célia, 2009)

Test cordón	Test cinta	Test exudación	Test resistencia	Tipo de tierra	Técnica constructiva
Cordón frágil o resistencia nula	Cinta corta o no se consigue hacer cinta	Reacción rápida a lenta, pero jamás muy lenta	Poca o nula, generalmente nula	Arenosa, areno-limosa, areno-arcillosa, limo-arcillosa	Ladrillo prensado, adobe y tierra compactada

Test cordón	Test cinta	Test exudación	Test resistencia	Tipo de tierra	Técnica constructiva
Cordón frágil a blando	Cinta corta	Reacción lenta a muy lenta	Poca a mediana	Limosa	Utilización más difícil que las tierras anteriores, más posible con el uso de un aglomerante
Test cordón	Test cinta	Test exudación	Test resistencia	Tipo de tierra	Técnica constructiva
Cordón blando	Cinta corta a larga	Reacción muy lenta o sin reacción	Mediana a grande	Arcillosa con grava, arcillo-arenosa y arcillo-limosa	Tierra compactada o ladrillo prensado con aglomerante
Cordón duro	Cinta larga	Sin reacción	Grande	Arcillosa	Fabricación de adobe con adición de fibras y embarrado de técnicas mixtas

Se concluye luego de realizados los ensayos que el material se trata de una arcilla-arenosa, cuyo uso en la construcción se puede dar para tierra compactada o ladrillo prensado con aglomerante.

Identificación	Teste de cordón	Teste de exudación	Teste de resistencia seca	Técnica recomendada	Estabilizante más apropiado
TIERRA ARCILLOSA Y TIERRA LIMOSA					
Limo y limo arcilloso	Cordón frágil; no hace la bola	Reacción rápida a lenta, mas no demasiado lenta	Poca a nula, generalmente nula	Apto para todo tipo de técnica, particularmente BTC	Cemento Portland; puede ser afectado por temperaturas bajas
Limo	Cordón blando de resistencia mediana; bola muy frágil	Reacción lenta a nula	Poca a mediana	Evitar usar, si es necesario, adicionar aglomerante y revestir la superficie	Cemento Portland o emulsión asfáltica de baja viscosidad
Arcilla c/ grava, arcilla arenosa y arcilla limosa	Cordón blando de resistencia mediana; bola frágil se fisura	Reacción muy lenta a nula	Mediana a grande	Apropiado para BTC y tapia; necesita aglomerante	Corregir granulometría Usar impermeabilizante
Arcilla y arcilla plástica	Cordón duro; bola no se fisura	Sin reacción	Grande	Apropiado para adobe y técnicas mixtas	Paja o otro tipo de fibras
Limo orgánico y arcilla limosa orgánica	Cordón frágil y esponjoso; bola esponjosa	Lenta	Poca a mediana	No usar	
Arcilla orgánica		Reacción muy lenta a nula	Mediana a grande		
TIERRA ARENOSA					
Arena limosa	Cordón frágil; no hace la bola	Reacción rápida	Poca a nula, generalmente nula	Apto para todo tipo, particularmente BTC; si tiene mucha arena, agregar arcilla y estabilizar con aglomerante	Cemento Portland o cal, o los dos combinados. Corregir granulometría, si es necesario
Arena arcillosa	Cordón blando de resistencia mediana; bola muy frágil	Reacción lenta a muy lenta	Mediana	Apto para todo tipo, particularmente BTC; si tiene mucha arena, adicionar arcilla	Cemento Portland o cal, o los dos combinados. Corregir granulometría, si es necesario
Arena	No funcionan estos tests			No es apto	
TIERRA CON GRAVA					
Grava limoso, mezcla de gravas, arena y limo	No hace el cordón	Rápida	Nula	Conveniente si la grava no es muy gruesa; usar para adobe y monolíticos	Cemento Portland; usar cal como impermeabilizante
Grava arcilloso, mezcla de gravas, arena y limo	No hace el cordón	Lenta a muy lenta	Mediana	Adobe y monolíticos	Cal; usar emulsión asfáltica como impermeabilizante
Grava	No funcionan estos tests o estas pruebas			No es apto	

Tabla 9 – Recomendaciones para selección de la técnica de construcción y del estabilizante en función de los tests de campo (adaptado de CRA-Terre, 1979)

Tabla 18. Recomendaciones para las técnicas de construcción y estabilizante en función de los test de campo. (Célia, 2009)

Según la tabla 18 y la figura 22, el suelo se caracteriza como material arcillo-arenoso apto para la aplicación en la construcción como material prensado o tierra compactada.

7.3 CARACTERIZACIÓN DEL SUELO POR MÉTODO CIENTÍFICO

Este método de caracterización del suelo se realiza con ensayos de laboratorio preliminares de granulometría y límites de Atterberg, los cuales son el insumo para llevar a cabo la clasificación del suelo por el método AASTHO y por el Sistema Unificado de clasificación de suelos.

7.3.1 Ensayo de granulometría

Se llevó a cabo ensayo de granulometría por medio del análisis de la separación por tamizado, se tomó una muestra de suelo alterada y se llevó a cabo la separación de acuerdo con la norma del Instituto Nacional de Vías, con el fin de establecer las características del suelo en cuanto a uniformidad y distribución de partículas mediante la definición de coeficientes de curvatura y de uniformidad. (ASTM D 4318-17e1, 2017)



Figura 23.Registro fotográfico Ensayo de Granulometría

La muestra de suelo pasó por tamices de No. 4 a 200, el peso de la muestra fue de 617.92 gramos, obteniendo los siguientes datos.

Tabla 19. Datos ensayo granulométrico

Tamiz	Abertura (mm)	Retenido			
		Parcial (g)	Parcial (%)	Acumulado (%)	Pasa (%)
No. 4	4.75	42.88	11.03	11.03	88.97
No. 10	2.00	64.21	16.51	27.54	72.46
No. 20	0.84	64.91	16.69	44.23	55.77
No. 40	0.42	62.43	16.05	60.28	39.72
No. 60	0.25	31.74	8.16	68.44	31.56
No.140	0.106	62.42	16.05	84.49	15.51
No. 200	0.075	23.62	6.07	90.57	9.43
Fondo		2.27	0.58	91.15	8.85

Siguiendo con el análisis granulométrico se grafica el porcentaje que pasa contra el diámetro del tamiz para obtener el perfil granulométrico correspondiente a la muestra.

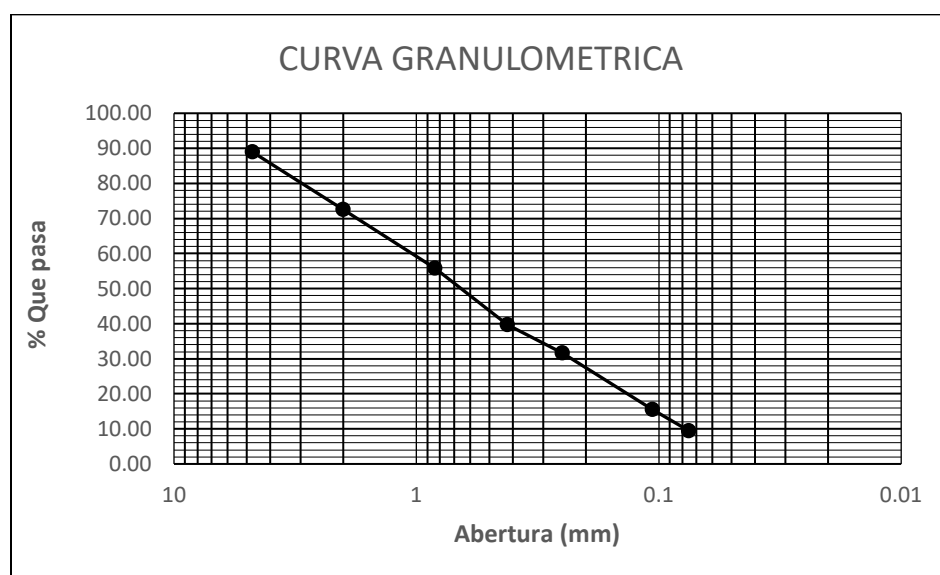


Figura 24 Curva Granulométrica

Cálculo del coeficiente de uniformidad - Cu

Se define mediante la relación del diámetro que corresponde al 60% del peso del material y el diámetro que corresponde al 10% del material, dando lugar a:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 0.72$$

Tabla 20. Coeficiente de curvatura

RANGO	CARACTERÍSTICA
Cu < 3	Muy uniforme
3 < Cu < 5	Uniforme
Cu > 5	No uniforme

Dados los resultados, se puede definir que la muestra corresponde a un suelo muy uniforme

Cálculo del coeficiente de curvatura – Cc

Este índice se define como el porcentaje de vacíos y establece su nivel de gradación o distribución, está definido mediante la relación:

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}} = 2.21$$

Este valor refleja la curvatura de la gráfica granulométrica, si este coeficiente se encuentra dentro de un rango entre 1 y 3 el suelo está bien distribuido, dados los resultados se establece que la muestra de suelo corresponde a un suelo bien distribuido o gradado lo que significa que tiene porcentaje de vacíos menor y por tanto su densidad es inversamente proporcional, por tanto, se trata de un suelo poco compresible e impermeable

7.3.2 Ensayo de límites de Atterberg

Este ensayo se realiza con el fin de caracterizar el material y definir su tipo, es un método que describe la consistencia de suelos de grano fino como arcilla o limo; de acuerdo con el contenido de humedad y a la caracterización granulométrica se definió preliminarmente que la muestra de suelo fue arena. (ASTM D 4318-17e1, 2017)

7.3.2.1 Límite líquido

El ensayo en resumen consiste en el porcentaje o contenido de humedad que requiere una muestra de suelo para cerrar una ranura de 12.7mm después de dar 25 golpes, determinado en ASTM D-4318. (ASTM D 4318-17e1, 2017)

7.3.2.2 Límite Plástico

Este límite, se define como el contenido de humedad en el cual la muestra de suelo al ser enrollada en hilos se desmorona, este procedimiento está definido en ASTM D-4318. (ASTM D 4318-17e1, 2017)

Tabla 21. Datos ensayo límite líquido

CÁPSULA	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	48	33	431	69	451
Cápsula No.	48	33	431	69	451
No. De golpes	30	24	15		
Peso Cápsula (g)	11.08	12.36	10.6	18.42	10.99
Peso Cápsula Suelo húmedo (g)	24.27	23.59	22.39	27.16	19.02
Peso Cápsula Suelo seco (g)	21.64	21.32	19.94	25.91	17.87
Peso del agua (g)	2.63	2.27	2.45	1.25	1.15
Peso Suelo seco (g)	10.56	8.96	9.34	7.49	6.88
Contenido de agua (%)	24.91	25.33	26.23	16.69	16.72

La Figura 25, representa el valor del límite líquido para la muestra de suelo

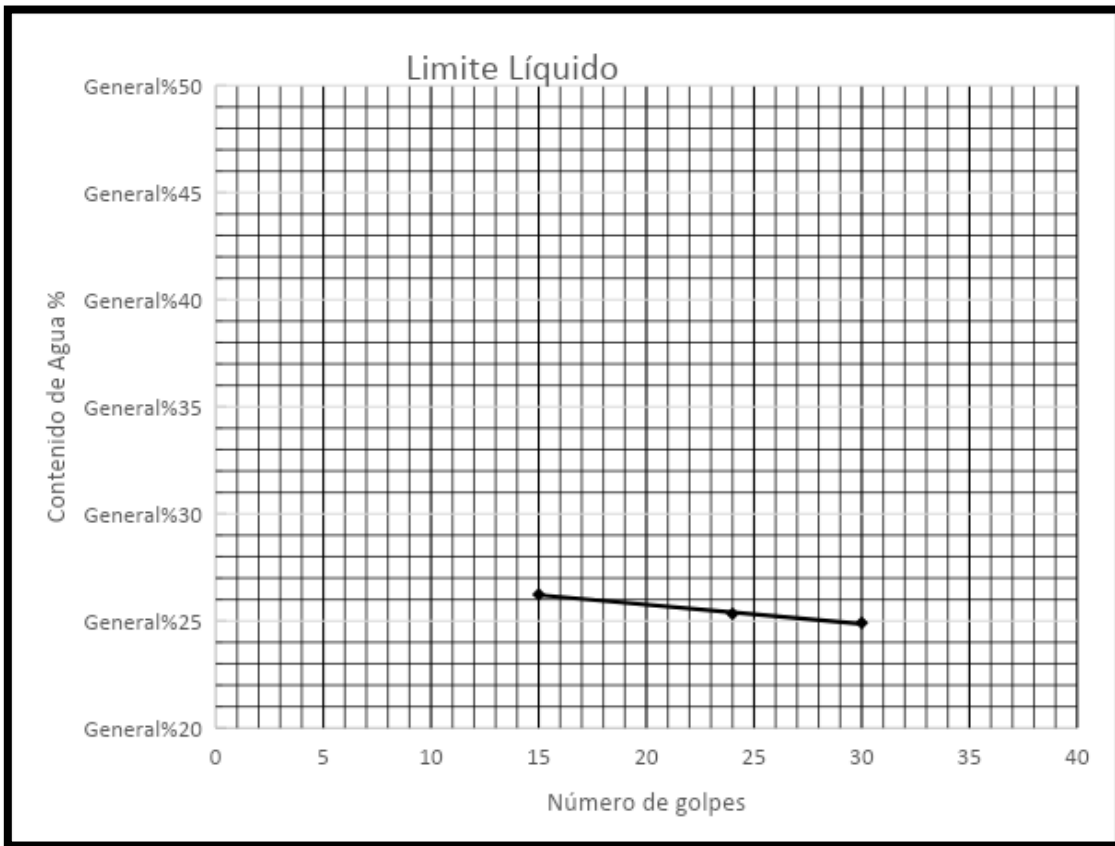


Figura 26 Límite líquido

Ahora bien, el índice de plasticidad se calcula como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico:

$$IP = LL - PL \rightarrow 25 - 17 \rightarrow IP = 8$$

Obteniendo valores de límites así:

Límite líquido: 25

Límite plástico: 17

Índice de plasticidad: 8

Teniendo en cuenta la carta de plasticidad presentada en la figura 27, que relaciona el límite líquido con el índice de plasticidad, se puede definir que se trata de un suelo poco cohesivo.

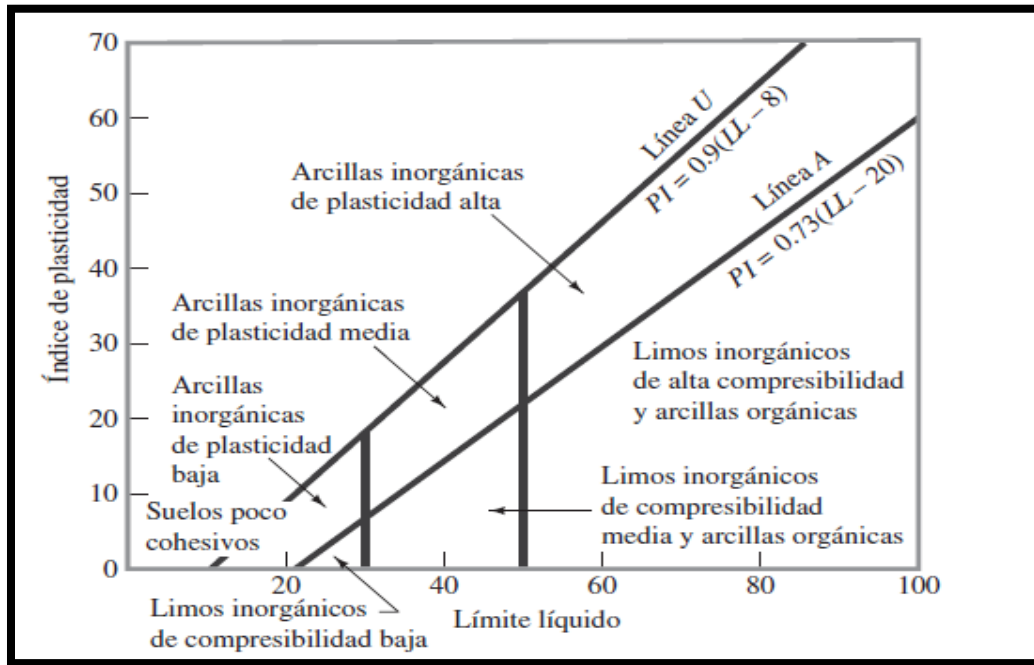


Figura 27. Índice de plasticidad

Las características de un suelo poco cohesivo descartan la caracterización del material como una arcilla inorgánica de baja plasticidad, la ausencia de cohesión significa la dificultad de las partículas para juntarse o adherirse entre sí, lo que se traduce en partículas relativamente grandes.

7.4 OTROS MÉTODOS DE CLASIFICACIÓN DEL SUELO

7.4.1 Clasificación del suelo según método AASHTO

Método descrito en ASTM D-3282 que clasifica los suelos del grupo A-1 a A-7, donde los grupos A-1 a A-3 se definen como materiales granulares, el método se basa en el tamaño de las partículas y en su índice de plasticidad para la clasificación

del suelo se aplica la gráfica 4, la cual define el método AASTHO de clasificación del suelo. (ASTM D-3282, 2005)

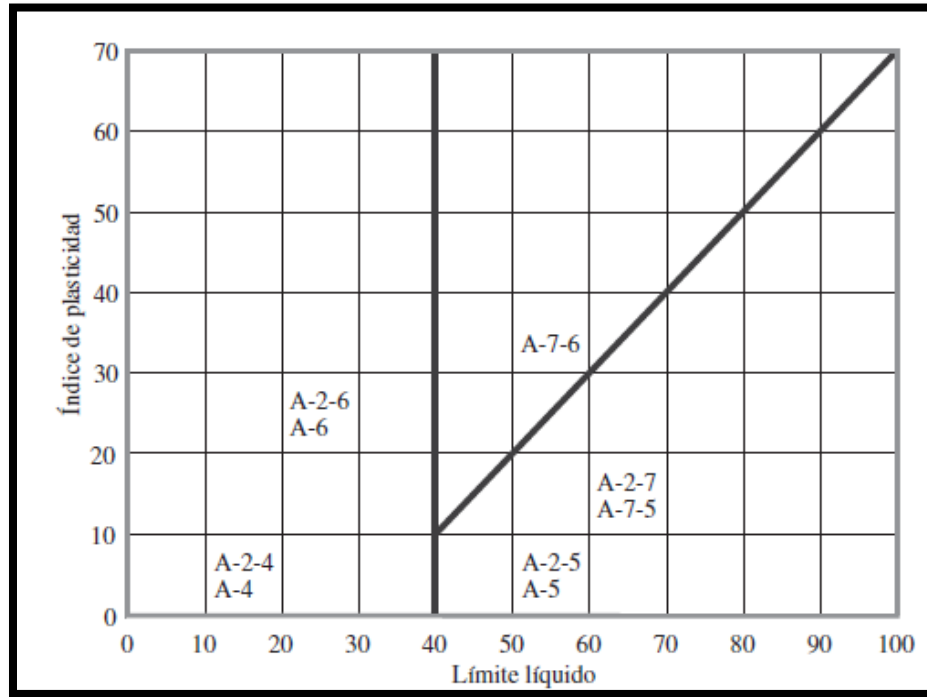


Figura 28 Clasificación de suelo según método AASTHO

Según la gráfica 4, el límite líquido obtenido mediante el ensayo de límite de Atterberg ubica la muestra de suelo en la zona naranja y dando aplicación al valor del índice de plasticidad obtenido en la caracterización de suelo, la muestra de suelo se ubica en la zona de la gráfica color verde, se procede aplicar la clasificación según el método AASTHO de acuerdo con la Tabla 22. (Bowles, 1981, p.72)

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)						
	A-1			A-2			
<i>Grupo de clasificación</i>	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)							
Núm. 10	50 máx.						
Núm. 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Núm. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.				
Características de la fracción de paso núm. 40							
Límite líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Limo o grava arcillosa y arena			
Clasificación general de la subrasante	Excelente a bueno						
Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)						
							A-7 A-7-5* A-7-6 [†]
<i>Grupo de clasificación</i>		A-4		A-5		A-6	
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)							
Núm. 10							
Núm. 40							
Núm. 200		36 mín.		36 mín.		36 mín.	36 mín.
Características de la fracción de paso núm. 40							
Límite líquido		40 máx.		41 mín.		40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad		10 máx.		10 máx.		11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes		Suelos limosos			Suelos arcillosos		
Clasificación general de la subrasante	Regular a malo						

Tabla 22 clasificación de suelos método AASHTO

De acuerdo con la imagen 1, el suelo se clasifica en el grupo A-2-4 como limo o grava arcillosa y arena. (Bowles, 1981, p.72)

7.4.2 Clasificación del suelo según sistema unificado

Método descrito en ASTM D-2487 clasifica los suelos en dos grupos: en el primer grupo se encuentran los suelos de grano grueso (gravas y arenas) y el segundo grupo los suelos de grano fino (limos y arcillas). (Bowles, 1981, p.72)

En la Figura 30 se puede apreciar la clasificación de suelos según el Sistema Unificado.

Criterio para la asignación de símbolos de grupo				Símbolos de grupo	
Suelos de grano grueso Más de 50% retenido en el tamiz núm. 200	Gravas Más de 50% de fracción gruesa retenida en el tamiz núm. 4	Gravas limpias	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$	GW	
		Menos de 5% finos ^a	$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3^c$	GP	
		Gravas con finos	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	GM	
		Más de 12% finos ^{a,d}	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	GC	
	Arenas 50% o más de la fracción gruesa pasa tamiz núm. 4	Arenas limpias	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$	SW	
		Menos de 5% finos ^b	$C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3^c$	SP	
Arenas con finos		$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	SM		
Más de 12% finos ^{b,d}		$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	SC		
Suelos de grano fino 50% o más pasa a través del tamiz núm. 200	Limos y arcillas Límite líquido menor que 50	Inorgánico	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2) ^e	CL	
		Orgánico	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2) ^e	ML	
	Limos y arcillas Límite líquido 50 o más	Inorgánico	Límite líquido: secado	$\frac{\text{Límite líquido: secado}}{\text{Límite líquido: no secado}} < 0.75$; vea la figura 4.2; zona OL	OL
			Límite líquido: no secado		
		Orgánico	Gráficos PI en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	CH	
			Gráficos PI por debajo de "A" línea (figura 4.2)	MH	
Suelos altamente orgánicos		Materia orgánica principalmente, color oscuro y orgánico		Pt	

^aGravas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC.
^bArenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC.
^c $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$
^dSi $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo GC-GM o SC-SM.
^eSi $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo CL-ML.

Tabla 23 clasificación de suelos sistema unificado. (Bowles, 1981, p.72)

De acuerdo con la Tabla 23 y teniendo en cuenta los datos obtenidos en el ensayo granulométrico se define que el suelo hace parte del primer grupo de grano fino y considerando que el límite líquido es inferior a 50 según la carta de plasticidad se trata de un suelo inorgánico, sin embargo, teniendo en cuenta el índice de plasticidad, se clasifica el suelo como limo o arcilla Tipo CL. La figura 29 (Inciso b), se determina:

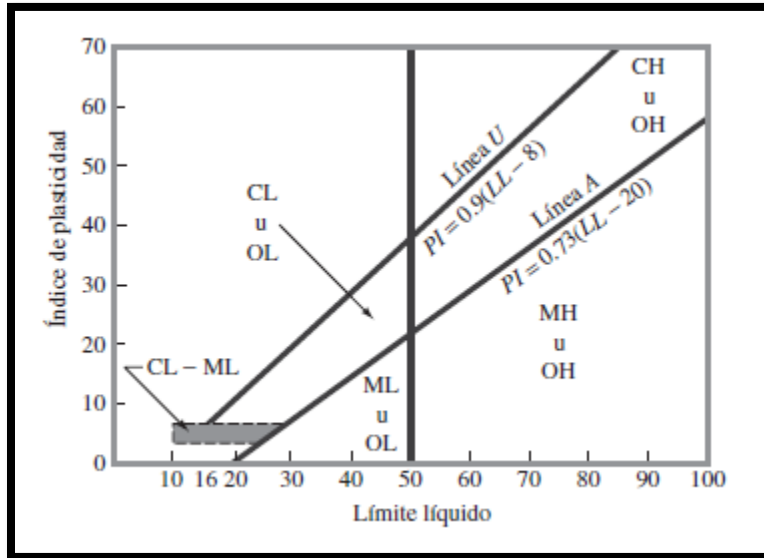


Figura 29 Gráfica Sistema Unificado de Clasificación de suelos. (Bowles, 1981, p.72)

Que según el límite líquido (25) y el índice de plasticidad (8) se ubica en o por encima de la línea A, por tanto, el símbolo doble al cual corresponde a un suelo de tipo arena tipo CL que corresponde a una arcilla mal gradada.

8. DOSIFICACIONES DE MEZCLA BASE PARA MURETES Y CILINDROS

El diseño preliminar se realizó con base en lo reportado en la literatura “La construcción en terre coulée: ¡c’est possible!” y La tierra se convierte en oro en manos del sabio”. (Rivas, 2021 y Sera et al, 1990 p. 109-124)

“Un “hormigón de tierra”, de una densidad de aproximadamente 2.200 kg/m³ se compone de un 10% de partículas finas, un 36% de arenas, un 40% de gravas, un 10% de agua y un 4% de un ligante, como el cemento. (Rivas, 2021)

De acuerdo con lo anteriormente enunciado se elaboraron 3 muestras Base de dosificaciones distintas sin cemento, las cuales se evaluaron por medio de ensayos a Flexión y Compresión para cada una y con esto obtener un diseño Base óptimo.

Tabla 24. Dosificación inicial o Base (A)

DOSIFICACIONES PARA MURETES-CILINDROS Y REGLETAS POR 100 Kg			
MATERIAL	DOSIFICACIÓN DE MATERIAL EN (%)	PESO TOTAL DE LA MUESTRA	DOSIFICACIÓN DE MATERIAL EN PESO
AGUA	8%	100 kg	8.00 Kg
FINOS (TIERRA)	12%	100 kg	12.00 Kg
TRITURADO	38%	100 kg	38.00 Kg
ARENA DE RÍO	36%	100 kg	36.00 Kg
CAL	6%	100 kg	6.00 Kg
Total	100%		100.00 Kg

Tabla 25. Dosificación Inicial o Base (B)

DOSIFICACIONES PARA MURETES-CILINDROS Y REGLETAS POR 100 Kg			
MATERIAL	DOSIFICACIÓN DE MATERIAL EN (%)	PESO TOTAL DE LA MUESTRA	DOSIFICACIÓN DE MATERIAL EN PESO
AGUA	10%	100 kg	10.00 Kg
FINOS (TIERRA)	10%	100 kg	10.00 Kg
TRITURADO	40%	100 kg	40.00 Kg
ARENA DE RÍO	36%	100 kg	36.00 Kg
CAL	4%	100 kg	4.00 Kg
Total	100%		100.00 Kg

Tabla 26. Dosificación Inicial o Base (C)

DOSIFICACIONES PARA MURETES-CILINDROS Y REGLETAS POR 100 Kg			
MATERIAL	DOSIFICACIÓN DE MATERIAL EN (%)	PESO TOTAL DE LA MUESTRA	DOSIFICACIÓN DE MATERIAL EN PESO
AGUA	12%	100 kg	12.00 Kg
FINOS (TIERRA)	15%	100 kg	15.00 Kg
TRITURADO	35%	100 kg	35.00 Kg
ARENA DE RÍO	30%	100 kg	30.00 Kg
CAL	8%	100 kg	8.00 Kg
Total	100%		100.00 Kg

9. PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DEL FALLO A MURETES y CILINDROS DE LA MEZCLA BASE

Una vez realizados los diseños de la mezcla Base tipo A, B y C, se evalúa el comportamiento físico y mecánico del fallo de los muretes y cilindros realizados de las distintas mezclas y las pruebas de resistencia a la flexión, compresión, abrasión, retracción que se aplicaron teniendo en cuenta la humedad. (NMX-C-508-ONNCCE, 2015 y NZS 4298,1998)

9.1 Resistencia a la compresión

El ensayo de resistencia a la compresión se basa en la aplicación de fuerza por medio de la prensa con carga a fallo. Se debe disponer del elemento a ensayar en posición vertical para proceder a su fallo; este ensayo consiste en la determinación del esfuerzo mediante la siguiente ecuación. (Red argentina protierra, 2020).

$$R=C/(S_b*10)$$

Donde: R= Esfuerzo de rotura, C= Carga de rotura, S_b = Sección bruta mínima del bloque.

Se observa que en la resistencia a la compresión La mezcla base o diseño inicial tipo B en los 2 cilindros tiene un mejor rendimiento con 22.55 y 21.85 KPa en una proporción de humedad del 10% ver tabla 27 y Figura 30.

Tabla 27. Resistencia a la compresión diseños base (A, B, C)

MATERIAL	TIPO DE MUESTRA	CONTENIDO DE AGUA (%)	DIAMETRO(D)	AREA (A)	ALTO (h)	VOLUMEN (m³)	PESO Kg	DENSIDAD Kg/m³	EDAD (días)	CARGA ULTIMA (N)	ESFUERZO σ
CONCRETO EN TIERRA	CILINDRO A(1)	8%	0,10 m	0,008 m²	0,20 m	0,0016 m³	3,750 Kg	2387,32 Kg/m	28 días	1550 N	7,75 Kpa
	CILINDRO A (2)	8%	0,10 m	0,008 m²	0,20 m	0,0016 m³	3,900 Kg	2482,82 Kg/m	28 días	4230 N	21,15 Kpa
	CILINDRO B (1)	10%	0,10 m	0,008 m²	0,20 m	0,0016 m³	4,000 Kg	2546,48 Kg/m	28 días	4510 N	22,55 Kpa
	CILINDRO B (2)	10%	0,10 m	0,008 m²	0,20 m	0,0016 m³	4,150 Kg	2641,97 Kg/m	28 días	4370 N	21,85 Kpa
	CILINDRO C (1)	12%	0,10 m	0,008 m²	0,20 m	0,0016 m³	3,350 Kg	2132,68 Kg/m	28 días	1410 N	7,05 Kpa
	CILINDRO C (2)	12%	0,10 m	0,008 m²	0,20 m	0,0016 m³	3,000 Kg	1909,86 Kg/m	28 días	1310 N	6,55 Kpa

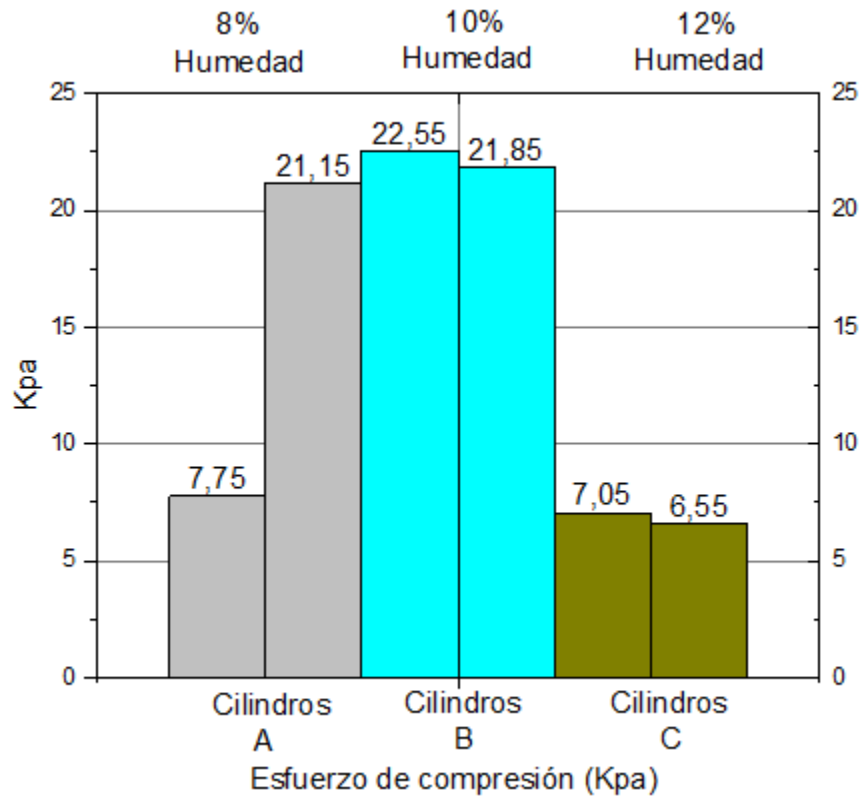


Figura 30. Resultados esfuerzo a la compresión mezcla base

9.2 Resistencia a la tracción por flexión

El ensayo de resistencia a la tracción consiste en la determinación del módulo de rotura, donde se aplica la siguiente ecuación. (Red argentina protierra, 2020).

$$f_k = \left(1 - 1.5 * \frac{S}{f_{prom}} \right) * f_{min}$$

Donde: f_k = el módulo de rotura de la muestra, f_{prom} = resistencia media a compresión, siendo n el número de probetas o muestras.

$$f_{prom} = \frac{\sum f_k}{n} \quad S = \frac{\sum (\sigma_i - \sigma_{prom})^2}{n - 1}$$

La desviación estándar de la muestra, en MPa.

En esta prueba La mezcla Base o diseño inicial tipo B tiene un mejor rendimiento con 0.07 Megapascales en una proporción de humedad del 10%, similar a lo encontrado en la prueba anterior ver tabla 24 y gráfico 7-

Tabla 28. Resistencia a la flexión diseños base (A, B, C)

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN													
RIAL	TIPO DE MUESTRA	CONTENIDO DE AGUA (%)	LARGO (L)	ANCHO (a)	ALTO (h)	AREA (m ²)	LONGITUD ENTRE APOYOS (l)	VOLUMEN (M ³)	PESO (Kg)	DENSIDAD (Kg/m)	EDAD (días)	CARGA ULTIMA (P)	ESFUERZO de FLEXIÓN
CONCRETO EN TIERRA	MURETE A	8%	0,40 m	0,40 m	0,20 m	0,16 m ²	0,35 m	0,032 Kg	66 Kg	2062,50 Kg/m	28 días	1250 N	41,02 Kpa
	MURETE B	10%	0,40 m	0,40 m	0,20 m	0,16 m ²	0,35 m	0,032 Kg	68 Kg	2135,94 Kg/m	28 días	2250 N	73,83 Kpa
	MURETE C	12%	0,40 m	0,40 m	0,20 m	0,16 m ²	0,35 m	0,032 Kg	67 Kg	2098,44 Kg/m	28 días	1000 N	32,81 Kpa

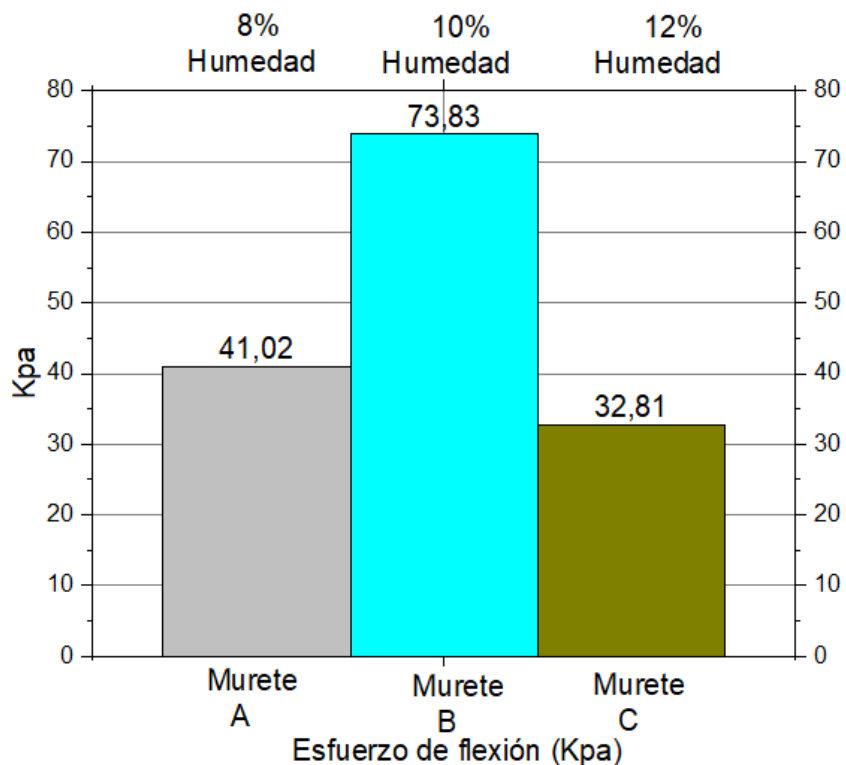


Figura 31 Resultados Esfuerzo de Flexión Mezcla base

9.3 Resistencia a la erosión húmeda

El ensayo de Erosión del diseño base se realizó para determinar el grado de desgaste que sufre una muestra y según la profundidad de desgaste determinar el comportamiento de los elementos expuestos a la intemperie; se pudo observar que los cilindros B con el porcentaje de humedad 10%, tienen mejor comportamiento para utilizarse en exteriores sin dejar de lado algunas recomendaciones en cuanto a los resultados obtenidos de los cilindros A ver tabla 25 y gráfico 8. (Red argentina protierra, 2020).

Tabla 29. Prueba de Erosión Diseños Base (A, B, C)

ENSAYO DE EROSIÓN				
MATERIAL	TIPO DE MUESTRA	CONTENIDO DE AGUA (%)	PROFUNDIDAD	CONDICIÓN
CONCRETO EN TIERRA	CILINDRO A	8%	7 mm	APTO PARA EXTERIORES, PERO NO ADECUADO
	CILINDRO A	8%	5 mm	APTO PARA EXTERIORES
	CILINDRO B	10%	4 mm	APTO PARA EXTERIORES
	CILINDRO B	10%	5 mm	APTO PARA EXTERIORES
	CILINDRO C	12%	10 mm	NO APTO PARA EXTERIORES
	CILINDRO C	12%	11 mm	NO APTO PARA EXTERIORES

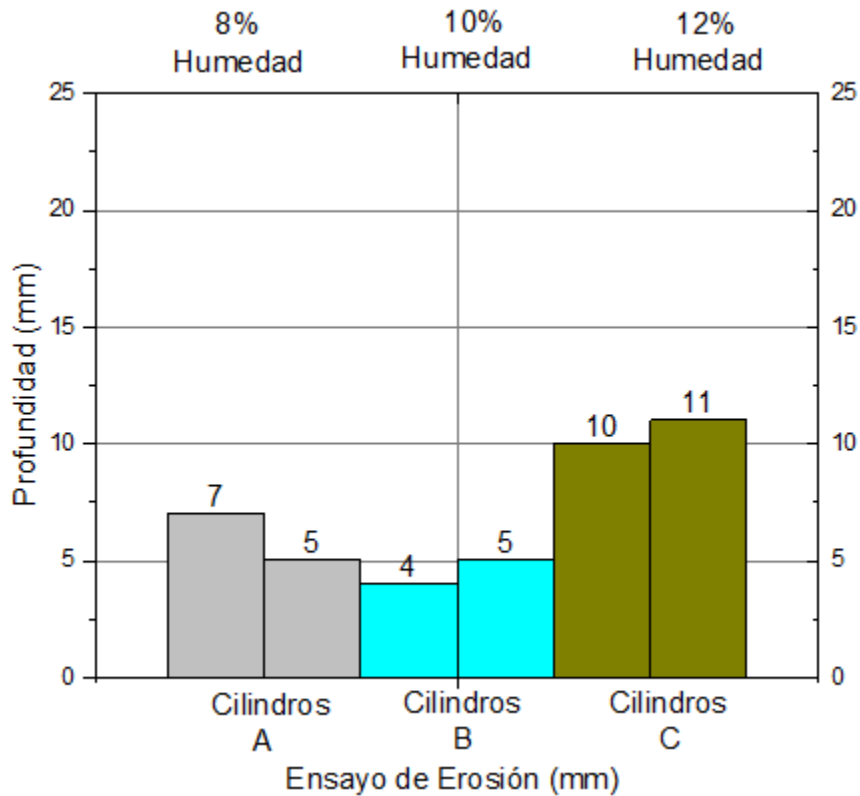


Figura 32 Ensayo de Erosión

9.4 Resistencia a la abrasión

El ensayo de resistencia a la abrasión inicio con el cepillado de la muestra tomando el valor de su masa antes y después de esta acción, así pues, consiste en determinar el área de la superficie cepillada y en coeficiente de abrasión por medio de las siguientes ecuaciones:

$$S = (L * l) * 0.01$$

$$C_a = \frac{S}{m_{inicial} - m_{final}}$$

Dónde: S = Superficie cepillada, L = Largo de la probeta, l = Ancho de la cepillada, C_a = Coeficiente de abrasión en, S = la superficie cepillada, $m_{inicial}$ = la masa inicial

de la probeta antes, m_{final} = la masa final de la probeta luego del ensayo. (Red argentina protierra, 2020).

Las diferentes muestras de cilindros obtuvieron un resultado similar sin importar el porcentaje de humedad, un nivel de resistencia 4 a la Abrasión. Las recomendaciones estándar del uso de muros exteriores construidos en tierra consideran que estos deben tener un nivel de resistencia de 1 o 2 ya un nivel más alto recomienda que estos debiesen ser revestidos para su uso ver tabla 26 y gráfico 9.

Tabla 30. Resistencia a la abrasión diseños base (A, B, C)

RESISTENCIA A LA ABRASIÓN									
MATERIAL	TIPO DE MUESTRA	CONTENIDO DE AGUA (%)	$L(cm)$	$l(cm)$	$S(cm^2)$			CA	Nivel de Resistencia a la Abrasión
CONCRETO EN TIERRA	CILINDRO A	8%	20.00 cm	3.10 cm	62.00 cm ²	3750 gr	3630	0.52	4
	CILINDRO A	8%	19.50 cm	3.20 cm	62.40 cm ²	3900 gr	3785	0.54	4
	CILINDRO B	10%	19.50 cm	3.10 cm	60.45 cm ²	4000 gr	3890	0.55	4
	CILINDRO B	10%	20.00 cm	3.10 cm	62.00 cm ²	4150 gr	4025	0.50	4
	CILINDRO C	12%	20.00 cm	3.10 cm	62.00 cm ²	3350 gr	3240	0.56	4
	CILINDRO C	12%	20.00 cm	3.00 cm	60.00 cm ²	3000 gr	2880	0.50	4

$$Ca = \left(\frac{S}{m_i - m_f} \right)$$

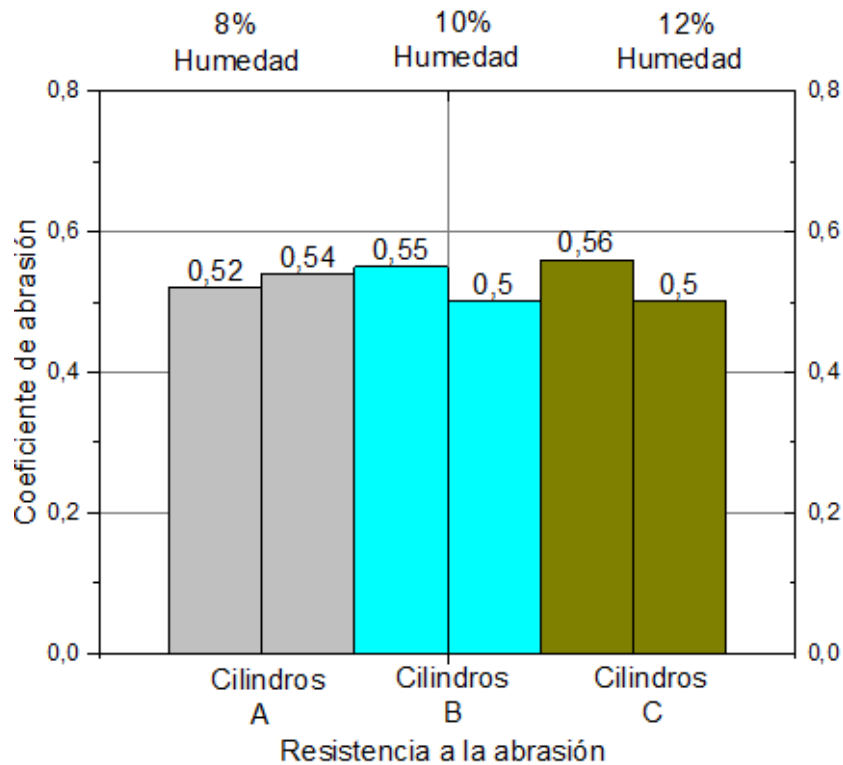


Figura 33 Ensayo de Abrasión mezcla base

9.5 Contracción lineal

El ensayo de contracción lineal establece la retracción por secado de los elementos, al elaborar mezclas con determinado contenido de humedad, posteriormente se ponen en moldes y se apisona conservando la muestra durante 7 días para luego secar durante un periodo de 21 días, estas variables se establecen mediante las siguientes ecuaciones:

$$C_i = \left(\frac{X_1 + X_2}{600} \right) * 100$$

$$C_{prom} = \frac{\sum C_i}{n}$$

Donde: C_i = Contracción lineal de cada muestra, X_1 = Contracción del extremo izquierdo de la muestra, X_2 = Contracción del extremo derecho de la muestra. (Red argentina protierra, 2020).

Para el ensayo de Retracción del diseño Base (Gráfica 10 y tabla 27), el resultado más favorable al contrario se obtuvo de los cilindros A, con 0.00 mm en las dos muestras con la proporción de humedad del 8%, teniendo en cuenta que, a menor cantidad de agua, se produce una menor retracción, lo que indica que una gran presencia de agua afecta de manera directa la resistencia de la muestra: probablemente nuestros resultados favorables se deben a nuestro suelo de características arcilloso.

Tabla 31. Prueba de Retracción Diseños Base (A, B, C)

ENSAYO DE RETRACCIÓN					
MATERIAL	TIPO DE MUESTRA	CONTENIDO DE AGUA (%)	LONGITUD REGLETA (mm)	LONGITUD FINAL REGLETA (mm)	RETRACCION (mm)
CONCRETO EN TIERRA	REGLETA A	8%	600 mm	600 mm	0.0 mm
	REGLETA A	8%	600 mm	600 mm	0.0 mm
	REGLETA B	10%	600 mm	599 mm	1.0 mm
	REGLETA B	10%	600 mm	599 mm	1.0 mm
	REGLETA C	12%	600 mm	598 mm	2.0 mm
	REGLETA C	12%	600 mm	598 mm	2.0 mm

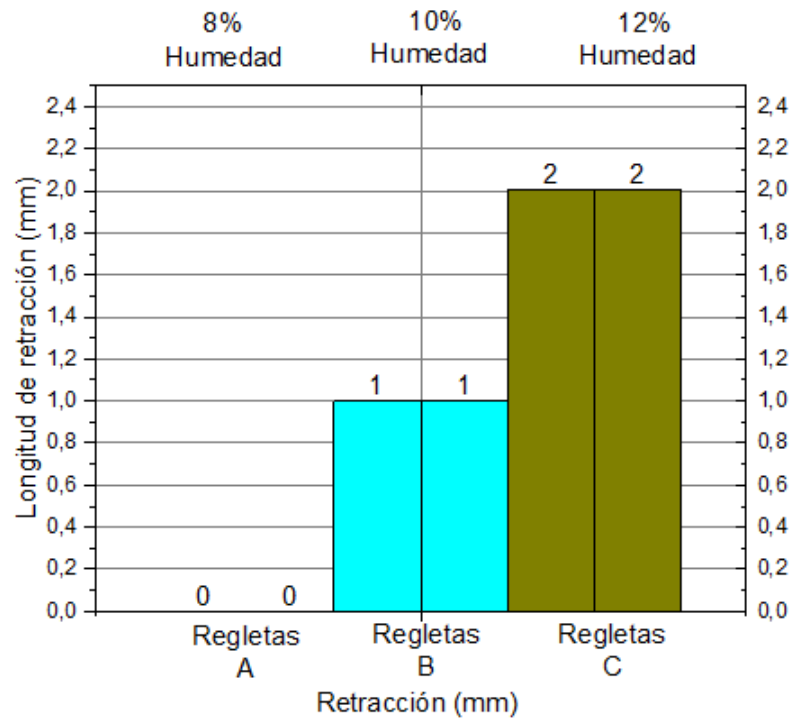


Figura 34 Ensayo de retracción mezcla Base

10. MEZCLA BASE TIPO B

Al analizar los resultados obtenidos anteriormente para las pruebas de: Flexión, el resultado más alto fue de 73.83 Kpa, perteneciente a la mezcla tipo B según la Figura 31, respecto a ensayos de compresión en la Figura 30 los valores más altos que se registraron fueron 22.55 Kpa y 21.85 Kpa los cuales pertenecen a la mezcla B, en el caso del ensayo de Abrasión los resultados fueron muy similares en las 3 mezclas propuestas como se puede observar en de la Figura 33 , La única muestra que no presentó Retracción fue la mezcla base tipo A y para el ensayo de Erosión, la mezcla base tipo B tuvo el mejor comportamiento registrando valores 4 y 5 mm respectivamente según la Figura 32, lo que lleva a concluir que por 4 de 5 ensayos favorables y a las referencias de literatura previamente mencionadas se logra dar con el diseño óptimo de mezcla la cual es el tipo B que cuenta con las siguientes características de materiales: (Rivas, 2021 y Sera et al, 1990 p. 109-124)

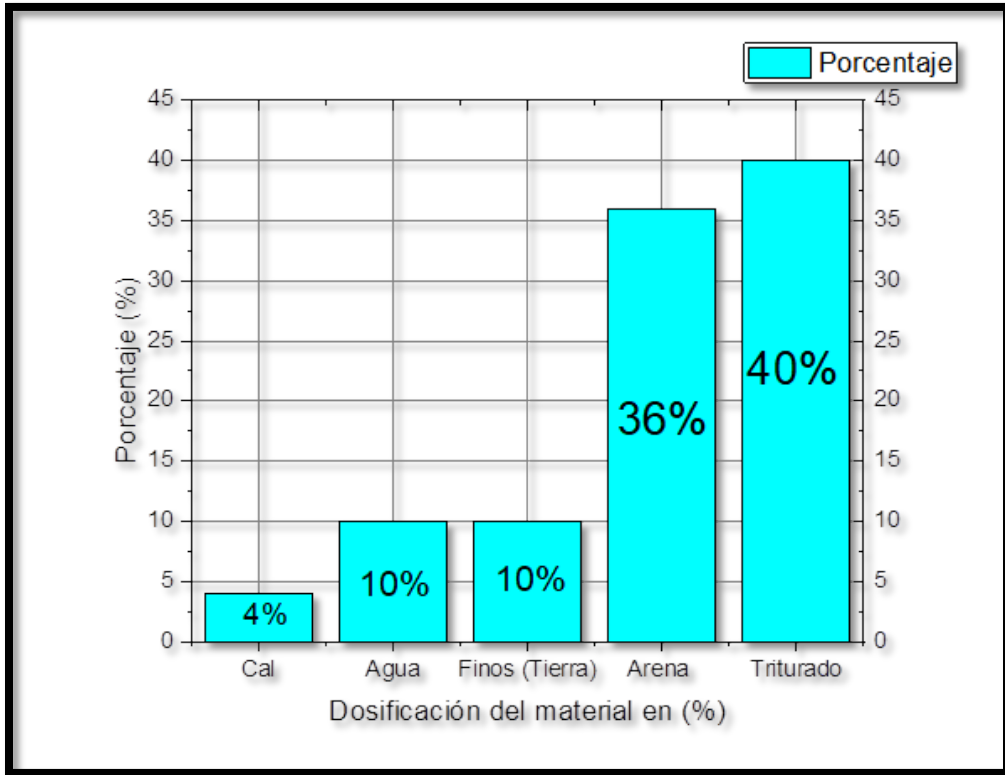


Figura 35 Proporciones de materiales, Diseño Base elegido.

11. PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE MUESTRAS CON MEZCLA BASE TIPO B MÁS ADITIVOS (MELAZA – BAGAZO)

Teniendo ya definido el diseño Base se procede a añadir los diferentes aditivos que se eligieron según lo referenciado en la literatura. (Loh et al, 2013 y Chantit et al 2022)

11.1 Aditivo melaza

Para realizar la incorporación del aditivo melaza, se prepararon las siguientes probetas tanto para ensayos de Flexión, de compresión, Tracción y Abrasión.

2% Melaza (2 muretes -1 para fallar a flexión – otro a compresión)

4% Melaza (2 muretes -1 para fallar a flexión – otro a compresión)

6% Melaza (2 muretes -1 para fallar a flexión – otro a compresión)

3 cilindro de Melaza sometido a prueba de Abrasión

3 regletas de Melaza sometido a prueba de Retracción

3 cilindro de Melaza sometido a prueba de Erosión

Las adiciones de la melaza fueron de manera progresiva, partiendo de un porcentaje del 2% y aumentando en intervalos de 2% sobre el volumen de cada muestra hasta llegar a un 6% como máximo del volumen ver gráfico 12. (Rodriguez, 2020).

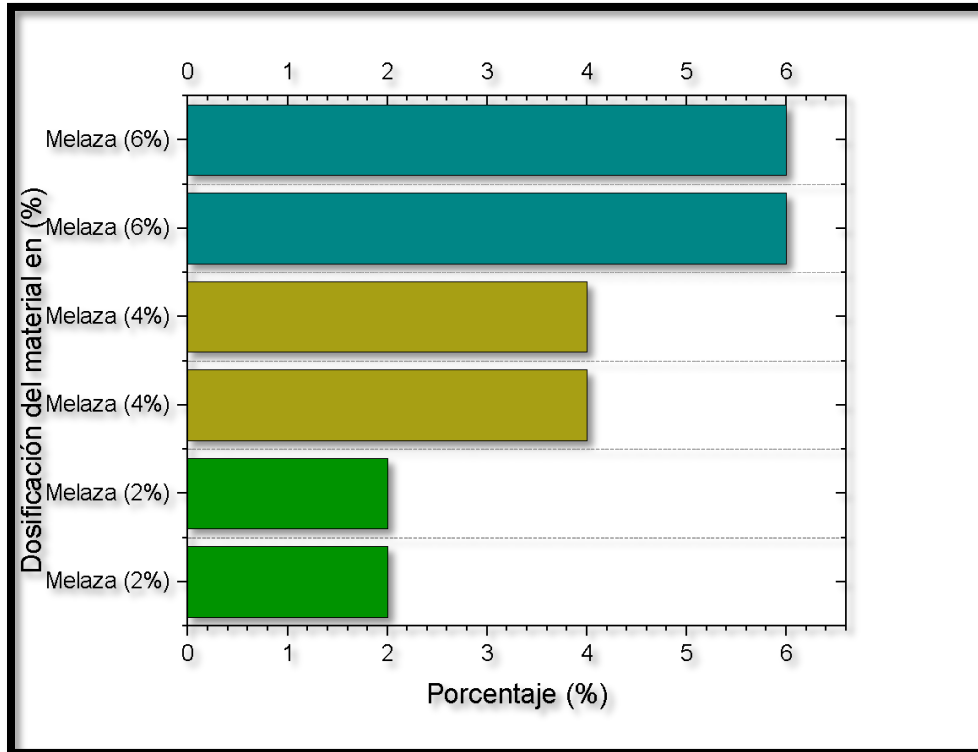


Figura 36 % de Adición de melaza

11.2 Aditivo bagazo

La adición de bagazo, se realizó mediante rangos de un 0.2% sobre el peso de cada muestra, inicialmente se adiciona el bagazo en un porcentaje 2% sobre el peso total de las muestras, pero la mezcla se hacía inmanejable debido al contenido de fibras del Bagazo y que esta fibra natural pesa muy poco, luego ocupa un gran espacio, y no permitía la homogeneidad de los diferentes agregados de las muestras y por lo cual se tuvo que bajar ostensiblemente la cantidad de Bagazo como aditivo a una décima parte ver figura 37.

Se realizaron Las siguientes muestras de bagazo en las siguientes dosificaciones:

0.2% Bagazo (2 muretes -1 se falló a flexión – otro a compresión)

0.4%Bagazo (2 muretes -1 se falló a flexión – otro a compresión)

0.6%Bagazo (2 muretes -1 se falló a flexión – otro a compresión)

3 cilindro de Bagazo sometido a prueba de Abrasión

3 cilindro de Bagazo sometido a prueba de Retracción

3 cilindro de Bagazo sometido a prueba de Erosión

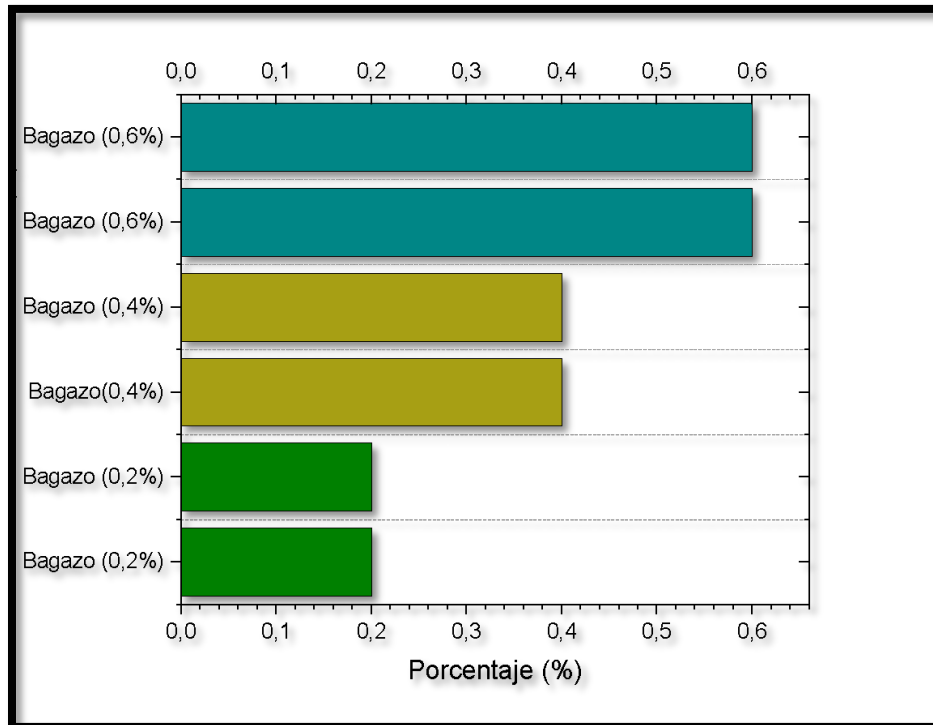


Figura 37. Porcentaje adición de bagazo

11.3 Correlación entre ensayos de Bagazo y Melaza

La realización de prueba de resistencia a la flexión y compresión arrojó para la melaza 216.14 y 408.13 KPa en el murete con menor porcentaje de aditivo 2%, para el bagazo el murete con estabilizante de 0.40%, arrojó resultados de 146.02 y 209.38 Kpa, se puede considerar que estos resultados fueron los de mejor comportamiento.

Tabla 32. Ensayos de flexión y compresión muretes con aditivos Bagazo y Melaza

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN														
MATERIAL	TIPO DE MUESTRA	ESTABILIZANTE	% ESTABILIZANT E	LARGO (L)	ANCHO (a)	ALTO (h)	AREA (m ²)	LONGITUD ENTRE APOYOS (l)	VOLUMEN (M ³)	PESO (Kg)	DENSIDAD (Kg/m)	EDAD (días)	CARGA ULTIMA (P)	ESFUERZO de FLEXIÓN
CONCRETO EN TIERRA	MURETE	MELAZA	2%	0,40 m	0,40 m	0,20 m	0,16 m ²	0,35 m	0,03 m ³	61,25 Kg	1914,06 Kg/m	28 días	8050 N	264,14 Kpa
	MURETE	MELAZA	4%	0,40 m	0,40 m	0,20 m	0,16 m ²	0,35 m	0,03 m ³	70,95 Kg	2217,19 Kg/m	28 días	2850 N	93,52 Kpa
	MURETE	MELAZA	6%	0,40 m	0,40 m	0,20 m	0,16 m ²	0,35 m	0,03 m ³	68,70 Kg	2146,88 Kg/m	28 días	2500 N	82,03 Kpa
	MURETE	BAGAZO	0,20%	0,40 m	0,40 m	0,20 m	0,16 m ²	0,35 m	0,03 m ³	66,25 Kg	2070,31 Kg/m	28 días	3575 N	117,30 Kpa
	MURETE	BAGAZO	0,40%	0,40 m	0,40 m	0,20 m	0,16 m ²	0,35 m	0,03 m ³	65,65 Kg	2051,56 Kg/m	28 días	4450 N	146,02 Kpa
	MURETE	BAGAZO	0,60%	0,40 m	0,40 m	0,20 m	0,16 m ²	0,35 m	0,03 m ³	60,40 Kg	1887,50 Kg/m	28 días	4000 N	131,25 Kpa

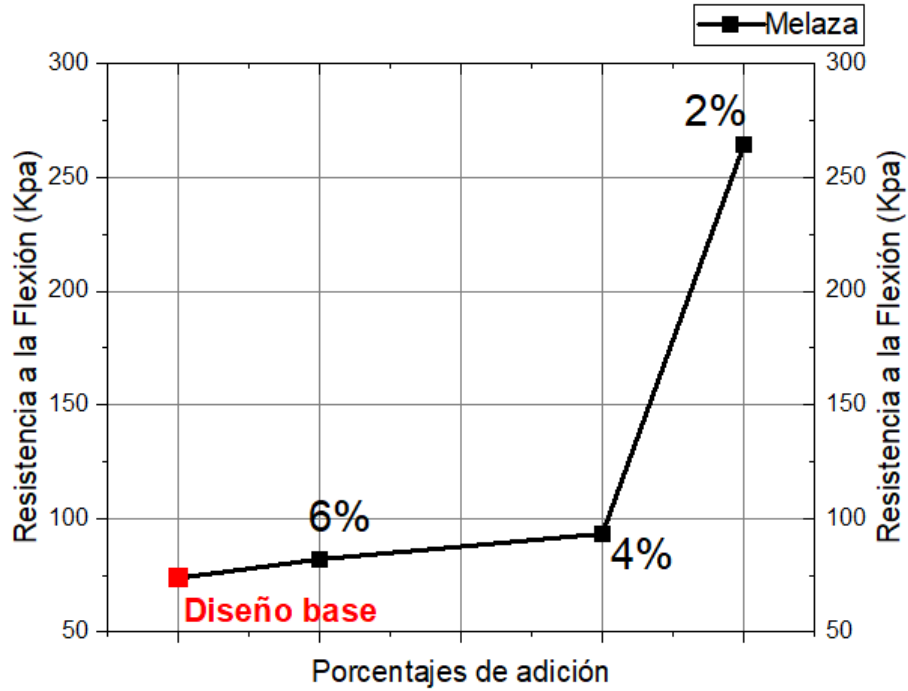


Figura 38. Figura Resistencia a la Flexión Aditivo Melaza

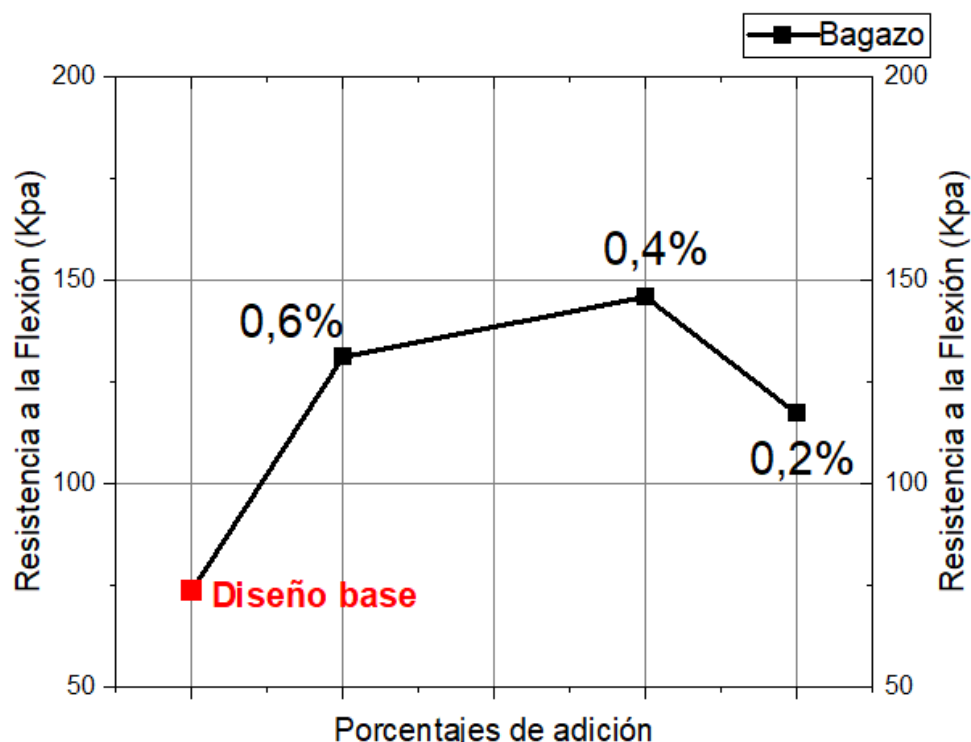


Figura 39 Ensayos de flexión muretes con aditivo bagazo

Las diferencias entre las resistencias a la flexión del diseño Base con la inclusión de los aditivos, se sustenta en la cantidad de este, en el caso de la melaza, se evidencian unos resultados muy favorables al tener un porcentaje bajo de aditivo y va empeorando al añadir una mayor proporción de este. En el caso del bagazo, se puede notar a través de la representación visual que el punto de equilibrio se encuentra en la adición del 0.4%, ya que al disminuir o aumentar dicha cantidad la resistencia a la flexión disminuye (Figura 38).

Tabla 33. Ensayos compresión muretes con aditivos Bagazo vs Melaza

RESISTENCIA A LA COMPRESION													
MATERIA L	TIPO DE MUESTRA	ESTABILIZANTE	% ESTABI	LARGO (L)	ANCHO (A)	ALTO (h)	AREA (m ²)	VOLUM EN (M ³)	PESO (Kg)	DENSIDAD (Kg/m ³)	EDAD (dias)	CARGA ULTIM	ESFUERZ O
CONCRETO EN TIERRA	MURETE	MELAZA	2%	0,40 m	0,20 m	0,40 m	0,08 m ²	0,032 Kg	65,25	2039,06 Kg/m ³	28 dias	32650 N	408,13 Kpa
	MURETE	MELAZA	4%	0,40 m	0,20 m	0,40 m	0,08 m ²	0,032 Kg	67,70	2115,63 Kg/m ³	28 dias	9250 N	115,63 Kpa
	MURETE	MELAZA	6%	0,40 m	0,20 m	0,40 m	0,08 m ²	0,032 Kg	72,50	2265,63 Kg/m ³	28 dias	6250 N	78,13 Kpa
	MURETE	BAGAZO	0,20%	0,40 m	0,20 m	0,40 m	0,08 m ²	0,032 Kg	64,65	2020,31 Kg/m ³	28 dias	16000 N	200,00 Kpa
	MURETE	BAGAZO	0,40%	0,40 m	0,20 m	0,40 m	0,08 m ²	0,032 Kg	60,6	1893,75 Kg/m ³	28 dias	16750 N	209,38 Kpa
MURETE	BAGAZO	0,60%	0,40 m	0,20 m	0,40 m	0,08 m ²	0,032 Kg	62,05	1939,06 Kg/m ³	28 dias	7950 N	99,38 Kpa	

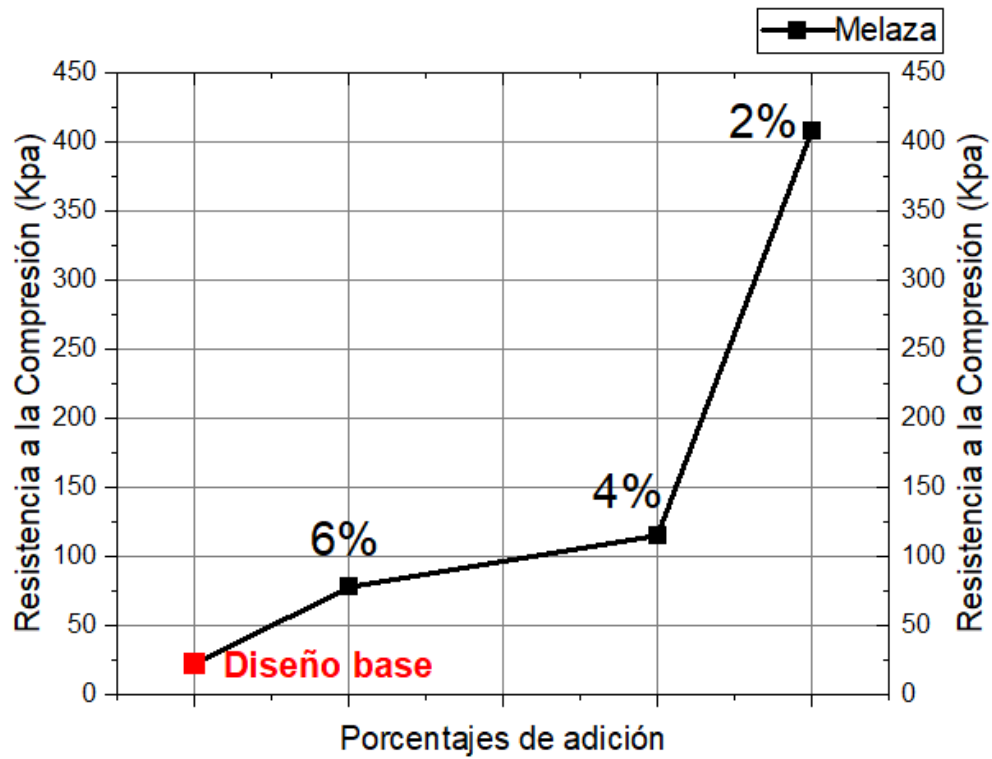


Figura 40. Ensayos de compresión muretes con aditivo melaza

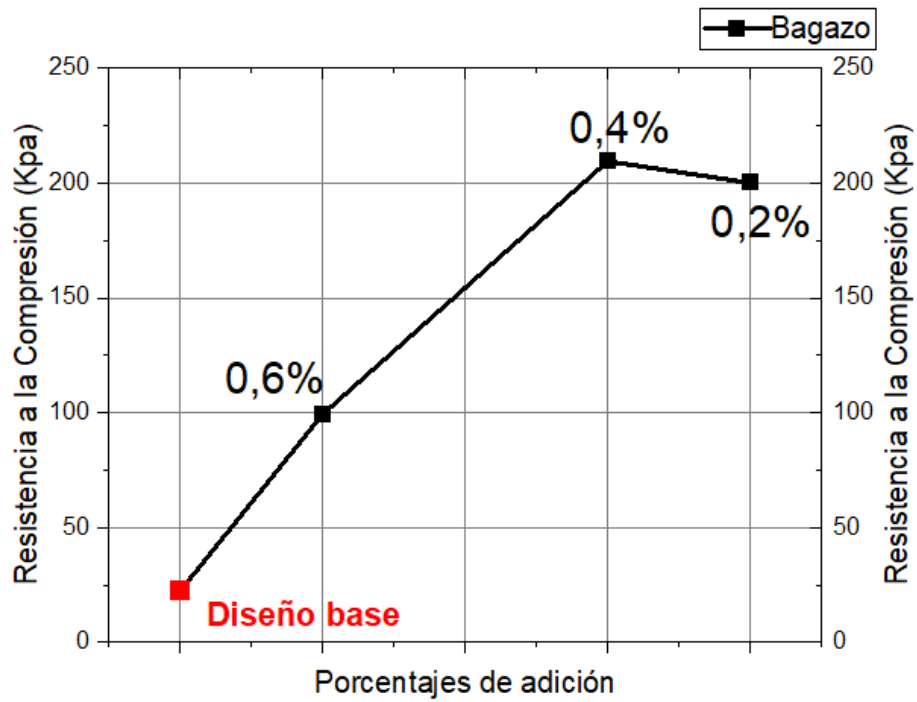


Figura 41 Ensayos de compresión muretes con aditivos bagazo

Así mismo el Porcentaje óptimo del aditivo Melaza fue la del 2% ya que se obtuvo una resistencia a la compresión por encima de los 408.13 Kpa y para el caso del Bagazo el aumento en la resistencia está cercano sobre el 200 KPa, la mitad con respecto al valor más alto del aditivo melaza; con respecto al diseño base sin aditivos el valor más alto corresponde a la melaza, el cual es 6 veces mayor, que una muestra sin aditivo, en cuanto a lo que ensayos de compresión se refiere para muretes Figura 39.

El ensayo de abrasión sigue presentando las mismas dificultades obtenidas en la mezcla sin aditivos, un nivel de resistencia 4 el cual considera que el uso de estos muretes en exteriores debe estar revestidos pues no son los recomendados según la norma estándar tabla 34 y figura 39.

Tabla 34. Ensayos de abrasión muretes con aditivos

RESISTENCIA A LA ABRASIÓN										
MATERIAL	TIPO DE MUESTRA	ESTABILIZANTE	% De aditivo	L(cm)	l (cm)	S (cm ²)			CA	Nivel de Resistencia a la Abrasión
CONCRETO EN TIERRA	CILINDRO	MELAZA	0.2%	20.00 cm	3.50 cm	70.00 cm ²	3875.00	3725.00	0.47	4
	CILINDRO	MELAZA	0.4%	19.50 cm	3.30 cm	72.00 cm ²	3750.00	3650.00	0.72	4
	CILINDRO	MELAZA	0.6%	20.00 cm	3.20 cm	70.00 cm ²	3975.00	3815.00	0.44	4
	CILINDRO	BAGAZO	2.0%	20.00 cm	3.30 cm	70.00 cm ²	3650.00	3600.00	1.40	4
	CILINDRO	BAGAZO	4.0%	20.00 cm	3.50 cm	70.00 cm ²	3700.00	3650.00	1.40	4
	CILINDRO	BAGAZO	6.0%	19.50 cm	3.50 cm	70.00 cm ²	3300.00	3275.00	2.80	4

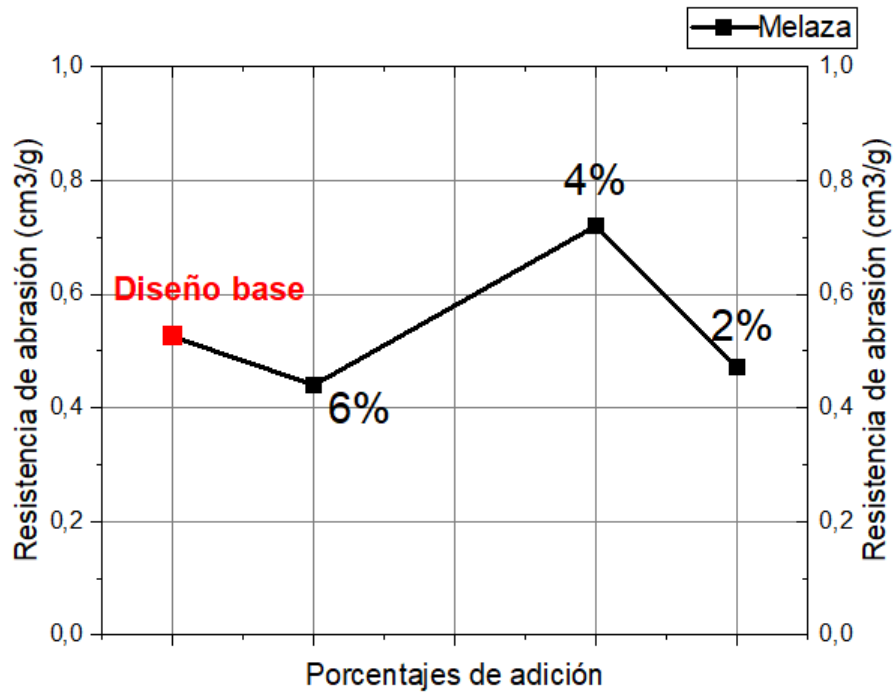


Figura 42 Ensayos de resistencia a la abrasión con aditivo melaza

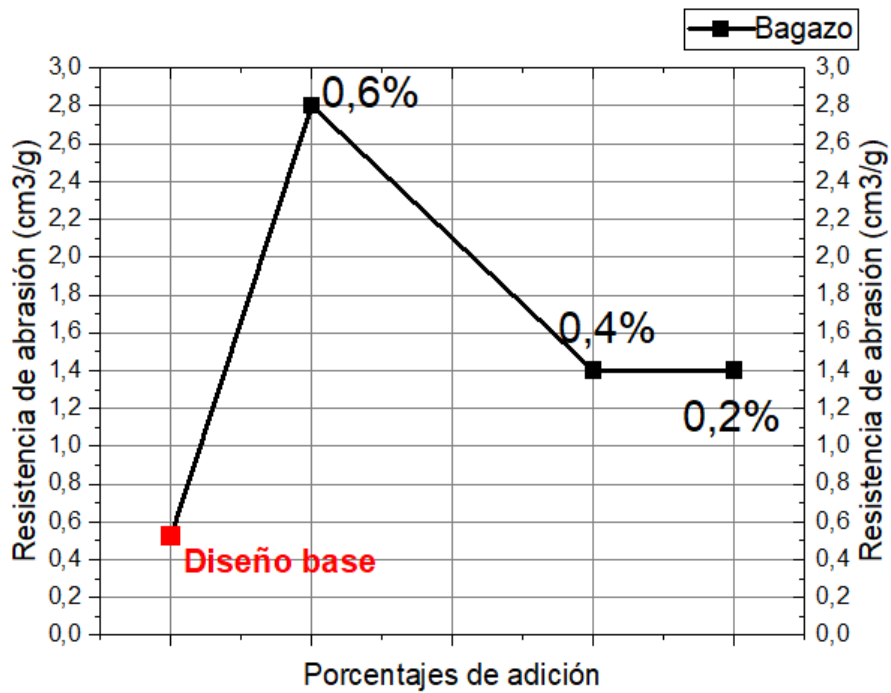


Figura 43 Ensayos de resistencia a la abrasión aditivo bagazo

En la prueba de retracción los muretes de melaza con menor estabilizante 2% y 4%, siguen siendo los mejores a utilizar, puesto que el contenido de agua afecta directamente las muestras, y por ende la resistencia de estas, el bagazo tuvo un mejor comportamiento debido al contenido de las fibras las cuales refuerzan las muestras y no permiten la acción de la retracción.

Tabla 35. Ensayos de retracción de muretes con aditivos

ENSAYO DE RETRACCIÓN						
MATERIAL	TIPO DE MUESTRA	ESTABILIZANTE	% De aditivo	LONGITUD REGLETA (mm)	LONGITUD FINAL REGLETA (mm)	RETRACCION (mm)
CONCRETO EN TIERRA	REGLETA	MELAZA	2.0%	600 mm	600 mm	0.0 mm
	REGLETA	MELAZA	4.0%	600 mm	600 mm	0.0 mm
	REGLETA	MELAZA	6.0%	600 mm	599 mm	1.0 mm
	REGLETA	BAGAZO	0.2%	600 mm	599 mm	1.0 mm
	REGLETA	BAGAZO	0.4%	600 mm	598 mm	2.0 mm
	REGLETA	BAGAZO	0.6%	600 mm	598 mm	2.0 mm

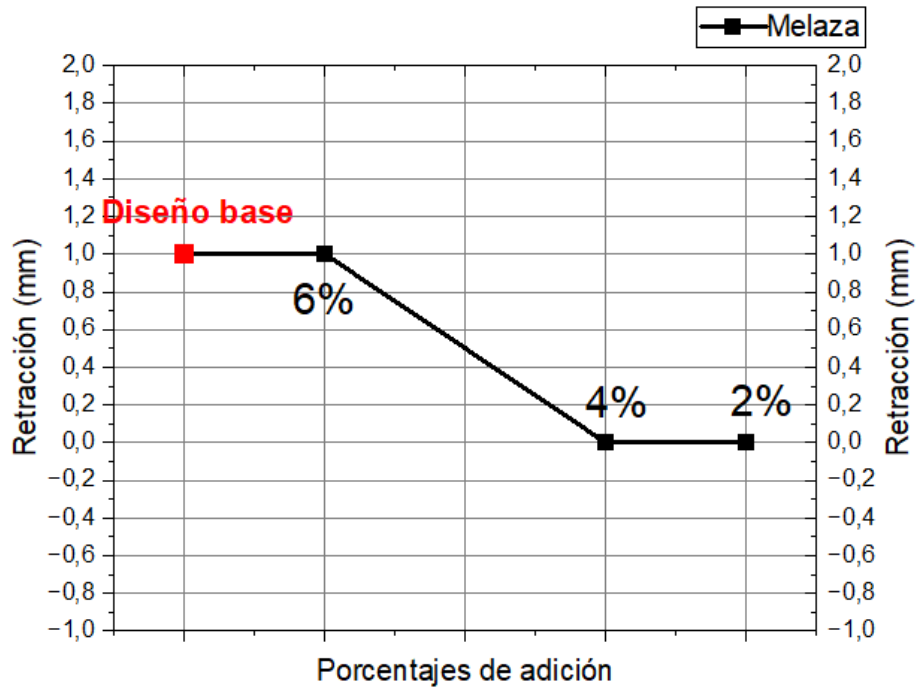


Figura 44 Ensayos de retracción aditivo melaza

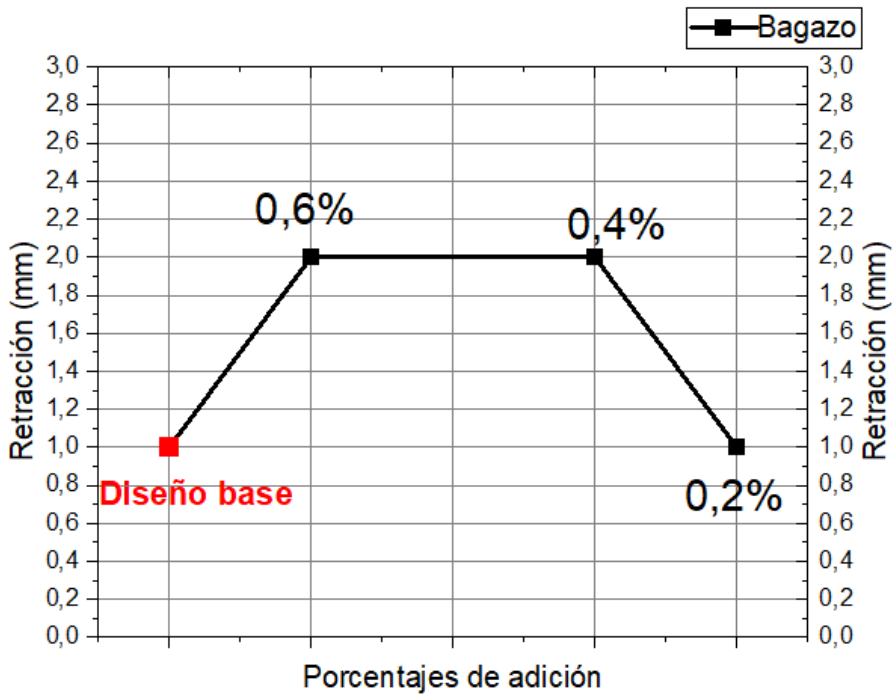


Figura 45 Ensayo de retracción aditivo de bagazo

Finalmente el test de erosión evidencia que la mayoría de los muretes de melaza pueden utilizarse a la intemperie o ambientes exteriores a diferencia de los muretes de bagazo, estas claras diferencias en los dos aditivos, aclarando que en el caso de la melaza, a mayor proporción del estabilizante, hay un menor daño en la muestra, pues en el cilindro del 6% se presenta el mejor resultado, sin embargo a menor cantidad de estabilizante, hay más daño en la muestra, de igual manera la melaza sigue considerándose un buen estabilizante, ya que al compararlo con el bagazo, los resultados de este son pésimos, llegando a mostrar un daño significativo en la muestra ver tabla 35 y figura 41.

Tabla 36. Ensayos de resistencia a la erosión muretes con aditivos

ENSAYO DE EROSIÓN					
MATERIAL	TIPO DE MUESTRA	ESTABILIZANTE	% De aditivo	PROFUNDIDAD	CONDICIÓN
CONCRETO EN TIERRA	CILINDRO	MELAZA	2.0%	7 mm	APTO PARA EXTERIORES, PERO NO ADECUADO
	CILINDRO	MELAZA	4.0%	5 mm	APTO PARA EXTERIORES
	CILINDRO	MELAZA	6.0%	4 mm	APTO PARA EXTERIORES
	CILINDRO	BAGAZO	0.2%	10 mm	NO APTO PARA EXTERIORES
	CILINDRO	BAGAZO	0.4%	10 mm	NO APTO PARA EXTERIORES
	CILINDRO	BAGAZO	0.6%	11 mm	NO APTO PARA EXTERIORES

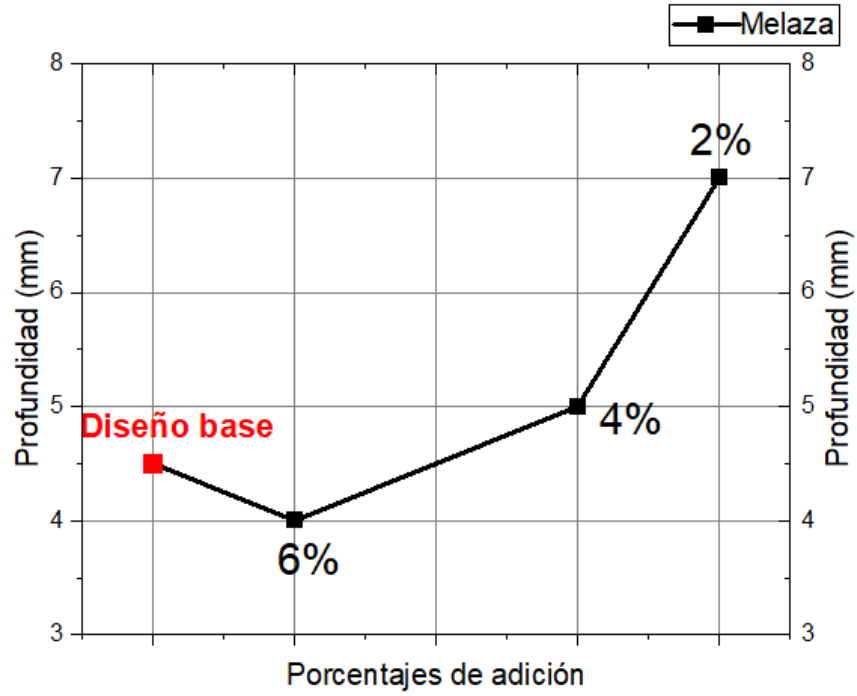


Figura 46 Ensayos de resistencia a la erosión aditivo Melaza

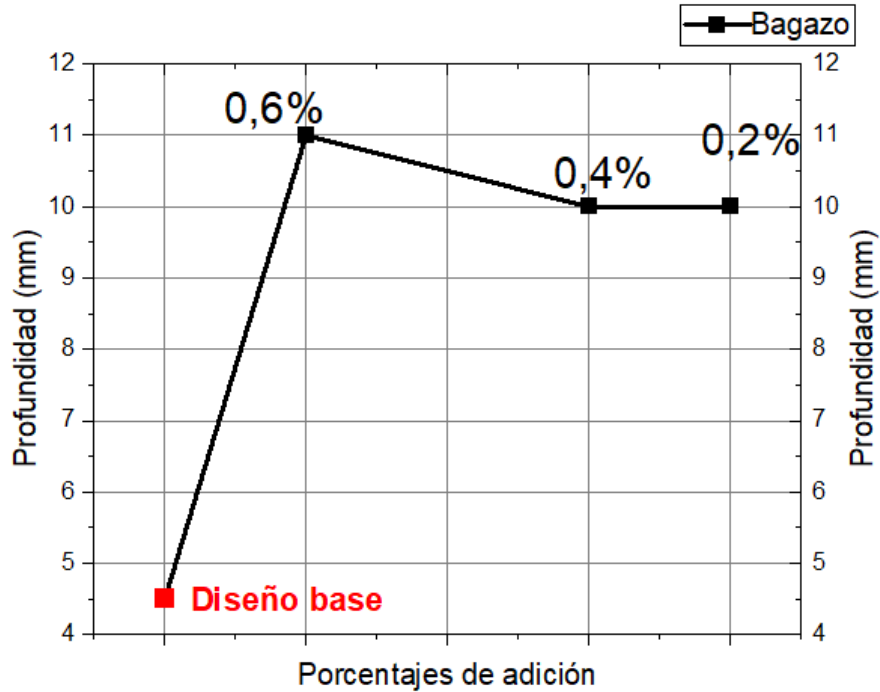


Figura 47 Ensayos de resistencia a la erosión aditivo Bagazo

12. DISCUSIÓN

Se realizó un trabajo de investigación de enfoque experimental, el cual pretende determinar la viabilidad de concreto estabilizado en tierra con adición de bagazo y melaza, mediante el diseño de una mezcla base aplicando pruebas de flexión, retracción, compresión, abrasión y erosión, escogiendo según su comportamiento la óptima.

Inicialmente se realizó un reconocimiento del suelo mediante varios métodos; Los diferentes test del método vernáculo permitió concluir que se trataba de un suelo de características mixtas: arcilloso y arenoso. Sin embargo, predomina el componente arcilloso. (Célia, 2009). El resultado del método científico informó que se trataba de un suelo uniforme u homogéneo según el análisis de la granulometría. A pesar de lo anterior, el índice de plasticidad refiere que se trataba de una arcilla inorgánica poco cohesiva. La arcilla provee al suelo un efecto conglomerante el cual contribuye a su cohesión y plasticidad, lo cual mejora su comportamiento mecánico y permite que este tolere cualquier esfuerzo. (Catalán, 2018, p.11)

Posterior a la caracterización del suelo, se realizaron diseños de mezclas con diversas dosificaciones en la siguiente proporción; partículas finas 10-15%, agua 8-12%, grava 35 al 40%, arena 30 al 36% y ligante (cal) 4 al 8%, las cuales se obtuvieron de lo referenciado en la literatura en donde consta que un concreto en tierra debe elaborarse a partir de un 10% de partículas finas, 28% suelo, un 36% hasta 64% de arena, un 40% de gravas, un 10% de agua y un 4% a 8% de un ligante. (EPautet, 2018)

Continuando en la búsqueda de un diseño Base, se realizaron unas muestras de cilindros y muretes para realizar las pruebas de flexión, compresión, abrasión, retracción y erosión; se obtuvo un valor mayor 22.55 y 21.85 Kpa para la compresión en la mezcla Base o diseño inicial tipo b en los 2 cilindros en una proporción de humedad del 10% y para las muestras sometidas a flexión se obtuvo

un valor de 73.83 KPa, ambos resultados se dieron con un contenido de humedad del 10% por lo que se eligió este valor como contenido de humedad en el diseño Base.

El ensayo de erosión del diseño Base determinó que los cilindros B con el porcentaje de humedad 10%, tienen mejor comportamiento para utilizarse en exteriores sin embargo en la prueba de abrasión las diferentes muestras de cilindros obtuvieron un resultado alto sin importar el porcentaje de humedad lo que indica que necesitan ser revestidos para su uso en exteriores.

Finalmente, en el ensayo de retracción del diseño Base el resultado más favorable al contrario se obtuvo de los cilindros A, con 0.00 mm en las dos muestras con la proporción de humedad del 8%, teniendo en cuenta que, a menor cantidad de agua, se produce una menor retracción, lo que indica que una gran presencia de agua afecta de manera directa la resistencia de la muestra: probablemente los resultados favorables de la investigación se deben a que el suelo tiene algunas propiedades arcillosas.

Hasta este punto la mezcla Base que se comportó de manera óptima es la tipo B, ahora queda por observar el comportamiento de las propiedades físico-mecánicas de muestras de materiales con mezcla Base más aditivos (melaza – bagazo).

Se realizan nuevamente muestra de cilindros y muretes esta vez con la mezcla Base tipo B elegida y se adicionan diversos porcentajes de los subproductos orgánicos, en el caso de la melaza se utilizó una concentración de 2% hasta 6 % y en el caso del bagazo osciló desde 0.2 hasta 0.6%. estos rangos estrechos del bagazo en cada muestra, se determinó por que la mezcla se hacía inmanejable debido al contenido de fibras de bagazo y esta fibra natural pesa muy poco, por lo cual ocupa un gran espacio, y no permite la homogeneidad de los diferentes agregados de las muestras y por esta razón se tuvo que bajar una décima los porcentajes; muy parecido a lo establecido en un estudio en Ghana donde elaboraron bloques de tierra comprimida

con fibras vegetales en las siguientes proporciones de fibras de coco, bagazo de caña de azúcar y aceite de palma 0%, 0.25%,0.5%,0.75% y 1%. (Danso et al, 2015)

Las pruebas de flexión y compresión evidenciaron que el bagazo tiene mayor valor 146.02 Kpa y 209.38 Kpa con una dosificación del 0.40% sobre el peso total de la muestra , esto permitió identificar que tiene mejor comportamiento en la resistencia a la flexión y la compresión con respecto al diseño Base, pero que cuenta con una desventaja y es que no se puede llegar a exceder el porcentaje del bagazo ya que disminuye la resistencia significativamente, muy relacionado con el estudio en Ghana en donde la inclusión de fibras mejora las propiedades mecánicas con un incremento de resistencia entre el 16% y el 57%, reduce el desgaste en un 20%-50% y la erosión de los bloques de suelo en un 44% - 70%, es importante recalcar que la cantidad de fibra natural más recomendable en la mezcla debe ser menor al 0.5% en peso, una correcta dosificación de la fibra garantiza que el material sea sostenible y ambientalmente viable. (Danso et al, 2015, Cabrera et al 2021, Osorio et al, 2007 y Desta, 2019).

En el caso de la melaza este aditivo tuvo el mejor comportamiento con respecto al bagazo, arrojando un incremento en la resistencia a compresión con respecto al diseño Base en 18.9 veces más, y en cuanto al esfuerzo de flexión, la resistencia tuvo un incremento de 3.71 veces más que el diseño base, los valores que se obtuvieron fueron de: 264.14 Kpa en esfuerzo de flexión dosificado en una concentración del 2% y un valor de 408.13 Kpa en el esfuerzo de compresión dosificado al 2% sobre el peso total de la muestra.

Un estudio de Marruecos evaluó la evolución en el tiempo de las resistencias mecánicas a compresión y tracción de ladrillos con aditivo de melaza y bagazo, donde se utilizaron concentraciones del 4%, 8% y 12% respectivamente de melaza y otros en donde la proporción de melaza era mayor que el bagazo, 85% melaza más 15% bagazo por un lado y 75% melaza más 25% bagazo por el otro lado. Los

mejores resultados a las pruebas de compresión se obtuvieron de los ladrillos con aditivo de melaza al 12%, resistencia a la compresión de 4650 KPa y de 4470 KPa. Sin embargo, las pruebas de tracción los resultados no fueron favorables. Malanda et al, 2018. p1–9).

Los resultados de los ensayos de retracción y de erosión con adición de melaza presenta resultados favorables, esto se debió a que la melaza sirve como una especie de resina impermeabilizante que no permite un fácil desgaste por acción del agua, si no que gracias a que se crea una membrana protectora, hizo que la humedad no penetre con gran facilidad las muestras, manteniendo de forma homogénea los componentes de esta. (Jaramillo, 2022).

Cuando se utilizan agentes estabilizadores naturales y tierra en el proceso de la construcción , se requiere de menos empleo de cemento al que se le atribuye una gran cantidad de las emisiones de CO₂ del planeta; se ha descrito que por cada tonelada de cemento producido con silicatos, se emite cerca de una tonelada de CO₂ al medio ambiente; en la actualidad existe una búsqueda de materiales que sean sustentables con bajo impacto ambiental, aquellos que cuando cumplan su vida útil y se desintegren y puedan retornar al ambiente o ser reutilizados. (Aranda, 2021).

Los subproductos de la panela son desechos agrícolas fácilmente disponibles y reutilizables en la región; se pudo evidenciar con los resultados la elaboración de materiales de construcción que pueden ser competentes en el mercado, favorecedores del medio ambiente y de bajo costo.

Durante la revisión bibliográfica se evidenciaron pocos estudios en la región sobre la elaboración de bloques de tierra con coproductos de la industria panelera, esto impulsa a continuar con futuras investigaciones. (Farah, 2022).

13. CONCLUSIONES

Se realizó un trabajo de investigación de enfoque experimental acerca de crear concreto en tierra y estabilizarlo con subproductos orgánicos.

Mediante el método de clasificación del suelo (Vernáculo y Científico), se pudo concluir que el suelo era de tipo Arcillo -arenoso o una arcilla mal gradada.

Con base en los resultados de la clasificación del suelo y debido a su composición, se logró 3 diseños de mezcla inicial con dosificaciones diferentes (A,B,C), en el cual el diseño Base B tuvo los resultados más favorables.

La prueba de compresión para el diseño base tipo B arrojó 22.55 y 21.85 Kpa respectivamente; en la prueba de flexión el murete B obtuvo los resultados más favorables, llegando a superar en un 80% la muestra A y en 130% la muestra C, para la prueba de erosión la muestra B fue la que tuvo el valor menor, con los valores más bajos de 4 y 5 mm, en el ensayo de retracción se mantuvo estándar con valores medios en comparación con las otras muestras (0,1,2)mm.

De los dos aditivos utilizados (melaza y bagazo) la melaza obtuvo los resultados más sobresalientes para pruebas de flexión, compresión, retracción, abrasión y erosión-

En la prueba de flexión la melaza obtuvo indiscutiblemente el valor más alto, registrando 264.14 Kpa un 80% más que el valor más alto registrado para el bagazo que fue de 146.02 Kpa, en la compresión de igual forma la melaza presentó el valor más alto, registrando 408.13Kpa y superando en un 95% al bagazo con su registro mayor de 209.38 Kpa, para los ensayos de abrasión, la melaza obtuvo unos resultados óptimos, registrando valores de 0.44, 0.47 0.72 (en coeficiente de abrasión), al compararlos con los de bagazo, los cuales fueron 1.40, 1.40, 2.80, para los ensayos de retracción, de igual forma presentó los valores más favorables, dando valores de 0, 0 1 (mm) a diferencia del bagazo que obtuvo 1, 2, 2 (mm), así mismo el ensayo de erosión fue más favorable para la melaza, ya que sus valores fueron 4, 5, 7 (mm de profundidad) y los resultados del bagazo fueron de 10, 10, 11 (mm de erosión), en conclusión la melaza no solo aumenta la resistencia

mecánica de las muestras, si no que a su vez aumenta la resistencia al desgaste en exteriores, brindando una capa impermeabilizante que trabaja como hidrofugo, repeliendo la acción de la intemperie

14. RECOMENDACIONES

Se pudo elaborar un material de construcción que favorece el medio ambiente, puesto que no utilizamos cemento como aglomerante.

El trabajo es pionero en la región; se utilizó y compararon 2 subproductos de la industria panelera en la creación de concreto en tierra.

Por la naturaleza experimental del trabajo no está exento de errores y resultados poco específicos, por lo que se pueden generar estudios futuros acerca de este.

Para encontrar resultados más precisos y confiables, se recomienda elaborar más muestras para someterlas a falla, sea por Flexión, Compresión, Abrasión, Erosión, y con esto correlacionar mejores resultados, lo mejor es hacer 3 muestras y un testigo.

En futuros estudios considerar que la comparación de Melaza y Bagazo se debe hacer por aparte, ya que el Bagazo es un estabilizante formado por fibras, que trabaja mejor a Flexión, y para ensayos de compresión se recomienda realizar ensayos al aditivo Melaza.

Es importante tener en cuenta que, a la hora de realizar la incorporación de la tierra cruda a la mezcla, se debe tener en cuenta, la humedad natural del suelo, que está por el orden del 14% sobre el volumen de la muestra por lo que se debe recalcular la humedad total del mezclado, para evitar sobre saturar la muestra.

REFERENCIAS

Aranda Y.G, Suarez E.J. tierra vertida. Una técnica olvidada, colofón. Universidad autónoma de Tamaulipas. 2021.

ASTM D3282-15 (2015) Standard Practice for Classification of Soils and Soil and Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes. ASTM International, West Conshohocken.

ASTM D 4318-17e1, Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.

BOWLES. Joseph E. Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil. Editorial. McGraw-Hill. II edición.1981.pag 72

Catalán, R. Construcción con tierra: Reinterpretación de una tradición. Trabajo fin de grado. Escuela superior de arquitectura. *Universidad Politécnica de Madrid* (2018). N°13086. Pág. 7,11.

Cabrera Vargas, M. M., & Tello Ormeño, J. D. (2021). Mejora de las propiedades mecánicas de los bloques de tierra comprimida (BTC) reforzados con cemento y fibra natural.

Célia M. Martins Neves-Obede Borges Faria-Rodolfo Rotondaro-Patricio Cevallos Salas-Márcio V. Hoffmann. (2009). SELECCIÓN DE SUELOS Y MÉTODOS DE CONTROL EN LA CONSTRUCCIÓN CON TIERRA - PRÁCTICAS DE CAMPO. Brazil.

Clausel, L. Romero, J.*Construir con tierra vertida*. EcoHabitar. (2019) <https://ecohabitar.org/construir-con-tierra-vertida/>

Danso, H., Martinson, D., Ali, M., & Williams, J. (30 de 12 de 2015). Physical, mechanical and durability properties of soil building blocks reinforced with natural fibres. *Construction and Building Materials*, 101, 797-809.

Desta, A. (2019). Investigation on Production of Light Weight High Tensile Strength Concrete Using Sugarcane Bagasse Fiber. *Saudi Journal of Engineering and Technology (SJEAT)*. DOI: 10.21276/sjeat.2019.4.3.5

Echeverry, J.E. Jaramillo C. Elaboración de (btc) bloques de tierra comprimida con suelos derivados de cenizas volcánicas y materiales alternativos. Tesis de grado. Facultad de ingeniería. Universidad libre de Pereira. (2017). Pág.12.

Farah, H, F., Ezzahra, A., & Kchikach. (22 de Marzo de 2022). Investigación sobre la reutilización de los coproductos del azúcar (Bagazo, Melaza y. *Elsevier*, pág. 1.

EPautet. (2018, July 10). La construction en terre coulée : c'est possible ! | Florès %. Florès. <https://flores-amo.fr/terre-coulee-construction-lyon-paris/>

Gatti, F.Arquitectura y Construcción en Tierra. Estudio Comparativo de las Técnicas en Tierra. *Universidad Politécnica de Catalunya*, (2012).pág. 3-23.

Guerrero, L., Soria, F., & Gutierrez, R. Edificación de muros de tierra vertida estabilizados con cal y puzolanas. *Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra (SIACOT)*. San Salvador, El Salvador.(2014)

Imanzadeh, S. (2020). Ductility analysis of vegetal-fiber reinforced raw earth concrete by mixture design. *Ductility analysis of vegetal-fiber reinforced raw earth concrete by mixture design..*

Jaramillo, H. Gallardo Amaya R. J. y. Martínez Ovallos C. A, «Variación de la consistencia del concreto mediante la adición de melaza de caña», *EIEI ACOFI*, sep. 2022.

Loh, Y.R., Suján, D., Rahman, M.E., & Das, C. A. (2013). Sugarcane bagasse- The future composite material: A literature review. *Resources, Conservation and Recycling*, 75, p. 14-22

Malanda. N, Kimbembe P.L. Tamba-Nsemi Y.D, Etude des caractéristiques mécaniques d'une brique en terre stabilisée à l'aide de la mélasse de canne à sucre, *Sciences Appliquées et de l'Ingénieur 2 (2) (2018) 1–9.*

MetaArquitectos. Construcción con tierra. (2020).

NMX-C-508-ONNCCE: Industria de la Construcción. Bloques de tierra comprimida estabilizados con cal. Especificaciones y métodos de ensayo (2015), México.

NZS 4298: Materials and workmanship for earth buildings (1998), Nueva Zelanda.

Osorio, J., Varón, F., & Herrera, J. (2007). comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar. *Dyna*, 74(153), 69-79. URI: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49615322>

Pandey, A., Soccol, C., Nigan, P., & Thomaz-Soccol, V. (2000). Biotechnological potential of agro-industrial residues: Sugarcane bagasse. *Bioresource Technology*, 74, (1), p. 69-80.

Pocero, J. Construcción con tierra: Análisis, conservación y mejora. Un caso Práctico en Senegal. *Departamento de Tecnología de la Arquitectura*, págs. 8-11.(2016)

Protocolo DE ENSAYOS SOBRE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS PARA LA CONSTRUCCIÓN CON TIERRA. Red Argentina Protierra (2020).
file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Protocolo-de-ensayos-sobre-elementos-constructivos-para-la-construcci%C3%B3n-con-tierra%20(PARTE%206.4).pdf
Rivas, I. *Hormigón de tierra, La tierra se convierte en oro en manos del sabio*. Casas saludables y eficientes. (2021) <https://www.igmapacheco.com/p/hormigon-de-tierra#:~:text=La%20tierra%20se%20convierte%20en%20oro%20en%20manos%20del%20sabio&text=Responsable%20de%20buena%20parte%20de,con%20un%20mejor%20desempe%C3%B1o%20ecol%C3%B3gico>.

Rodriguez, L. Ladrillos de adobe con melaza de caña de azúcar y yeso para mejorar la resistencia a la compresión en la ciudad de Cogua, Colombia. *Revista de la Construcción Vol.19* , 3. (2020)

Sera, E.E., Robles., Austriaco, L., & Pama, R.P., (1990). Natural Fibers as Reinforcement. *Journal of Ferrocement*,20, (2), 109-124

Stulz, R., & Mukerji, K. (1993). *Materiales de construcción apropiados. Catálogo de soluciones potenciales revisado edición ampliado*. Nairobi, Kenya: SKAT & IT Publications. Obtenido <https://wgbis.ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/HDL/spanish/sk01ms/sk01ms00.htm#Contents>

Toxement. (2018). Aditivos para concreto. (1). Retrieved from https://www.toxement.com.co/media/3547/brochure_aditivos.pdf

Vargas, M.M. Ormeño, J.D. Propuesta de adición de fibras de bagazo de caña en bloques de tierra comprimida estabilizados con cemento para su uso como unidad de albañilería en la construcción de viviendas rurales resistentes a las lluvias en la ciudad de Piura. Tesis de grado. Facultad de ingeniería. Universidad peruana de técnicas aplicadas. (2022). Pág.12.

