

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MORTERO SECO PARA MITIGAR LA
EROSIÓN EN TALUDES

VÍCTOR HUGO HERRERA VALENCIA

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
SECCIONAL BUCARAMANGA

2019

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MORTERO SECO PARA MITIGAR LA
EROSIÓN EN TALUDES

VICTOR HUGO HERRERA VALENCIA
ESTUDIANTE

Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de ingeniero civil

MSC. JULIAN ÁNDRES GALVIS FLÓREZ
DIRECTOR

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
SECCIONAL BUCARAMANGA
2019

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis amados padres, quienes han esperado con la paciencia de los sabios que yo culmine esta meta y han creído en mí aun cuando muchos dijeron que sería muy tarde para continuar.

AGRADECIMIENTOS

Al Altísimo de todo tiempo y espacio por favorecer mi vida, por iluminar mi camino a lo largo de mi existencia y perfeccionar su poder en mi debilidad.

A mis padres Jesús Antonio y María Aleida, por el apoyo, los consejos, valores y principios que me han inculcado.

A mi esposa Gala Julia por ser la principal promotora de mis sueños, por su apoyo y paciencia en este proyecto de estudio, su tozudez y su fe fue la responsable de que gire mi vida otorgándome las herramientas necesarias para volver a empezar.

A mis hijas Monserrat y Emma Victoria por ser la inspiración y el motor para persistir en aquellos momentos de dificultad.

A mi suegra Yolanda, por confiar y creer en mis expectativas.

A mi hermano Fabian Alexander, que me ha acompañado en tantas etapas y con su ejemplo me ha enseñado a persistir hasta alcanzar.

A la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Pontificia Bolivariana y en especial a mi Director de Tesis Julián Galvis, gracias a sus valiosos conocimientos, su motivación, consejos y correcciones hoy puedo terminar este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

1. GENERALIDADES.....	17
1.1. Planteamiento del problema	17
1.1.1. Antecedentes históricos.....	17
1.1.2. Antecedentes investigativos	18
1.1.3. Análisis de la situación actual	20
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	21
1.3. OBJETIVOS.....	22
1.3.1. Objetivo general	22
1.3.2. Objetivos específicos.....	22
1.4. ALCANCE	22
1.5. LIMITACIONES.....	22
1.6. glosario	23
2. Marco teórico	25
2.1. Talud.....	25
2.2. Erosión.....	26
2.3. mortero.....	29
2.3.1. Tipos de morteros.....	29
2.3.1.1 Según conglomerantes o características específicas.....	29
2.3.1.2 Según su uso o aplicación.....	30
2.3.1.3 Según su método de fabricación.....	30
2.3.1.4 Según suministro.....	30
2.4. revestimiento y muros para el control de la erosión.....	31
2.4.1. Revestimiento de concreto	32

2.5.	Concreto o mortero lanzado	32
2.5.1.	Agregados.....	36
2.5.2.	Proporciones de la mezcla.....	37
3.	metodología.....	39
3.1.	diseño metodologico.....	39
3.2.	caracterización de materiales para el diseño de morteros.....	40
3.2.1.	Materiales	40
3.2.2.	Pruebas de laboratorio.....	41
3.2.2.1	Arenas (de Río y de Peña)	41
3.2.2.2	Cemento	41
3.2.2.3	Aditivos.....	41
3.2.3.	Formulación y dosificación.....	41
3.2.4.	Elaboración del mortero	43
3.2.5.	Parámetros para el control de calidad de la mezcla	43
3.2.5.1	Especificaciones en estado fresco	43
3.2.5.2	Especificaciones en estado endurecido	46
3.3.	desarrollo e implementación.....	47
3.3.1.	Selección de materiales	47
3.3.1.1	Cemento	47
3.3.1.2	Agregados	48
3.3.1.3	Aditivos.....	49
4.	Ejecución Y resultados.....	50
4.1.	pruebas de laboratorio	50
4.1.1.	Secado	50
4.1.2.	Contenido de materia orgánica.....	51

4.1.2.1	Procedimiento	52
4.1.2.2	Resultados	54
4.1.3.	Equivalente de arena	54
4.1.3.1	Procedimiento	55
4.1.3.2	Resultados	56
4.1.4.	Granulometría.....	57
4.1.4.1	Procedimiento	57
4.1.4.2	Resultados	59
4.1.5.	Peso específico	63
4.1.5.1	Procedimiento	63
4.1.5.2	Resultados	65
4.1.6.	Azul de metileno	66
4.1.6.1	Procedimiento	67
4.1.6.2	Resultados	67
4.2.	EJECUCIÓN DE MEZCLA Y ENSAYOS DE RESISTENCIA DE ESPECIMENES DE MORTERO	68
4.2.1.	Fabricación de cubos de mortero	68
4.2.1.1	Dosificación de materiales.....	68
4.2.1.2	Mezcla de elementos para mortero	69
4.2.1.3	Elaboración de especímenes de mortero.....	70
4.2.1.4	Curado de especímenes.....	71
4.2.2.	Ensayos de resistencia a compresión	72
4.2.2.1	Ensayos a 7 días.....	72
4.2.2.2	Ensayo a 14 días.....	73
4.2.2.3	Ensayo a 28 días.....	74

4.2.3.	Fluidez de mortero	76
4.2.3.1	Procedimiento	76
4.2.3.2	Resultados	78
4.2.4.	Ensayo de consistencia normal del mortero	79
4.2.4.1	Procedimiento	79
4.2.4.2	Resultados	80
4.2.5.	Densidad del mortero	80
4.2.6.	Contenido de aire	81
4.2.7.	Tiempos de fraguado (NTC 118)	82
4.2.8.	Lanzado del mortero seco	83
4.2.8.1	Ubicación y características del talud.....	83
4.2.8.2	Proceso de aplicación del mortero	85
4.2.8.3	Resultados	87
5.	ANALISIS DE RESULTADOS	97
6.	CONCLUSIONES	98
	BIOGRAFIA	100
	ANEXOS.....	102

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Antecedentes investigativos.....	18
Tabla 2. Ensayos de Erosionabilidad	27
Tabla 3. Clasificación por composición.....	30
Tabla 4. Efecto de materiales en mezcla de mortero.....	31
Tabla 5. Comparación procedimientos de mezcla seca y húmeda.....	33
Tabla 6. Límites granulométricos de los agregados para concreto lanzado.....	36
Tabla 7. Metodología de la investigación	39
Tabla 8. Materiales para concreto lanzado.....	40
Tabla 9. Composición de mezclas para concreto lanzado.....	42
Tabla 10. Contenido mezcla de mortero	42
Tabla 11. Tipos de agregado seleccionados	48
Tabla 12. Ensayos y normas usadas en laboratorio.....	50
Tabla 13. Resultados materia orgánica	54
Tabla 14. Resultados de equivalente de arena.....	56
Tabla 15. Resultados AdP1	59
Tabla 16. Resultados AdP2.....	60
Tabla 17. Resultados AdR1.....	61
Tabla 18. Resultados AdR2.....	62
Tabla 19. Resultados peso específico.....	66
Tabla 20. Resultados ensayo azul de metileno.....	68
Tabla 21. Resultados ensayo de compresión a 7 días	73
Tabla 22. Resultados ensayo de compresión a 14 días	74
Tabla 23. Resultados ensayo de compresión a 28 días	75
Tabla 24. Resultados ensayo de compresión.....	76
Tabla 25. Resultados de fluidez para mezcla de mortero.....	78
Tabla 26. Resultado de consistencia normal	80
Tabla 27. Resultados de densidad	81
Tabla 28. Resultado de contenido de aire	81

Tabla 29. Resultados de tiempos de fraguado.....82

Tabla 30. Seguimiento a mortero lanzado en talud.....88

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Nomenclatura de laderas y taludes	25
Figura 2. Proceso de erosión	26
Figura 3. Mapa de degradación de suelos por erosión	28
Figura 4. Diagrama de un talud 1:1 recubierto con concreto lanzado.....	33
Figura 5. Esquema de equipos para bombeo de concreto lazado.....	35
Figura 6. Aparatos de medición de consistencia	45
Figura 7. Recipiente a presión.....	46
Figura 8. Muestras de arena seleccionadas	48
Figura 9. Materiales en horno de secado.....	51
Figura 10. Agregado antes y después del secado	51
Figura 11. Pesaje hidróxido de sodio	52
Figura 12. Solución final.....	53
Figura 13. Soluciones reposadas	53
Figura 14. Comparación de muestras	54
Figura 15. Muestras reposadas	55
Figura 16. Lectura muestras	55
Figura 17. Muestras de material para tamizado	57
Figura 18. Selección de tamices y colocación de la muestra	57
Figura 19. Realización prueba.....	64
Figura 20. Pesaje de mezclas (NaCl – agua, arena)	64
Figura 21. Dispersión de la muestra de un picnómetro.....	64
Figura 22. Medida de contenido de agua para la muestra.....	65
Figura 23. Muestras preparadas	65
Figura 24. Mezcla con agua destilada batida	67
Figura 25. Muestras con azul de metileno.....	67
Figura 26. Pesaje y clasificación de los elementos	69
Figura 27. Mezcla de mortero	70
Figura 28. Elaboración de especímenes	70

Figura 29. Curado de especímenes.....	71
Figura 30. Ensayo y diagrama de compresión 7 días	72
Figura 31. Ensayo y diagrama de compresión 14 días	73
Figura 32. Ensayo y diagrama de compresión 28 días	74
Figura 33. Resultados ensayo de compresión	76
Figura 34. Prueba de fluidez	77
Figura 35. Prueba de consistencia	79
Figura 36. Prueba de fraguado en laboratorio	83
Figura 37. Panorámica del talud.....	84
Figura 38. Zonas de amenaza sísmica.....	85
Figura 39. Armado de marcos y perfilado del talud.....	85
Figura 40. Mezclado de materiales del mortero	86
Figura 41. Proyección del mortero en el talud	87
Figura 42. Condiciones iniciales del talud	88
Figura 43. Panorámica final del talud	95

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MORTERO SECO PARA MITIGAR LA EROSIÓN EN TALUDES

AUTOR(ES): VICTOR HUGO HERRERA VALENCIA

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): MSC. JULIAN ANDRES GALVIS FLOREZ

RESUMEN

El manejo de la erosión en taludes, naturales o artificiales, es uno de los retos en los que más deben concentrar su atención los profesionales de la ingeniería civil, ya que son la base para la estabilidad de las obras de infraestructura. Luego, es de gran importancia que desde las unidades académicas y las empresas que se encargan de estos temas particulares, se generen nuevas metodologías más prácticas, económicas y amigables con el medio ambiente para la solución de estos inconvenientes. Durante el desarrollo de este proyecto, se trabajó en evaluar los resultados que presenta la incorporación de mortero seco para la estabilización de taludes en suelos tropicales, desde la identificación, evaluación y selección de los materiales, y su formulación dentro de la mezcla final de mortero, hasta los ensayos de compresión en el laboratorio y la evaluación del mortero en campo, y su desempeño en condiciones reales de operación. A partir de esto, se corroboró la viabilidad de este método pues los resultados estuvieron por encima de un concreto M5 y cerca de un M20 según lo descrito en normas de referencia, alcanzando valores de resistencia de 15 MPa en la mezcla de arena de río, cemento Portland tipo 1 y los aditivos usados por la empresa.

PALABRAS CLAVE:

Mortero seco, Erosión, Suelos tropicales, Talud, Resistencia.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: ANALYSIS OF DRY MORTERO BEHAVIOR TO MITIGATE EROSION IN TALUDES

AUTHOR(S): VICTOR HUGO HERRERA VALENCIA

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: MSC. JULIAN ANDRES GALVIS FLOREZ

ABSTRACT

The erosion on natural or artificial slopes is one of the challenges that civil engineering professionals should concentrate their attention on the most, because, they are the baseline for the stability of the infrastructure works. Then, it is of great importance that academic units and companies generate new, more practical methodologies, economic and environmental friendly for the solution of these drawbacks. In the development of this project, it worked to evaluate results of the incorporation of dry mortar for the stabilization of slopes in tropical soils, from identification, evaluation and selection of materials, and their formulation within the final mortar mixture, up to the laboratory compression test and the assessment of the mortar on field, and finally, its performance under actual operating conditions. The viability of this method was confirmed as the results were above a concrete M5 and close to an M20 as described in the reference standards, reaching values of resistance of 15 MPa in the mix of river sand, Portland cement type 1 and additives used by the company.

KEYWORDS:

: Scientific article, Review article, Research, Citation styles.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCIÓN

Actualmente, y gracias al crecimiento sostenido de los últimos años, Santander se ha consolidado como una de las regiones claves para el crecimiento económico y financiero del país, paralelamente, la ciudad de Bucaramanga se ha posicionado como una de las ciudades principales (tanto en los aspectos relacionados anteriormente, como en lo que ha población se refiere) debido a su ubicación privilegiada que conecta al centro del país con la costa norte y Venezuela. Como consecuencia directa, en la región se ha requerido una importante expansión en lo que a obras civiles y de infraestructura se refiere. Por consiguiente, la ingeniería se ha visto obligada a abordar una serie de desafíos técnicos en lo que a tecnologías de construcción se refiere con el fin de mitigar los efectos del entorno geográfico, geológico y topográfico en que se encuentra el departamento y su capital al ubicarse sobre la cordillera oriental en la zona de influencia de nido sísmico de La Mesa de los Santos, incluso con la existencia de depósitos coluviales en constante movimiento, de acuerdo con información suministrada por la Sociedad Colombiana de Geotecnia [1].

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, son múltiples los desafíos ingenieriles que se presentan en el departamento, especialmente el manejo de la erosión y el movimiento en masa que son los más comunes e implican el gasto de una gran cantidad de los recursos, con el fin de mitigar sus efectos y evitar la interrupción de las actividades económicas que de allí se desprenden, como son las actividades de construcción y transporte de carga y pasajeros [2].

En atención a este escenario, el presente trabajo se presenta con el fin de determinar las propiedades mecánicas y potenciales beneficios que se desprenden de la técnica de revestimiento de taludes mediante la técnica de mortero seco, especificando adicionalmente diferentes composiciones capaces de transmitir a la mezcla la capacidad de impermeabilización y resistencia a la fractura requerida, proyectando su desempeño como medio de control de la erosión de taludes dentro del área metropolitana de Bucaramanga, situada en la categoría de suelos tropicales. En síntesis, el presente trabajo de grado busca establecer el comportamiento de cuatro tipos de mortero seco que tengan la capacidad de transmitir a la mezcla las propiedades mecánicas requeridas por un material de revestimiento que logre mitigar la erosión de taludes en suelos tropicales, además de evaluar los

métodos de aplicación (manual y proyectada) en una muestra de prueba, con el fin de establecer una metodología global de formulación de un mortero seco en función de su potencial de mitigación de erosión, su impacto ambiental y los posibles beneficios económicos derivados de la innovación e implementación de tecnologías constructivas más eficientes [2].

1. GENERALIDADES

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El aumento poblacional es directamente proporcional al crecimiento de las ciudades, el cual trae consigo nuevos retos a la ingeniería para garantizar la calidad de vida. La ingeniería civil no es la excepción y uno de sus principales desafíos es la implementación de nuevos métodos que garanticen la integridad de los taludes, debido a su gran importancia en la expansión urbana y la ampliación de la red vial, ya que permite controlar la erosión o inestabilidad de los terrenos a intervenir.

Uno de los principales inconvenientes que enfrentan los geólogos, ingenieros civiles y el gremio de la construcción en general, son los cambios abruptos en las condiciones de operación a los que se ven sometidos los diferentes proyectos, de los cuales, unos de los más críticos es el diseño de taludes y este es el caso particular de los países tropicales latinoamericanos, los cuales son afectados drásticamente por los problemas de erosión, resultado de su topografía montañosa y de los regímenes de precipitación específicos de la región [3]. Cabe resaltar que uno de los rubros más significativos en las partidas de inversión para proyectos de infraestructura en el mundo es el destinado a subsanar y recuperar los daños derivados de los procesos de degradación del suelo, ya sean inherentes a procesos naturales o provocados por la mala intervención y/o ejecución de los entornos, siendo un factor de retraso en los deseos de crecimiento en los países en vía de desarrollo [4].

1.1.1. Antecedentes históricos

Históricamente los primeros morteros de los que hay registro, no eran utilizados tal y como se conocen hoy en día (juntar elementos constructivos) y variaba incluso entre las diferentes sociedades antiguas, es el caso de los Egipcios, que lo integraban como una especie de revestimiento en las secciones de la gran pirámide, facilitando el deslizamiento de los grandes bloques de piedra y así ubicarlos de forma precisa dentro de la inmensa infraestructura [5].

Simultáneamente, los componentes y proporciones de los mismos también han sufrido de variaciones a lo largo del tiempo, encontrando evidencias en ciudades de las civilizaciones Griegas y Etruscas de morteros integrados por cal, arena y agua, e incluso en ocasiones aplicaban yeso, este último se conoce como mortero de yeso. Los primeros registros del uso del cemento en la mezcla de mortero datan de mediados del siglo XIX, que se usaba como conglomerante, pero presentaba aspereza y pobre adherencia por la escasa proporción de cemento utilizado.

Actualmente, y debido a los avances experimentados, la técnica de mortero ha debido evolucionar a la par para suplir y satisfacer los nuevos requerimientos, tanto en componentes como en proporciones de los mismos [5]

1.1.2. Antecedentes investigativos

Tabla 1. Antecedentes investigativos

Título del artículo / Autor(es)	Resumen	Aporte	Fuente
Sustainable mortars for rehabilitation of old plasters [6] <u>Autores:</u> -Isabel Torres -Gina Matias	El artículo estudia la viabilidad de introducir residuos cerámicos en la composición de morteros destinados al recubrimiento de muros y superficies estructurales, mediante la caracterización mecánica de diversas mezclas de mortero. Dando sustento teórico a la reutilización de diversos materiales como agregados del mortero en métodos de fabricación amigables con el medio ambiente.	Las características y proporciones de los residuos cerámicos empleados en la composición del mortero, sirven como referencia para la dosificación de cemento, arena y aditivos en el caso de la presente investigación.	<i>Engineering Structures</i> , vol. 129, pp. 11-17, 2016. ISSN: 0141-0296
Air lime–metakaolin–sepiolite mortars for earth based walls [7] <u>Autores:</u> -Slávka Andrejkovic -Ana Velosa -Fernando Rocha	El artículo evalúa el comportamiento de morteros basados en cal, con la adición de metacaolín y sepiolita para su utilización en recubrimientos de superficies de adobe. Las diversas variaciones en las proporciones de mezcla fueron sometidas a pruebas de laboratorio y aplicadas en antiguas superficies de construcciones demolidas, revelando las potencialidades de	Las diversas semejanzas materiales entre el área en corte del talud y las superficies de adobe, se toman como referente teórico para la posible implementación de agregados naturales en la composición del mortero en labores de recubrimiento.	<i>Construction and Building Materials</i> , vol. 44, pp. 133-141, 2013. ISSN: 0950-0618

Título del artículo / Autor(es)	Resumen	Aporte	Fuente
	las diversas mezclas para su aplicación en la rehabilitación de estructuras.		
<p>Assessing slope protection methods for weak rock slopes in Southwestern Taiwan [8]</p> <p><u>Autores:</u> -Der Lee -Yi Yang -Hung Lin</p>	<p>El artículo analiza el estado estructural de taludes adyacentes a carreteras ubicadas al suroeste de Taiwan, principalmente en lo referente a episodios de falla asociados a las temporadas de lluvia. En el estudio, la erosión superficial fue reconocida como el más común modo de falla, resaltando finalmente la importancia de diversos mecanismos (entre ellos el mortero lanzado) para conservar la integridad estructural de taludes generalmente estabilizados únicamente por sistemas de retención vegetal.</p>	<p>Las condiciones atmosféricas, su localización geográfica y los fuertes regímenes de lluvia según la temporada, convierten al suroeste de Taiwan en una región susceptible a los problemas derivados de la erosión de sus suelos, y un referente teórico para la presente investigación, revelando la importancia de considerar métodos adicionales de estabilización de taludes entre ellos el “Shotcrete” o revestimiento con mortero lanzado.</p>	<p><i>Engineering Geology</i>, vol. 91, pp. 100-116, 2007. ISSN: 0013-7952</p>
<p>Análisis de estabilidad y probabilidad de falla de dos taludes de suelo tropical en la autopista Medellín-Bogotá en el tramo de vía entre Marinilla y Santuario [9]</p> <p><u>Autores:</u> -Luis Escobar -Yamile Valencia</p>	<p>El artículo evalúa la estabilidad en taludes de suelo tropical ubicados sobre el trazado vial de la autopista Medellín-Bogotá, tomando en consideración además de los efectos geométricos y geológicos la presencia de cargas dinámicas por efecto de sismos, flujos de agua y propiedades del suelo, buscando determinar las características técnicas más apropiadas para taludes ubicados en el tramo objeto de estudio.</p>	<p>El análisis de estabilidad y probabilidad de falla presentado en este artículo destaca las variables geométricas y geotécnicas que deberán ser tenidas en consideración al momento de evaluar el estado inicial del talud objeto de prueba, previo a los ensayos de aplicación del mortero.</p>	<p><i>Boletín de Ciencias de la Tierra</i>, N° 31, pp. 51-64, 2012. ISSN: 0120-3630</p>
<p>Análisis comparativo entre algunas materias primas minerales nacionales e importadas utilizadas en la industria del cemento [10]</p> <p><u>Autores:</u></p>	<p>El artículo presenta los resultados comparativos de la composición química y mineralógica de materias primas minerales nacionales e importadas, como son la fluorita, el yeso y la bauxita para el caso de la industria cementera. Se encontró que en general los materiales colombianos presentan un mayor grado de contaminación desde el punto de vista</p>	<p>El potencial químico de las materias primas colombianas que revela este artículo, se convierte en un aliciente de la presente investigación en lo que refiere a establecer una dosificación apropiada de mortero seco para estabilización de taludes en suelos tropicales, pues la</p>	<p><i>Boletín de Ciencias de la Tierra</i>, N° 19, pp. 57-72, 2006. ISSN: 0120-3630</p>

Título del artículo / Autor(es)	Resumen	Aporte	Fuente
-Jorge Tobón -Laura Montoya	mineralógico, pero cuentan con características químicas de mayor calidad que los productos importados. Esto permite afirmar que si se establecen metodologías de beneficio de estos productos en el país se tendrían materias primas muy competitivas a nivel internacional y se podrían sustituir algunas importaciones.	posibilidad de emplear agregados nacionales favorece el desarrollo económico de las empresas y las regiones.	

Fuente. El Autor

1.1.3. Análisis de la situación actual

Históricamente la erosión ha amenazado la integridad de las obras que se ejecutan para servicio del hombre, en este orden de ideas, cobra relevancia el estudio y desarrollo de nuevas metodologías eficientes que permitan mitigar la erosión de los taludes más imperativamente en suelos tropicales, los cuales son más susceptibles a degradarse. Una de estas técnicas es el revestimiento de taludes con mortero.

Básicamente, el mortero se refiere a una mezcla de cemento, agua y arena, utilizado para la unión de piezas en mampostería, ladrillos y bloques estructurales. Sin embargo, y gracias al desarrollo de nuevos productos y técnicas se ha logrado incorporar nuevos productos de naturaleza química que permiten transmitir a la mezcla una mejora en sus propiedades mecánicas que lo hacen apto para ser usado en procesos estabilización de cortes y pendientes [3]. Adicionalmente, el alto costo ambiental de los agregados naturales, agua, arena, minerales y otros aditivos usados en la producción de morteros, ha llevado a buscar alternativas con menor consumo de materias primas y que permitan un menor desperdicio de obra, fue así como se llegó a un compuesto pre-diseñado conocido como *mortero seco* [11].

1.2. JUSTIFICACIÓN

Los objetivos últimos planteados para la presente investigación pueden resumirse en 3 premisas:

1) Control de erosión de obras de infraestructura. 2) Búsqueda de desperdicio mínimo de material, tiempo y mano de obra (eficiencia). 3) Menor afectación del medio ambiente.

Teniendo claro este planteamiento, es oportuno entender y mejorar el desempeño de las metodologías usadas actualmente para el control de la erosión, y en este caso particular se investigará el uso de mortero seco como técnica de revestimiento de taludes para la mitigación de la erosión. Permitiendo establecer componentes y cantidades de mezclas, los cuales transmitirán al producto final sus propiedades físicas, mecánicas y químicas que en ultimas deberán cumplir con los requerimientos planteados. Luego, el hecho de modificar cualquiera de estos aspectos amerita una minuciosa verificación que garantice la integridad de las obras y su permanencia en el tiempo, por lo cual se realizan ensayos para conocer y evaluar cada una de sus propiedades y comportamiento específico [11].

Igualmente, es de resaltar que la adopción de nuevas técnicas de construcción (mortero seco en este caso) traen consigo ventajas competitivas a la industria, instituciones públicas y privadas, y a usuarios particulares, ya que el mortero seco está capacitado para conceder a la mezcla características necesarias para su aprovechamiento como son; resistencia a la fractura, homogeneidad, fácil aplicación y rendimiento garantizado, evitando pérdidas de material, reduciendo tiempos de entrega y aminorando costos.

Finalmente, lograr implementar nuevas técnicas de construcción más eficientes es una forma de aportar a la mitigación del fenómeno de calentamiento que es un tema neurálgico en la agenda político-económica global, siendo la industria de la construcción uno de los causantes por la utilización de grandes cantidades de material.

1.3.OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Analizar el comportamiento mecánico de la mezcla de mortero obtenida a partir de diversas dosificaciones de mortero seco, como material de revestimiento en aplicaciones enfocadas a mitigar la erosión en taludes de suelo tropical.

1.3.2. Objetivos específicos

- Identificar las posibles formulaciones (dosificaciones) para un mortero seco usado en condiciones de operación en suelo tropical.
- Determinar las propiedades mecánicas de la mezcla con base en el comportamiento de muestras tipo sometidas a ensayos de laboratorio.
- Estimar las especificaciones en estado fresco de la mezcla de mortero en lo referente a densidad, consistencia, tiempo de manejabilidad, contenido de aire y retención de agua, luego de su aplicación manual y proyectada en un talud previamente estabilizado.
- Definir, a partir de los resultados, la mezcla de mortero seco que, presente el mejor desempeño, tanto en estado fresco, como endurecido.

1.4.ALCANCE

Durante la presente investigación, se utilizarán diferentes materiales y proporciones de los mismos para realizar unas muestras representativas que serán sometidas a diferentes pruebas tanto de laboratorio, como en campo, que permitan demostrar su capacidad de impermeabilización y resistencia a la fractura, evaluando su desempeño como medio de recubrimiento y control de erosión en taludes específicamente en los suelos tropicales característicos del área metropolitana de Bucaramanga.

1.5.LIMITACIONES

Los autores de la presente investigación se reservarán el nombre de los proveedores y detalles comerciales de los aditivos y compuestos a emplear debido a restricciones de confidencialidad con la empresa **MORTEROS Y CONCRETOS DE COLOMBIA S.A.S.**

1.6. GLOSARIO

Adherencia (mortero): Es la capacidad de un material de agarre, que permite absorber las tensiones que se presentan en la superficie d un mortero, lo que permite que dos materiales o cupos permanezcan unidos el uno al otro.

Densidad (mortero): Se define como el peso por unidad de volumen. Cada mortero posee una densidad que está dada por las relaciones propias de cada componente en la mezcla. Generalmente los valores de densidad para los morteros más comerciales se encuentran entre 1.8 y 2.3 Kg/dm³, estos valores tienden a variar con el paso del tiempo debido a la evaporación de agua durante el fraguado.

Durabilidad (mortero): Es la propiedad del mortero de soportar las condiciones del entorno y mantener sus características durante el tiempo.

Manejabilidad (mortero): Mide sencillez de la mezcla para ser aplicada en los taludes sujetos a revestimiento, esta propiedad está directamente relacionada con la consistencia de la mezcla y su estado de fluidez, es decir, que tan dura (seca) o blanda (fluida) es la mezcla cuando se encuentra en estado plástico, también depende de la proporción de arena y cemento y de la forma, textura y módulo de finura de la arena.

Retención de agua (mortero): Esta propiedad se refiere a la habilidad del mortero para mantener su plasticidad cuando queda en contacto con la superficie absorbente, como una pieza de mampostería. La retención de agua incide altamente en la velocidad de endurecimiento y en la resistencia final a la compresión, ya que, por ejemplo, una mezcla incapaz de retener el agua no permite la hidratación del cemento [12].

Retracción (mortero): Es la relación del cambio de volumen inicial y final del mortero, que se presenta durante el proceso de fraguado. Durante el desarrollo de la retracción, se presentan cargas de tensión interna que pueden ocasionar fracturas del mortero si se supera el valor de resistencia a la tracción de la mezcla.

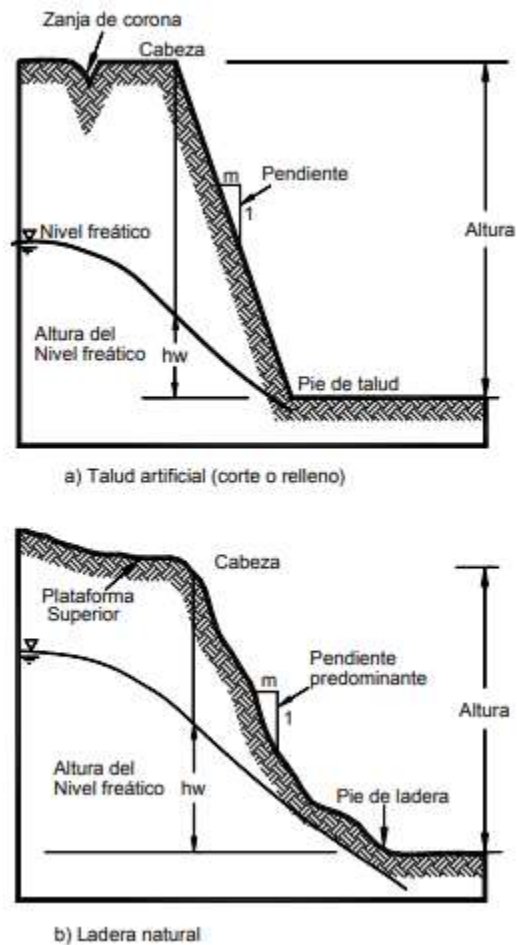
Velocidad de endurecimiento (mortero): Refiere a los tiempos de fraguado final e inicial de la mezcla de mortero, los cuales deben estar entre los límites adecuados. Por lo general, oscilan entre valores de 2 y 24 horas; sin embargo, estos dependen de algunos factores adversos tales como las condiciones ambientales como el clima y humedad o composición de la mezcla [12].

2. MARCO TEÓRICO

2.1. TALUD

Talud o ladera es una porción de tierra que presenta una inclinación o cambios de altura característicos. Técnicamente, llamamos *ladera* cuando esta se ha conformado de forma natural en el entorno, a diferencia del *talud* que aparece por la intervención del hombre (Figura 1). Estos últimos se pueden categorizar de tres formas diferentes; terraplenes, cortes de laderas naturales y muros de contención, o en algunos casos una combinación de ellos.

Figura 1. Nomenclatura de laderas y taludes



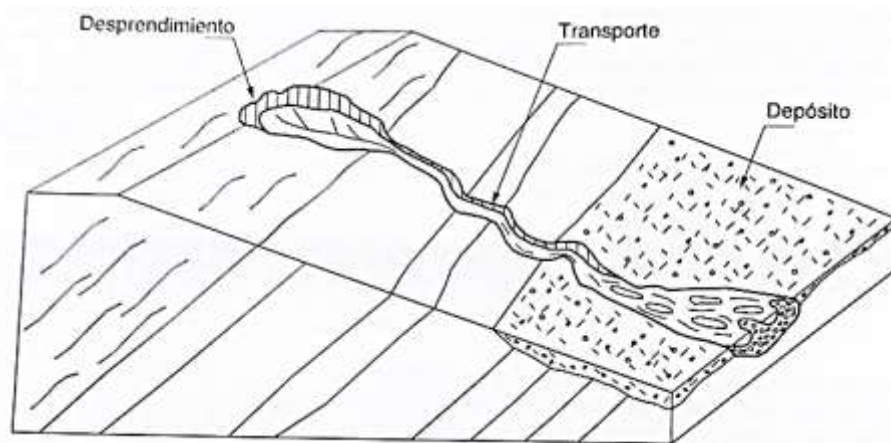
Fuente. Jaime Suarez Díaz (2001)

Independientemente de que los taludes o laderas no hayan presentado variaciones significativas a lo largo del tiempo, están sujetos a cambios topográficos, sísmicos, flujos subterráneos, cambios en las propiedades del suelo, entre otros factores que afecten su estado natural de estabilidad. Luego es importante tener en cuenta que un talud puede llegar a convertirse en un deslizamiento [14].

2.2.EROSIÓN

Fenómeno de las capacidades físico-mecánicas de los suelos, que afectan sus funciones y servicios ecosistémicos, afectando su estabilidad. [14].

Figura 2. Proceso de erosión



Fuente. Jaime Suarez Díaz (2001)

Aunque la erosión es un proceso natural, sin embargo, cuando se presentan **actividades antrópicas**¹ pasan a clasificarse como **degradación**, ya que aceleran, intensifican y magnifican el fenómeno. Luego, tenemos que la degradación del suelo por erosión se refiere a "perdida de la capacidad superficial de la corteza terrestre por acción del agua y/o el viento, que es mediada por el ser humano [16].

¹ Cualquier acción o intervención realizada por el ser humano sobre la faz de la tierra.

En la Figura 2 se ilustra un proceso típico de erosión, arrancando desde el desprendimiento de material en la parte alta del talud, hasta depositarse en la parte baja debido a la acción de fluidos en movimiento –agua o viento-, con la ayuda de la fuerza de la gravedad. Generalmente las regiones que presentan suelos muy erosionables, pendientes significativas, clima seco y fuertes vientos, pero con lluvias intensas ocasionales, tienden a sufrir más problemas de erosión en sus suelos, intensificada por la deforestación si manejo, la remoción indiscriminada de capa vegetal y la concentración de escorrentía de manera artificial [3].

Al día de hoy, se han implementado métodos de ensayo para identificar los posibles suelos erosionables, algunos de estos se presentan en la Tabla 2

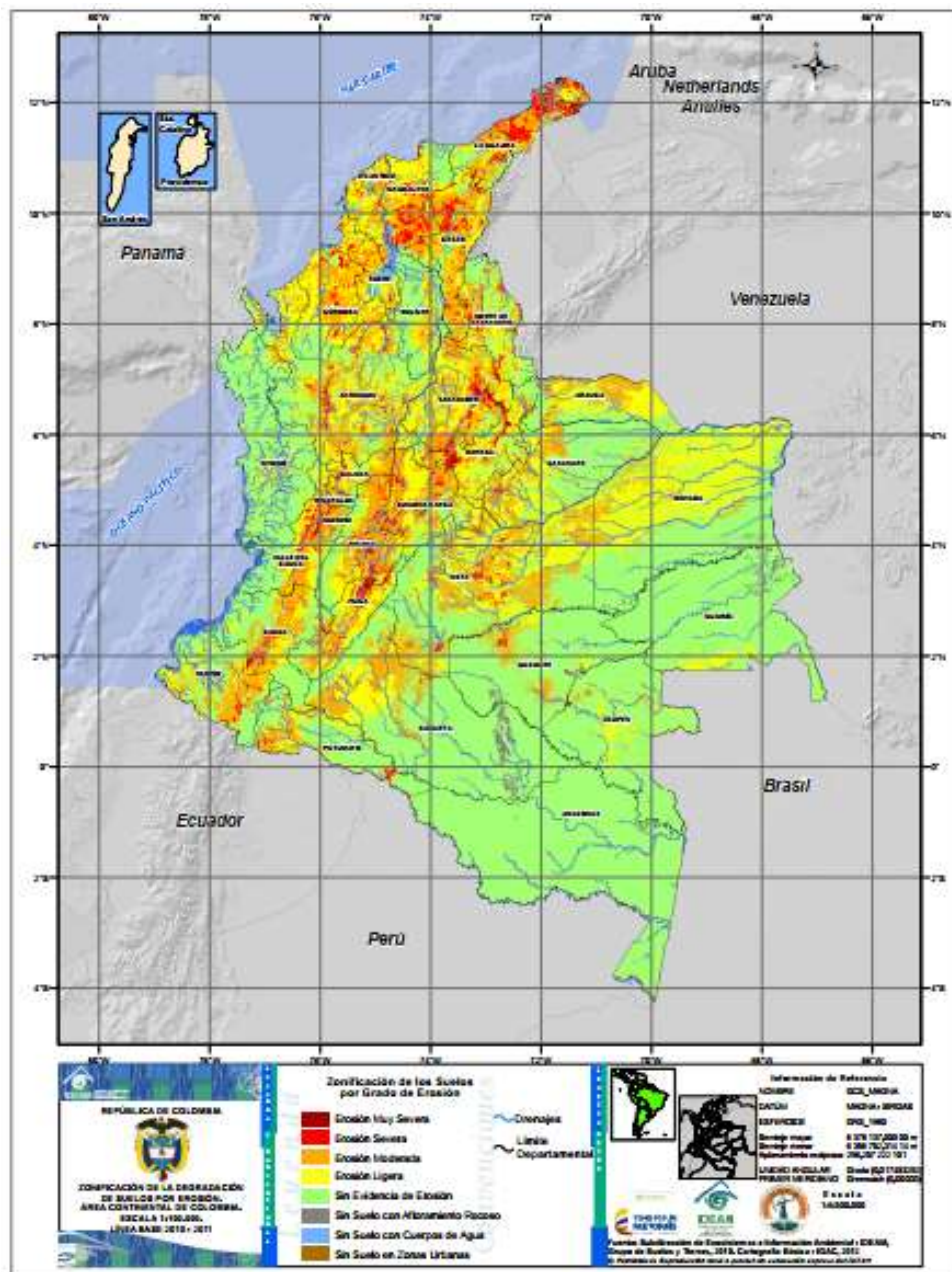
Tabla 2. Ensayos de Erosionabilidad

Método de ensayo	Descripción
Ensayo de caída de agua	El agua cae sobre una muestra de suelo y el agua y los productos de erosión son recogidos en un recipiente. Se hace un análisis cuantitativo basado en el grado de lodosidad.
Ensayo de desmoronamiento	Una muestra de suelo se coloca en agua y se observa cualitativamente el grado de lodosidad del agua (visualmente).
Ensayos químicos	La concentración de iones se determina y se correlaciona por medio de tablas experimentales (como la de Sherard).
Ensayo de Pinhole	Para la identificación de arcillas dispersivas también se emplea el ensayo “Pinhole” desarrollado por Sherard en 1976. Se hace pasar agua por un hueco (Pinhole). La rata y naturaleza del flujo es observada para determinar la erosionabilidad
Ensayo de flujo en canal	Se hace pasar agua sobre un canal del suelo en el laboratorio y se observa el comportamiento. Se considera uno de los sistemas que mejor representa el fenómeno de erosión.
Ensayo de luz ultravioleta	Se mezcla Acetato de Uranio y Zinc con una morona de suelo y se observa la fluorescencia con luz ultravioleta la cual revela la presencia de sodio.
Ensayo de dispersión	El porcentaje de partículas menores de cinco μM se determina en dos ensayos de hidrómetro. El primero con un agente dispersante en la solución y el segundo sin dispersante. Entre mayor sea la relación de partículas menores de cinco μM sin dispersante la probabilidad de erosión es mayor.

Fuente. Jaime Suarez Díaz (2011)

Es de resaltar que según el SIAC², incluye a Santander como uno de los departamento con suelos en grado severo o muy severo de erosión como se puede evidenciar en mapa de degradación de suelos de la Figura 3.

Figura 3. Mapa de degradación de suelos por erosión



Fuente. SIAC (2019)

² SISTEMA DE INFORMACIÓN AMBIENTAL DE COLOMBIA

Debido al alto contenido de arena arcillosa y alta permeabilidad presente en el talud sujeto a prueba, se puede evidenciar el alto grado de erosión ocasionado por los regímenes de lluvia a los cuales es sometido, inicialmente con surcos a lo largo del talud, que posteriormente evolucionan a cárcavas de mayor tamaño y profundidad a medida que no se interviene para solucionar el inconveniente. Estas características se presentan debido a que el agua se infiltra con mayor rapidez y facilidad en este tipo de suelos, ocasionando que la arena que entra en contacto pierda su compactación y resistencia a los esfuerzos cortantes, generando sedimentación que en últimas es la que produce estos tipos de erosión.

2.3.MORTERO

Mezcla de material aglutinante (cemento portland u otros cementantes), material de relleno (agregado fino u arena), agua y aditivos que al endurecerse presentan propiedades químicas, físicas y mecánicas similares al concreto y se usa generalmente para unir piezas de construcción de muros o para su recubrimiento.

2.3.1. Tipos de morteros

Los morteros pueden distinguirse en función de distintas variables, a continuación, enunciaremos algunos de ellos.

2.3.1.1 Según conglomerantes o características específicas.

Una de las formas de clasificar los morteros es dependiendo del tipo de conglomerante que se incorpora. Luego, se pueden numerar dependiendo de su composición y de las cantidades de los mismo, o simultáneamente, por características propias de la mezcla como la resistencia a compresión a 28 días [17]. En la Tabla 3 se pueden analizar algunas características de morteros bajo esta clasificación.

Tabla 3. Clasificación por composición

Conglomerante	Proporciones	Resistencia
Morteros de cemento	Cemento : arena (1:3)	0.5 MPa - 17.5 MPa (a 28 días)
Morteros de cal hidráulica	Cal : arena (1:3)	
Morteros de cal aérea	Cal : arena (1:3)	
Morteros mixtos de cemento y cal hidráulica	Cemento : cal : arena (1:1:3)	
Morteros mixtos de cemento y cal aérea	Cemento : cal : arena (1:1:3)	

Fuente. Libia Gutiérrez de López (2003)

2.3.1.2 Según su uso o aplicación.

De acuerdo al método de aplicación los morteros se pueden dividir en varios tipos, los cuales pueden ser conformados por cualquiera de los conglomerantes enunciados en la sección anterior.

- Morteros para obras de fabrica
- Morteros de revestimiento
- Morteros para solados
- Morteros cola
- Morteros de reparación
- Morteros impermeabilizantes

Para morteros de fábrica y revestimiento, se usan únicamente *morteros mixtos y cal aérea*.

2.3.1.3 Según su método de fabricación.

Depende del sitio donde se fabrica el mortero, podemos encontrar morteros hechos en obra, donde se dosifica y mezcla en el sitio de trabajo, o mezclas industriales amasadas en fabrica. También se pueden encontrar casos en los que hay una combinación de los dos, dosificando en fabrica y realizando la mezcla en obra.

2.3.1.4 Según suministro

En este caso, varía según el estado de la mezcla si se encuentra seca o húmeda, en el primer caso, solo es necesario completar la mezcla con agua (en la cantidad especificada) para alcanzar el producto final.

Por último, En la Tabla 4 se encontrarán algunas características importantes a tener en cuenta en la fabricación de un mortero, y de donde se puede corroborar la importancia de corroborar las cantidades adecuadas de materiales usadas en el mezclado de mortero para las condiciones particulares de obra.

Es importante resaltar que cada país tiene la facultad de establecer los requerimientos para los diferentes tipos de mortero en concordancia con sus propiedades físico-mecánicas.

Tabla 4. Efecto de materiales en mezcla de mortero

Componente	Resistencia	Tiempo amasado y colocación	Contracción	Otros
Cemento	Alta	intermedio	3% (mortero seco)	
Cal	Baja	Alto	Mayor retracción	Plastico y permeable
Arena	Baja	Baja	Baja retracción	

Fuente. El Autor

El mortero que se aplicara al talud es una formula con la cual la empresa **MORTEROS Y CONCRETOS DE COLOMBIA S.A.S.** pretende evaluar para analizar la viabilidad de la mezcla, con el fin de ofrecerla a sus clientes como potencial metodología para la mitigación de la erosión en taludes de obras civiles en las zonas con presencia de suelos tropicales. La mezcla estará compuesta de un agregado (proveniente de rio o peña de los cuales se seleccionará el de mejor desempeño en la mezcla), cemento Portland tipo 1 y aditivos. Más adelante se detallarán los porcentajes de cada componente y los procesos utilizados para su elaboración y aplicación en la superficie del talud.

2.4. REVESTIMIENTO Y MUROS PARA EL CONTROL DE LA EROSIÓN

La construcción de muros de contención o taludes revestidos es una de las maneras más eficaces de ejercer un control sobre la erosión que se presenta generalmente en las riberas de torrentes de agua. Estas estructuras deben ser capaces de resistir los efectos de la erosión sobre el entorno, con el fin de evitar el contacto directo entre los flujos y el suelo para evitar el desprendimiento de

material. Otros beneficios son la contención del suelo, minimizando el deslizamiento por socavación al pie de los taludes y en casos particulares ayuda a disipar la energía de las corrientes.

Este tipo de infraestructura, puede diferenciarse de acuerdo a la situación específica de cada obra agregándole características como la permeabilidad o impermeabilidad, rigidez o flexibilidad entre otros.

2.4.1. Revestimiento de concreto

Para taludes que presentan una pendiente muy pronunciada, es usual usar revestimiento total de concreto. Estos revestimientos de concreto que se funden directamente en el sitio de obra son una de las alternativas más eficaces para el control de socavaciones por fluidos, siendo una constante encontrarles en la canalización de ríos, quebradas, entre otros. Hay algunos casos en los cuales las pendientes son muy significativas y es necesario realizar refuerzos que se constituyen por elementos de anclaje debajo de la pantalla para evitar deslizamientos. Los elementos que se pueden utilizar pueden ser; varillas de acero (pernos estructurales), o elementos de concreto mismo que se funden como parte de la pantalla.

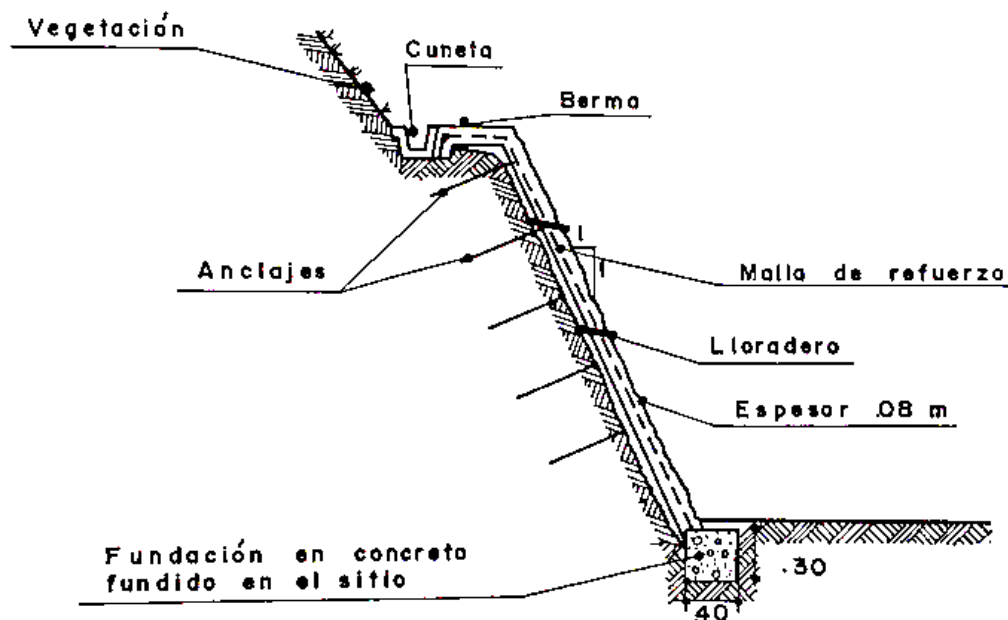
Algunas de las técnicas aplicadas para revestir taludes dependen en gran medida de las características de la pendiente, (pudiendo encontrar espesores desde 8 hasta 20 centímetros) incluso varia el tipo de mortero o concreto que se usa en el revestimiento, puede hacerse fundiendo directamente en sitio con concreto corriente o concreto o mortero lanzado (*gunita*). Finalmente, independientemente del procedimiento que se seleccione, se debe cumplir con los requerimientos mínimos, uno de los más críticos es la resistencia al desgaste que por lo general debe estar por encima de los 4000 psi.

2.5. CONCRETO O MORTERO LANZADO

Esta técnica, tiene la particularidad de ser sencilla al momento de aplicarla sobre superficies irregulares, pero paralelamente es sensible a agrietamientos y/o asentamientos. Sus especificaciones tienen varias similitudes en comparación con los concretos convencionales, por ejemplo, es necesario usar agregados que prevengan la segregación, juntas de concentración a aproximadamente 3 metros, los espesores pueden ser entre 5 y 15 centímetros y es recomendable

reforzar con malla electro-soldada. Un esquema típico de los taludes con mortero lanzado se muestra en la Figura 4.

Figura 4. Diagrama de un talud 1:1 recubierto con concreto lanzado



Fuente. Jaime Suarez Díaz (1992)

La mezcla de mortero lanzado se puede manejar de dos maneras, húmeda y seca (algunas características se pueden observar en la Tabla 5). Mientras el concreto lanzado en seco solo se mezcla con el agua hasta el momento de la aplicación, el húmedo, se mezcla como un concreto de revenimiento bajo y así es bombeado hasta la boquilla. Aditivos como acelerantes en mezcla seca se aplican directamente en la mezcla, a diferencia de la mezcla húmeda que se debe incluir en la boquilla.

Tabla 5. Comparación procedimientos de mezcla seca y húmeda

Mezcla húmeda	Mezcla seca
<ul style="list-style-type: none"> • Menos rebote durante el lanzado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Es más adaptable a las condiciones cambiantes del terreno sobre todo donde hay agua.
<ul style="list-style-type: none"> • Menos polvo. 	<ul style="list-style-type: none"> • El equipo de mezcla seca es menos costoso y es fácil conseguir equipo.

Mezcla húmeda	Mezcla seca
<ul style="list-style-type: none"> • El control de calidad de los agregados es más fácil porque la fabricación es parecida a la del concreto. 	<ul style="list-style-type: none"> • El equipo de mezcla seca es más compacto y por lo tanto más adaptable en sitios con espacio limitado.
<ul style="list-style-type: none"> • La calidad del concreto lanzado no depende tanto de la habilidad del operador de lanzado ya que la cantidad de agua no depende de él. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayores pérdidas por rebote.
<ul style="list-style-type: none"> • El operador controla directamente la velocidad de impacto de las partículas y por lo tanto su compactación ya que él controla el flujo del aire. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor cantidad de polvo.
<ul style="list-style-type: none"> • Es más fácil de limpiar. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Tiene menos costo de mantenimiento. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Rinde mayor producción. 	

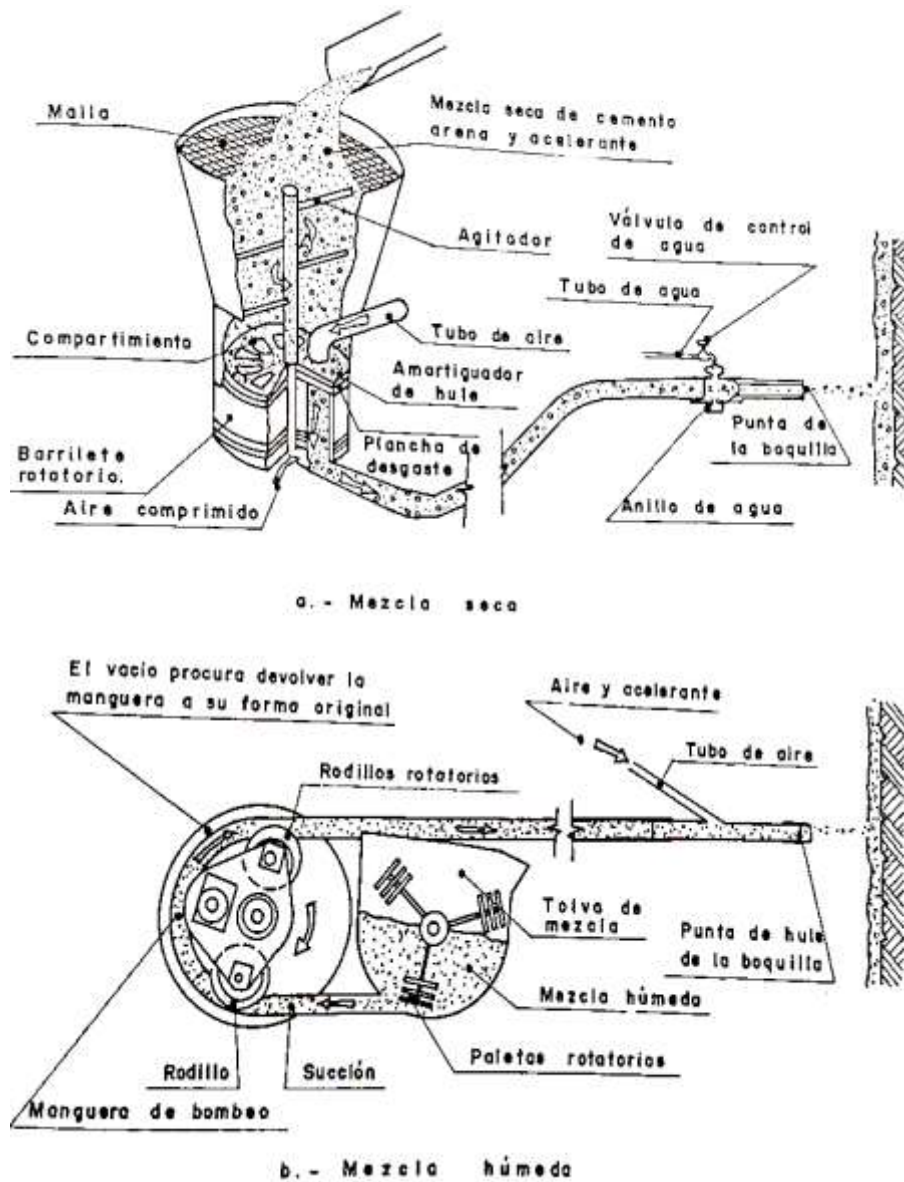
Fuente. Jaime Suarez Díaz (2007)

Independientemente de la clase de mortero que se utilice, este tendrá que satisfacer unos criterios principales.

- Lanzabilidad
- Resistencia temprana
- Resistencia a largo plazo
- Durabilidad
- Economía

Por otra parte, en la Figura 5 se detallan los componentes del sistema de bombeo para concreto lanzado tanto para mezcla seca como húmeda respectivamente.

Figura 5. Esquema de equipos para bombeo de concreto lazado



Fuente. Jaime Suarez Díaz (1992)

La proyección del mortero en nuestro caso se realizó manualmente en marcos de 1 m * 1 m * 2.5 cm de profundidad, para las cuatro formulas bajo estudio, asegurando una aplicación homogénea sobre la superficie, disminuyendo las perdidas por rebote, la correcta compactación y la orientación de las fibras, también se prestó mucha atención a la cantidad de agua usada en la mezcla, ya que este componente tiene la capacidad de modificar las propiedades físicas del mortero.

Cabe resaltar que estas fórmulas de concreto lanzadas en el talud de proyección, fueron previamente probadas en laboratorio para evaluar parámetros críticos mínimos necesarios para su uso como lo son; resistencia de compresión, contenido de aire o retención de agua.

2.5.1. Agregados

Generalmente se prefiere usar grava natural y piedra triturada por su facilidad a la hora de ser bombeado, con la misma calidad del que es usado para un concreto de buena calidad. Al ser tamizado en **malla 200** (0.075 mm), no deberá pasar más del 2% del material. Dentro de su estructura no se debe encontrar limo, granos suaves o recubiertos, álcalis dañinos o material orgánica. Se descartan agregados con reacción alcalina. Por otra parte, el tamaño máximo de los agregados no superara $\frac{1}{3}$ del diámetro de la manguera en su sección más angosta.

En cuanto a los acelerantes, existen en el mercado gran cantidad con mejores efectos que los encontrados en el concreto normal, se encuentran en forma líquida o en polvo, y al momento de manipularlos se debe tener precaución en razón de algunas propiedades químicas que pueden tornarse nocivas para la salud del operador.

Tabla 6. Límites granulométricos de los agregados para concreto lanzado

Agregados finos Malla		Porcentaje que pasa la malla por peso		
3/8" (9.5 mm)		100		
No.4 (4.75 mm)		95 a 100		
No.8 (2.36 mm)		80 a 100		
No.16 (1.18 mm)		50 a 85		
No.30 (0.6 mm)		25 a 60		
No.50 (0.3 mm)		10 a 30		
No.100 (0.15 mm)		2 a 10		
Agregados gruesos Malla	No. 8 a 3/8"	No. 4 a 1/2"	No. 4 a 3/4"	
1" (25 mm)	-	-	-	
3/4" (19 mm)	-	100	90-100	
3/8" (9.5 mm)	85-100	40-70	20-55	
No.4 (4.75 mm)	10-30	0-15	0-10	
No.8 (2.36 mm)	0-10	0-5	0-5	
No.15 (1.18 mm)	0-5	-	-	

Fuente. Jaime Suarez Díaz (2001)

Se trabajó con 5 tipos de agregados diferentes, provenientes de fuentes de río y peña, en diferentes minas de la zona, durante el desarrollo de las pruebas de laboratorio practicadas a los diferentes tipos de arena se descartó una muestra que presentaba un nivel de materia orgánica por encima de los valores permisibles, lo que la hacía inviable para su uso en mezclas de concreto y/o mortero. Para las otras pruebas, los resultados son similares para las muestras extraídas de la misma fuente, es decir, para las de río o arena de peña, mientras que entre ellas si se observan diferencias significativas, como es el caso del equivalente de arena que estuvo por encima de 80% para las arenas de río, y por otro lado las arenas de peña tuvieron valores inferiores al 30%. Para las pruebas de granulometría, se evidencia también un mejor comportamiento de las arenas de río, ya que la distribución de los tamaños de grano óptimo de acuerdo a los resultados en gráficas y curvas granulométricas. Aunque en ninguna de las muestras se evidencio presencia de plasticidad.

En general, aunque las cuatro (4) arenas con las que se finalizó el proceso tienen resultados de las pruebas de laboratorio que pueden ser aceptables, las muestras de arena de río tuvieron un comportamiento superior lo que en teoría decantaría su selección para la formulación de la mezcla de mortero.

2.5.2. Proporciones de la mezcla

Una mezcla típica tipo concreto lanzado contiene los siguientes porcentajes de componentes secos:

- Cemento 15-20%
- Agregado grueso 30-40%
- Agregado fino o arena 40-50%

La relación agua-cemento para concreto lanzado seco se sitúa en el rango 0.3 a 0.5 y se ajusta por el operador, según las condiciones locales. Para concreto lanzado de mezcla húmeda, la relación agua-cemento se sitúa entre 0.4 y 0.6.

Una vez limpia la superficie sobre la que se va a lanzar concreto, la operación podrá dar comienzo. El operador de la boquilla elige la presión de aire y el operador de la máquina ajusta el flujo del

material para adaptarse a esa presión del aire. La distancia óptima entre la boquilla y la superficie sobre la cual se está lanzando es aproximadamente de un metro.

3. METODOLOGÍA

3.1. DISEÑO METODOLOGICO

Tabla 7. Metodología de la investigación

Interrogante	Objetivo	Actividad	Descripción	Soporte teórico
¿Cuál mortero seco es apto para aplicación en taludes de suelo tropical?	>> Identificar las posibles formulaciones de mortero seco para condiciones de operación en suelo tropical.	Revisión documental	Se consultarán los parámetros técnicos para implementación de mezclas de mortero seco en taludes de suelo tropical, buscando determinar las proporciones usuales de cemento, arena y aditivos, en aplicaciones enfocadas a la mitigación de la erosión.	La erosión
¿El mortero seco tiene las propiedades mecánicas requeridas?	>> Determinar las propiedades mecánicas de la mezcla con base en el comportamiento de muestras tipo sometidas a ensayos de laboratorio.	Realización de ensayos de laboratorio	Se llevará a cabo la caracterización de propiedades mecánicas de los materiales constituyentes y dosificaciones candidatas para aplicación en talud.	El mortero
¿El mortero seco es aplicable en taludes de suelo tropical?	>> Estimar las especificaciones en estado fresco de la mezcla de mortero en lo referente a densidad, consistencia, tiempo de manejabilidad, contenido de aire y retención de agua, luego de su aplicación manual y proyectada en un talud previamente estabilizado.	Aplicación de la mezcla	Se aplicarán las diversas muestras (manualmente y proyectadas con máquina) en secciones delimitadas del talud, facilitando la posterior fase de verificación y comparación de dosificaciones.	Revestimientos y muros para el control de la erosión
¿Cuál muestra de mortero seco es la mejor en lo referente	>> Establecer la muestra de mortero seco que, con base en sus porcentajes de	Determinación de la muestra con mejores especificaciones	Se evaluará el desempeño de las diversas mezclas de mortero aplicadas,	Concreto o mortero lanzado

Interrogante	Objetivo	Actividad	Descripción	Soporte teórico
a mitigar la erosión del talud?	dosificación de aditivos y tipo de arena, presente las mejores especificaciones en estado fresco (densidad, consistencia, tiempo de manejabilidad, contenido de aire y retención de agua) y endurecido (resistencia a la compresión).		determinando la correcta proporción de cemento, arena y aditivos para dosificación de mortero seco destinado a estabilización de taludes y control de la erosión en suelos tropicales	

Fuente. El Autor

3.2. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES PARA EL DISEÑO DE MORTEROS

3.2.1. Materiales

En general y como ya se ha comentado a lo largo del documento, los materiales utilizados para la fabricación de morteros son típicamente los mismos (arena, cemento, agua y aditivos en algunos casos), en esta ocasión no será la excepción, pero se harán cambios en los tipos de materiales con el fin de evaluar su desempeño dentro de la mezcla y las propiedades últimas obtenidas de la misma.

En la Tabla 8 se plantean los componentes a usar en esta investigación.

Tabla 8. Materiales para concreto lanzado

Materiales	Tipo
Arena	Rio Peña
Cemento	Tipo 1
Aditivos	Súper-fluidificante Plastificante Latex Fibra

Fuente. El Autor

3.2.2. Pruebas de laboratorio

Son las herramientas que se tienen los ingenieros para garantizar la idoneidad de los materiales que se pretenden usar en la ejecución de obras.

3.2.2.1 Arenas (de Río y de Peña)

- Granulometría
- Contenido de Materia Orgánica (Ensayo Colorimétrico)
- Equivalente de Arena
- Determinación de la resistencia del agregado a la degradación por abrasión, utilizando el aparato Micro-Deval
- Azul de metileno en agregados finos.

3.2.2.2 Cemento

- Revisión documental de fichas técnicas

3.2.2.3 Aditivos

- Revisión documental de fichas técnicas

3.2.3. Formulación y dosificación

Inicialmente, se habían planteado 6 mezclas para la fabricación del concreto (Tabla 9) que incluían en la composición solamente 2 tipos de arena (río –AdR- y peña -AdP-) y de las cuales se sacaban 3 concretos con diferente porcentaje de agregado y cemento en la mezcla final. Pero, teniendo en cuenta que las características físico-químicas de las arenas eran iguales no permitía concluir fehacientemente sobre las diferencias de los concretos alcanzados con las mezclas practicadas, por lo cual se decidió tomar diferentes tipos de agregados para observar su comportamiento y cómo influye en el desempeño de los morteros, además de su afinidad con los demás componentes de la mezcla, especialmente con los aditivos específicos usados por la empresa **MORTEROS Y CONCRETOS DE COLOMBIA S.A.S.** que le permita alcanzar una formulación que cumpla los requerimientos específicos que se plantean.

El diseño de mezcla es suministrado por la empresa **MORTEROS Y CONCRETOS DE COLOMBIA S.A.S.** teniendo en cuenta lo anterior, el diseño de mezcla es determinado con base en los porcentajes de cada material como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 9. Composición de mezclas para concreto lanzado

Materia prima	% mezcla 1	% mezcla 2	% mezcla 3
Cemento gris tipo 1	27.0	25.0	22.0
Fibra	0.1	0.1	0.1
Arena rm8 (100% pasante) río	71.4	73.4	75.4
Impermeabilizante	1.0	1.0	1.0
Latex	0.5	0.5	0.5
Super-fluidificante	0.1	0.1	0.1
a. Arena de río (AdR)			
	% mezcla 4	% mezcla 5	% mezcla 6
Cemento gris tipo 1	27.0	25.0	22.0
Fibra	0.1	0.1	0.1
Arena rm8 (100% pasante) peña	71.4	73.4	75.4
Impermeabilizante	1.0	1.0	1.0
Latex	0.5	0.5	0.5
Super-fluidificante	0.1	0.1	0.1
	100.0	100.0	100.0
b. Arena de peña (AdP)			

Fuente. El Autor

A partir de lo anterior, se propuso utilizar muestras de agregados de fuentes diferentes que históricamente ha manejado la empresa y realizar una única dosificación que se plantea a continuación.

Tabla 10. Contenido mezcla de mortero

Cemento [g]	Agregado [g]	Aditivos [g]	Agua [Litros]
3125	9125	212.5	2,65

Fuente. El Autor

No existe una relación agua/cemento, ya que este no es un mortero tradicional, este es un mortero formulado donde las cantidades son determinadas por porcentaje. La cantidad de agua esta definida en el diseño de la mezcla.

3.2.4. Elaboración del mortero

- Lavado y secado de agregados
- Selección de arena según granulometría de acuerdo a formulación
- Dosificación de los materiales (agregado, cemento y aditivos) según formulación
- Mezclado homogéneo de los productos

3.2.5. Parámetros para el control de calidad de la mezcla

Cada obra genera sus necesidades particulares y la obligación de la ingeniería es satisfacer estos requerimientos. Es el caso de la industria de la construcción, específicamente en el tema de morteros no existe una mezcla particular que cumpla todas las exigencias demandadas, en estos casos es importante tener un excelente conocimiento sobre los elementos que hacen parte de la mezcla, lo que permite alcanzar un mortero que cumpla las especificaciones específicas de un proyecto. Lo anterior se alcanza realizando un buen control de calidad tanto a los materiales, como a los morteros.

3.2.5.1 Especificaciones en estado fresco

Densidad. Masa contenida en un volumen específico, útil para calcular rendimiento del producto. Se expresa como razón de la masa y el volumen (Ejemplos: $1.75 \frac{ton}{m^3}$; $1.75 \frac{Kg}{L}$; $1.75 \frac{g}{cm^3}$). El cálculo más sencillo requiere de un recipiente graduado de volumen conocido y un dispositivo de pesaje.

Para un mortero empleado en el recubrimiento de taludes con resistencia entre los 340 Kg/cm^2 y los 380 Kg/cm^2 se espera un valor de densidad que oscile entre los $3.0 - 3.2 \text{ g/cm}^3$ [17].

Consistencia. Término referido al grado de cohesión del mortero o la resistencia a deformarse. La consistencia es en gran medida un indicador de la trabajabilidad o facilidad de colocación del mortero. Puede ser entendida de manera adicional como la capacidad de deformarse o fluir, y se mide en unidades de longitud, generalmente mm, cm, pulgadas. En cuanto a instrumentos de

medición puede emplearse el cono Abrams (asentamiento – cm, pulg) o el aparato Vicat modificado (penetración – mm).

Figura 6. Aparatos de medición de consistencia



a. Cono de Abrams



b. Vicat modificado

Fuente. Chiguay (2007)

Tiempo de manejabilidad. Característica que define el tiempo del que dispone el aplicador para colocar el material una vez humectado. Este dato temporal permite estimar la cantidad de mortero a preparar de acuerdo a la capacidad de colocación del aplicador. Se entiende como la capacidad del mortero de conservar su consistencia una vez humectado y se mide en unidades de tiempo, con tendencia a variar inversamente con respecto a la temperatura del ambiente.

Para un mortero empleado en el recubrimiento de taludes con resistencia entre los $125 \frac{Kg}{m^2}$ y los $140 \frac{Kg}{m^2}$ se espera un tiempo de manejabilidad que oscile entre 0.5 y 1.5 horas. Estos datos se pueden corroborar de acuerdo al procedimiento de ensayo de fluidez descrito bajo la norma NTC 111.

Contenido de aire. Se refiere al porcentaje de aire en volumen incluido en la matriz, siendo una característica que influye particularmente la consistencia de la mezcla. Se expresa como la

capacidad del mortero de incluir uniformemente burbujas durante el proceso de amasado y se mide como el porcentaje (%) de aire incluido del total del volumen ocupado por el mortero, siendo factible su estimación por medio de un recipiente a presión como el que se muestra en la Figura 7.

Figura 7. Recipiente a presión



Fuente. Chiguay (2007)

Retención de agua. Se refiere a la capacidad del mortero para conservarse hidratado una vez ha entrado en contacto con una superficie absorbente u otra condición que extraiga agua de la mezcla. Ésta característica es particularmente influyente en el correcto fraguado y curado del mortero.

3.2.5.2 Especificaciones en estado endurecido

Resistencia a la compresión. Capacidad que tiene el mortero de soportar esfuerzos. La resistencia a la compresión está influenciada por la hidratación del cemento y esta, a su vez determina las propiedades físicas al mortero endurecido.

Durabilidad. Habilidad de resistir las condiciones de trabajo a las cuales se somete la mezcla. En países tropicales como Colombia, el principal motivo de deterioro en los morteros es la presencia de sustancias agresivas tales como sulfato y ácidos.

Adherencia. Capacidad de absorber, tensiones normales y tangenciales a la superficie que une el mortero y una estructura, es decir a la capacidad de responder monolíticamente con la piezas que une ante solicitudes de carga [18].

Retracción. Es directamente proporcional a la retracción de la pasta de cemento y es mayor en morteros cargados. Con el fin de mejorar la retracción y evitar agrietamientos se aconseja utilizar arenas con granos de textura rugosa. Otro factor a tener en cuenta es el clima del entorno, debido a que, en los climas calientes y viento constante, la evaporación del agua se produce más rápidamente produciendo tensiones internas en el mortero, lo que se traduce en grietas visibles.

3.3. DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN

3.3.1. Selección de materiales

3.3.1.1 Cemento

Existe una gran variedad de sistemas de contención y estabilización de taludes utilizados a lo largo del tiempo para tratar de resolver problemas derrumbes o desprendimientos de terreno, el **ARTÍCULO 812-07 del INVIAS** especifica el proceso que se utiliza para recubrimientos de taludes con malla y mortero, este trabajo consiste en la protección de taludes utilizando malla de alambre de acero y mortero de cemento Portland, de acuerdo con los planos del proyecto o las instrucciones del Interventor, detalla que el cemento deberá ser Portland y cumplir lo especificado en el Artículo 501 de estas especificaciones, si los documentos del proyecto no señalan algo diferente, se empleará el denominado Tipo I. De acuerdo a estas consideraciones, para el desarrollo de la investigación se utilizó cemento **Portland Tipo I**.

3.3.1.2 Agregados

Tabla 11. Tipos de agregado seleccionados

Agregado	Ubicación	
Arena de Río (AdR)	# 1	Sector Pecadero
	# 2	km 11 – Vía Matanza
Arena de Peña (AdP)	# 1	El Espinalito
	# 2	Altos de la Fuente
	# 3	Lebrija

Fuente. El Autor

Como se ha planteado durante el desarrollo de este capítulo, finalmente para la ejecución se prefirió manejar agregados de proveedores diferentes. Se logró encontrar 5 proveedores diferentes de arena de acuerdo a los requerimientos establecidos, los cuales fueron sometidos a los parámetros de control de calidad previstos. En la Tabla 11 se detalla la información como el tipo de arena y la fuente de donde se tomó, además, en la Figura 8 se pueden observar las muestras de las muestras representativas que se manejaron en las pruebas de laboratorio.

Figura 8. Muestras de arena seleccionadas



Fuente. El Autor

3.3.1.3 Aditivos

Como ya se ha comentado, los aditivos son compuestos que permiten potencializar algunas características de la mezcla, para este caso se usaron 4 diferentes tipos de aditivos (Impermeabilizante, súper-fluidificante, fibra y latex), los cuales se seleccionaron de acuerdo a las especificaciones técnicas referidas por los fabricantes. Sus detalles (nombres y particularidades) y las cantidades usadas en la mezcla se mantendrán como secreto comercial como se expuso en las limitaciones del documento.

4. EJECUCIÓN Y RESULTADOS

4.1. PRUEBAS DE LABORATORIO

Todas las pruebas se realizaron de acuerdo a la normativa actual, para cumplir todos los requerimientos establecidos desde el gobierno. En la Tabla 12 se resumen los ensayos y las normas que se usaron para ejecutarlas.

Tabla 12. Ensayos y normas usadas en laboratorio

Ensayo	Norma
Granulometría	INV E-213-13
Gravedad específica	INV E-222-13
Contenido de materia orgánica	INV E-212-13
Equivalente de arena	INV E-133-13
Valor de azul de metileno	INV E-235-13
Límite líquido, plástico e índice de plasticidad	INV E-125.126-13
Resistencia a la compresión	NTC 220

Fuente. El Autor

4.1.1. Secado

Para iniciar las pruebas se debe asegurar que el contenido de humedad en el agregado sea mínimo, por lo que el primer paso es colocar las muestras en un horno a una temperatura de 110 °C.

Figura 9. Materiales en horno de secado



Fuente. El Autor

Figura 10. Agregado antes y después del secado



Fuente. El Autor

4.1.2. Contenido de materia orgánica

La importancia del método contenido aproximado de materia orgánica en arenas usadas en la preparación de morteros o concretos busca proporcionar una advertencia sobre las impurezas orgánicas que puedan estar presentes en el material. Cuando una muestra sujeta a este ensayo produce un color más oscuro que el color estándar, es aconsejable ejecutar la prueba para determinar el efecto de las impurezas orgánicas sobre la resistencia del mortero (INV E-212-13).

4.1.2.1 Procedimiento

- Inicialmente se prepara una solución de Hidróxido de Sodio y agua de 130 ml.
- Luego, se añade arena hasta completar un volumen agitado de la solución (arena y líquido) de 200 ml.
- Finalmente, se agita vigorosamente la mezcla y se deja reposar por 24 horas para hacer la respectiva revisión.

Figura 11. Pesaje hidróxido de sodio



Fuente. El Autor

Figura 12. Solución final



Fuente. El Autor

Figura 13. Soluciones reposadas



Fuente. El Autor

4.1.2.2 Resultados

Al pasar las 24 horas, se hace una comparación con los vidrios de colores de referencia (Figura 14) que se encuentran en la norma encontrando el nivel de materia orgánica en la muestra. La escala de referencia de colores, oscila desde el número uno, siendo esta referencia de contenido orgánico inofensivo para las propiedades del mortero en seco, hasta el número 5, siendo esta referencia con contenido orgánico perjudicial para la mezcla.

En la Tabla 13 se pueden ver los resultados obtenidos. Como se dijo anteriormente la AdP3 se descartó pues en la prueba tuvo un resultado de 4.

Figura 14. Comparación de muestras



Fuente. El Autor

Tabla 13. Resultados materia orgánica

Material	Arena de Río #1	Arena de Río #2	Arena de Peña #1	Arena de Peña #2	Arena de Peña #3
Color de referencia	1	2	1	3	4

Fuente. El Autor

4.1.3. Equivalente de arena

Este ensayo produce como resultado un valor empírico de la cantidad relativa, finura y carácter del material arcilloso presente en la muestra del agregado fino. Se puede especificar un valor mínimo del equivalente de arena, para limitar la cantidad admisible de finos arcillosos en un agregado. Este

método de ensayo permite determinar rápidamente, en el campo, variaciones de calidad de los agregados durante la producción o la colocación.

4.1.3.1 Procedimiento

Luego de preparar la mezcla de arena, se deja reposar la muestra por 30 minutos y finalmente se procede a realizar las lecturas.

Figura 15. Muestras reposadas



Fuente. El Autor

Figura 16. Lectura muestras



Fuente. El Autor

4.1.3.2 Resultados

El ensayo de equivalente de arena contempla dos lecturas esenciales para su desarrollo, lectura de arcilla y lectura de arena con las cuales es posible realizar el cálculo del porcentaje de arena presente en una muestra, en este caso los especímenes tomados de las fuentes hídricas arrojaron un porcentaje promedio del 85.2%, por otra parte, los especímenes tomados de peñas lanzaron un porcentaje promedio de 23.3%. ver Tabla 14.

Tabla 14. Resultados de equivalente de arena

	Arena de Río #1		Arena de Río #2		Arena de Peña #1		Arena de Peña #2	
	Probeta #1	Probeta #2	Probeta #1	Probeta #2	Probeta #1	Probeta #2	Probeta #1	Probeta #2
Lectura de Arcilla	3.4	3.5	3.8	3.8	11.7	12	12	12.2
Lectura de Arena	2.9	2.9	3.3	3.2	2.6	2.8	2.7	2.7
Equivalente de arena	86%	83%	87%	85%	23%	24%	23%	23%

Fuente. El Autor

4.1.4. Granulometría

Es usado para determinar el cumplimiento de las especificaciones en relación con la distribución de partículas y suministrar datos necesarios para el control de la producción y mezclas que los contengan.

4.1.4.1 Procedimiento

Se selecciona un grupo de tamices de tamaños adecuados para suministrar la información requerida por la especificación del material que se va a ensayar. Se realiza el procedimiento de tal manera que no quede más del 1% del material retenido.

Figura 17. Muestras de material para tamizado



Fuente. El Autor

Figura 18. Selección de tamices y colocación de la muestra

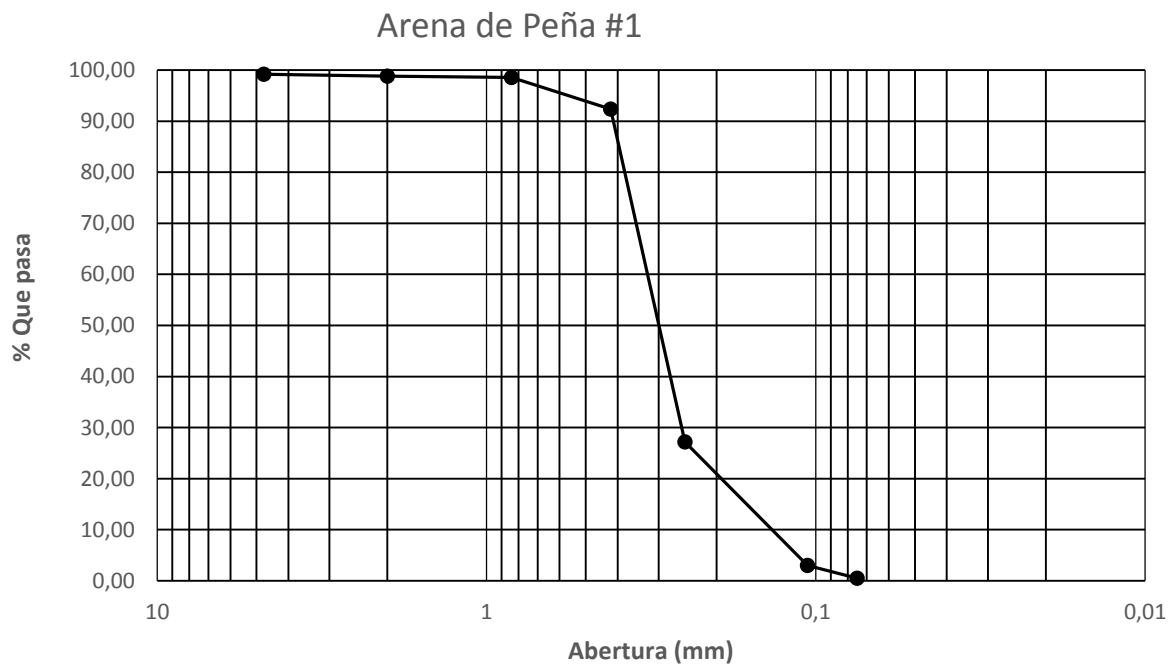


Fuente. El Autor

4.1.4.2 Resultados

Tabla 15. Resultados AdP1

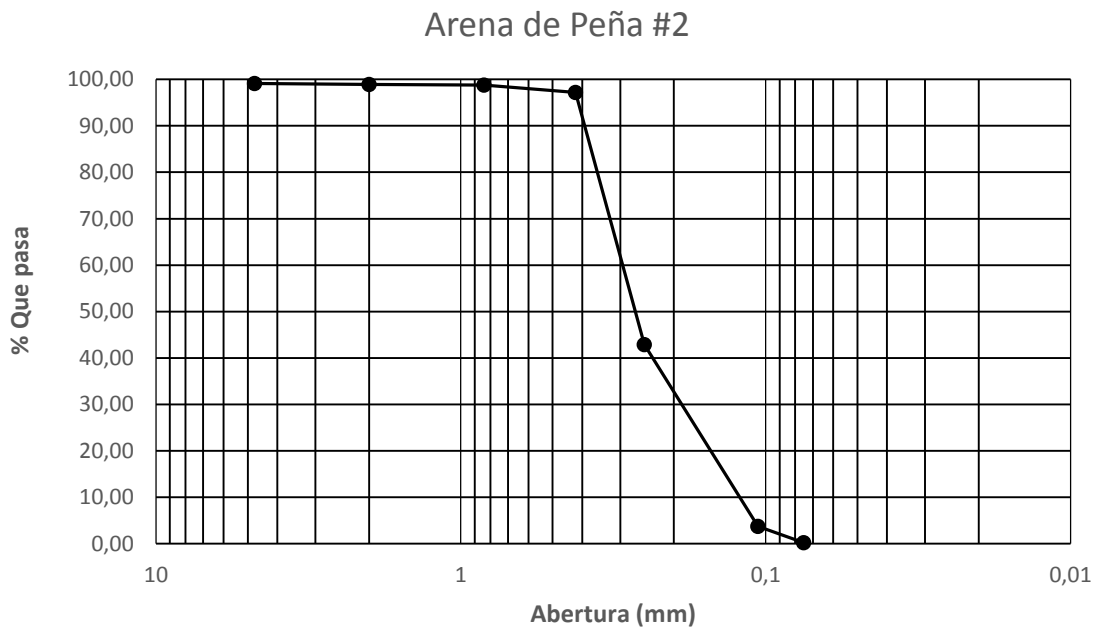
GRANULOMETRÍA ARENA DE PEÑA #1					
Peso muestra antes de lavado por el tamiz No.200:			1554,6		
Peso muestra seca después de lavado tamiz No.200:			1377,8		
% Retenido en tamiz No.200:			88,63		
Tamiz	Abertura (mm)	Retenido			
		Parcial (g)	Parcial (%)	Acumulado (%)	Pasa (%)
No. 4	4,75	11,60	0,84	0,84	99,16
No. 10	2,00	4,40	0,32	1,16	98,84
No. 20	0,84	4,00	0,29	1,45	98,55
No. 40	0,42	85,60	6,21	7,66	92,34
No. 60	0,25	897,80	65,16	72,83	27,17
No.140	0,106	333,00	24,17	97,00	3,00
No. 200	0,075	34,40	2,50	99,49	0,51
Fondo		5,8	0,42	99,91	0,09
Módulo de finura				3,80	



Fuente. El Autor

Tabla 16. Resultados AdP2

GRANULOMETRÍA ARENA DE PEÑA #2					
Peso muestra antes de lavado por el tamiz No.200:			1542,3		
Peso muestra seca después de lavado tamiz No.200:			1361,6		
% Retenido en tamiz No.200:			88,28		
Tamiz	Abertura (mm)	Retenido			
		Parcial (g)	Parcial (%)	Acumulado (%)	Pasa (%)
No. 4	4,75	11,60	0,85	0,85	99,15
No. 10	2,00	3,60	0,26	1,12	98,88
No. 20	0,84	1,20	0,09	1,20	98,80
No. 40	0,42	21,60	1,59	2,79	97,21
No. 60	0,25	740,00	54,35	57,14	42,86
No.140	0,106	532,60	39,12	96,25	3,75
No. 200	0,075	48,00	3,53	99,78	0,22
Fondo		2,6	0,19	99,97	0,03
Módulo de finura			3,59		

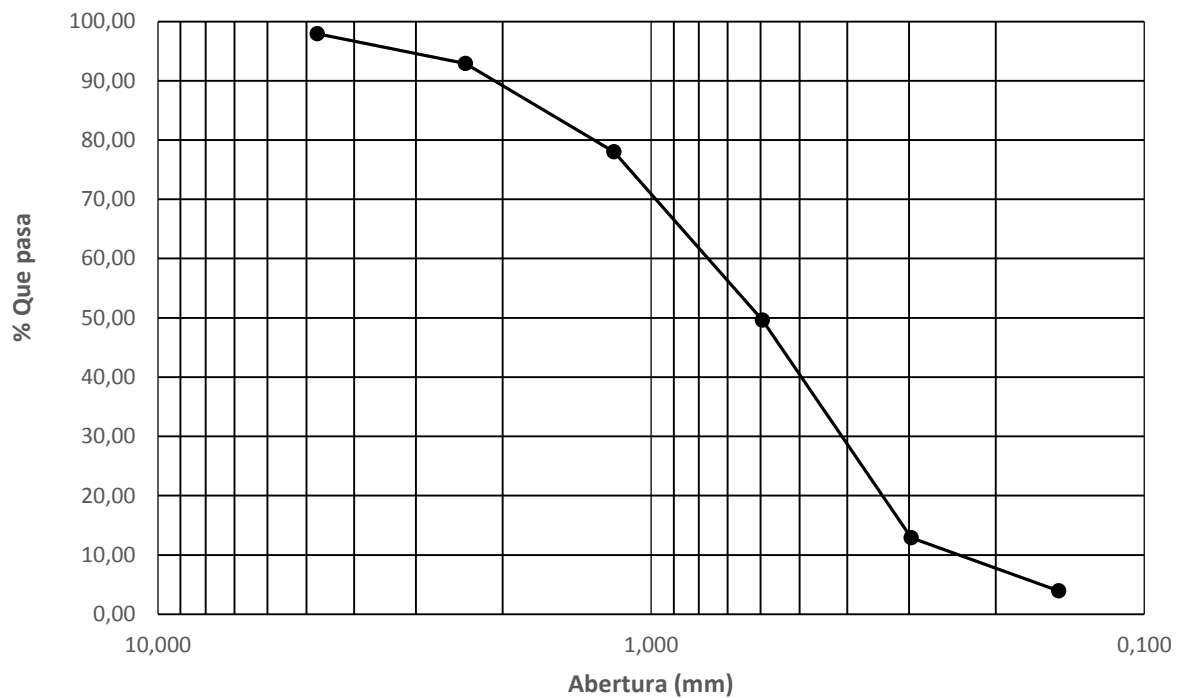


Fuente. El Autor

Tabla 17. Resultados AdR1

Peso muestra seca:		1000			
Tamiz	Abertura (mm)	Retenido			
		Parcial (g)	Parcial (%)	Acumulado (%)	Pasa (%)
No.4	4,750	21,00	2,10	2,10	97,90
No.8	2,380	50,20	5,02	7,12	92,88
No.16	1,190	149,00	14,90	22,02	77,98
No.30	0,595	283,60	28,36	50,38	49,62
No.50	0,297	367,20	36,72	87,10	12,90
No.100	0,149	90,00	9,00	96,10	3,90
Fondo		39,00	3,90	100,00	0,00
Módulo de finura				3,65	

Arena de Río #1

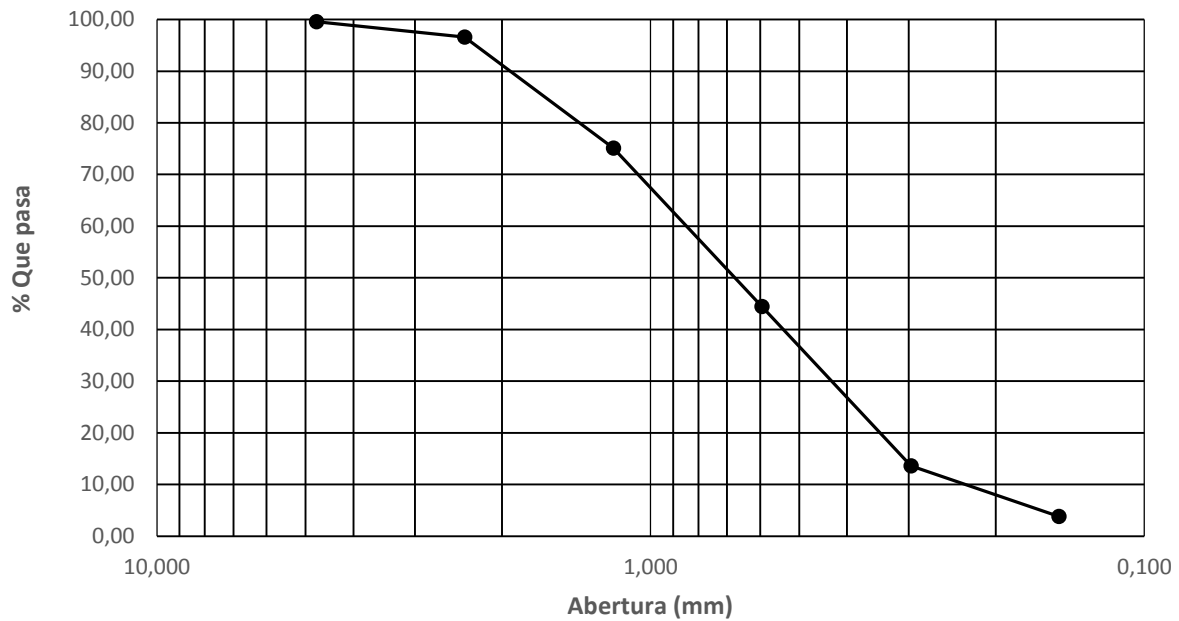


Fuente. El Autor

Tabla 18. Resultados AdR2

GRANULOMETRÍA ARENA DE RÍO #2					
Peso muestra seca:			1000		
Tamiz	Abertura (mm)	Retenido			
		Parcial (g)	Parcial (%)	Acumulado (%)	Pasa (%)
No.4	4,750	4,20	0,42	0,42	99,58
No.8	2,380	29,80	2,98	3,40	96,60
No.16	1,190	215,20	21,52	24,92	75,08
No.30	0,595	306,20	30,62	55,54	44,46
No.50	0,297	308,60	30,86	86,40	13,60
No.100	0,149	97,80	9,78	96,18	3,82
Fondo		40,00	3,82	100,00	0,00
Módulo de finura				3,67	

Arena de Río #2



Fuente. El Autor

Se realizó el ensayo de granulometría a las diferentes muestras de arena obtenidas de las fuentes hídricas y de las laderas donde se generó la curva granulométrica con respecto a la medida de la abertura del tamiz.

Con dicha información se pudo hallar la distribución de los tamaños de las diferentes arenas y sus módulos de finura

4.1.5. Peso específico

El presente ensayo se utiliza para determinar el peso específico de los suelos y del llenante mineral (filler) por medio de un picnómetro. Los ensayos de peso específico y gravedad específica, permiten hallar la cantidad de vacíos que existe en un suelo.

4.1.5.1 Procedimiento

- Se determina el contenido de agua de una porción de la muestra de acuerdo a la norma INV E-122-13.
- Se dispersa el suelo usando una licuadora o un aparato similar adecuado para ello. Se agrega el suelo aproximadamente, 100 ml de agua desaireada.

Figura 19. Realización prueba



Fuente. El Autor

Figura 20. Pesaje de mezclas (NaCl – agua, arena)



Fuente. El Autor

Figura 21. Dispersión de la muestra de un picnómetro



Fuente. El Autor

Figura 22. Medida de contenido de agua para la muestra



Fuente. El Autor

Figura 23. Muestras preparadas



Fuente. El Autor

4.1.5.2 Resultados

Realizado el proceso arrojó que las arenas de peñas poseen una gravedad específica de 2.61 a 20°C y las arena de rio #1 posee un peso específico de 2.60 y la #2 de 2.52; la importancia de este ensayo radica en que la gravedad específica de un suelo se utiliza en el cálculo de las relaciones de fase de

los suelos, en los cálculos de los ensayos de granulometría por sedimentación, comprensibilidad y potencia de expansión.

Tabla 19. Resultados peso específico

ARENA DE RÍO #1	
Peso Picnómetro + agua (g)	693,40
Peso Picnómetro + agua + material (g)	1005
Peso del material saturado superficialmente seco (g)	500
Peso del material seco (g)	490
Gravedad específica	2,60

ARENA DE RÍO #2	
Peso Picnómetro + agua (g)	688,80
Peso Picnómetro + agua + material (g)	995
Peso del material saturado superficialmente seco (g)	500
Peso del material seco (g)	489
Gravedad específica	2,52

ARENA DE PEÑA #1	
Picnómetro seco (g):	159,42
temperatura (° C):	25
Volumen picnómetro seco (cm ³):	497,90
Peso Picnómetro + agua (g)	657,80
Peso Picnómetro + agua + suelo (g)	704,11
Peso del recipiente + suelo seco (g)	146,40
Peso del recipiente (g)	71,40
peso del suelo seco (g)	75
Gravedad específica	2,61
Gravedad específica (20°C)	2,61

ARENA DE PEÑA #2	
Picnómetro seco (g):	159,42
temperatura (° C):	25
Volumen picnómetro seco (cm ³):	497,90
Peso Picnómetro + agua (g)	657,80
Peso Picnómetro + agua + suelo (g)	704,13
Peso del recipiente + suelo seco (g)	140,81
Peso del recipiente (g)	65,81
peso del suelo seco (g)	75
Gravedad específica	2,62
Gravedad específica (20°C)	2,61

Fuente. El Autor

4.1.6. Azul de metileno

La utilización del valor de azul en la identificación de la fracción fina de los suelos, junto con algunas características de su granulometría, permite clasificarla distinguiéndola en función de la actividad de su fracción arcillosa, la cual ejerce una influencia importante sobre las propiedades mecánicas de los suelos.

4.1.6.1 Procedimiento

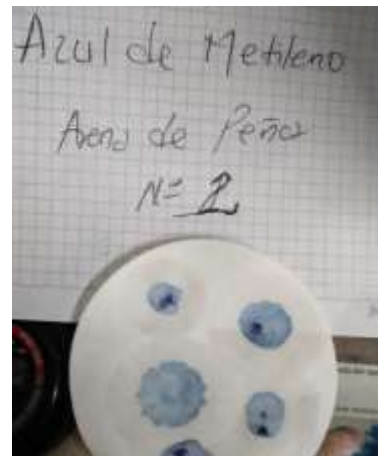
Colocar 10.0 g (± 0.05 g) de material pasante del tamiz 75 (No 200), seco hasta masa constante, en un vaso volumétrico tipo Griffin de 500 ml, y adicionar 30 ml de agua destilada y batir con el agitador hasta tener una lechada.

Figura 24. Mezcla con agua destilada batida



Fuente. El Autor

Figura 25. Muestras con azul de metileno



Fuente. El Autor

4.1.6.2 Resultados

Este ensayo mide la fracción arcillosa activa que el material es susceptible de aportar, por medio de una valoración de la superficie del conjunto de dichas partículas, lo que depende de la naturaleza

y de la proporción de la arcilla en la muestra. Es por lo tanto una medida global de la polución arcillosa tanto en cantidad como en actividad [19].

Tabla 20. Resultados ensayo azul de metileno

Muestra	Peso Muestra (g)	Volumen Solución (ml)	Volumen de solución que absorben 30 g de Caolinita	Valor de azul de metileno
Arena de Peña #1	30	5	N.A	1,67
Arena de Peña #2	30	5	N.A	1,67
Arena de Río #1	200	50	35	0,75
Arena de Río #2	200	50	35	0,75

Fuente. El Autor

4.2. EJECUCIÓN DE MEZCLA Y ENSAYOS DE RESISTENCIA DE ESPECIMENES DE MORTERO

4.2.1. Fabricación de cubos de mortero

4.2.1.1 Dosificación de materiales

Las cantidades para la fabricación del mortero se especifican en la Tabla 10, luego procedemos a realizar el pesaje de cada uno de los elementos.

Figura 26. Pesaje y clasificación de los elementos



Fuente. El Autor

4.2.1.2 Mezcla de elementos para mortero

Luego de pesar cada uno de los elementos se mezclan en seco de manera que la mezcla de mortero que se obtiene sea homogénea, finalmente se agrega el agua.

Figura 27. Mezcla de mortero



Fuente. El Autor

4.2.1.3 Elaboración de especímenes de mortero

Finalmente, se llenan los moldes (30 cubos por cada tipo mortero) con cada mezcla preparada.

Figura 28. Elaboración de especímenes





Fuente. El Autor

4.2.1.4 Curado de especímenes

El último paso es dejar reposar la mezcla hasta que alcance todas las propiedades buscadas en el mortero. Luego, se procede en corroborar esas propiedades en las pruebas de laboratorio a varios días del inicio de la curación (7, 14 y 28 días).

Figura 29. Curado de especímenes



Fuente. El Autor

4.2.2. Ensayos de resistencia a compresión

Al cumplir siete días de curado se iniciaron las pruebas de compresión, la cuales se desarrollan como se dijo anteriormente siguiendo los parámetros de la norma **NTC 220** (*DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE MORTEROS DE CEMENTO*).

4.2.2.1 Ensayos a 7 días

Figura 30. Ensayo y diagrama de compresión 7 días



Fuente. El Autor

Tabla 21. Resultados ensayo de compresión a 7 días

Muestra	Dimensiones (mm)				Área (mm ²)	Fecha de Toma	Fecha de prueba	Edad	Carga (N)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo (PSI)
AdP1	50,2	50,3	50,2	50,1	2520,51	22/01/2019	29/01/2019	7 Días	19612	7,781	1128,57
AdP2	50,1	50,1	50,1	50,2	2513,99	22/01/2019	29/01/2019	7 Días	23873	9,497	1377,37
AdR1	50,2	50,2	50,1	50,2	2514,90	24/01/2019	31/01/2019	7 Días	28845	11,469	1663,48
AdR2	50,1	50,1	50,1	50,1	2512,59	24/01/2019	31/01/2019	7 Días	27509	10,949	1588,04

Fuente. El Autor

4.2.2.2 Ensayo a 14 días

Figura 31. Ensayo y diagrama de compresión 14 días

Fuente. El Autor

Tabla 22. Resultados ensayo de compresión a 14 días

Muestra	Dimensiones (mm)				Área (mm ²)	Fecha de Toma	Fecha de prueba	Edad	Carga (N)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo (PSI)
AdP1	50,1	50,1	50,1	50,1	2509,31	5/02/2019	19/02/2019	14 Días	21345	8,507	1233,82
AdP2	50,1	50,1	50,1	50,1	2508,99	5/02/2019	19/02/2019	14 Días	27780	11,073	1606,07
AdR1	50,1	50,1	50,1	50,1	2510,74	7/02/2019	21/02/2019	14 Días	29807	11,871	1721,81
AdR2	50,1	50,1	50,1	50,1	2512,59	7/02/2019	21/02/2019	14 Días	27289	10,861	1575,21

Fuente. El Autor

4.2.2.3 Ensayo a 28 días

Figura 32. Ensayo y diagrama de compresión 28 días



Fuente. El Autor

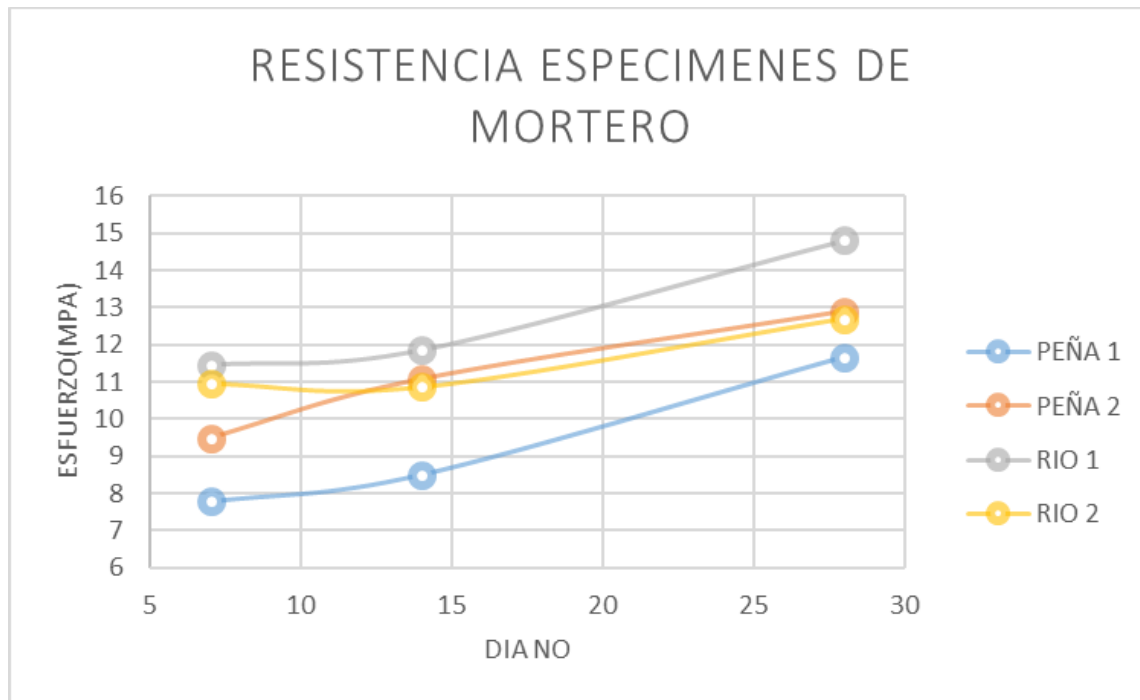
Tabla 23. Resultados ensayo de compresión a 28 días

Muestra	Dimensiones (mm)				Área (mm ²)	Fecha de Toma	Fecha de prueba	Edad	Carga (N)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo (PSI)
AdP1	50,113	50,12	50,11	50,12	2511,57	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	29321	11,673	1693,10
AdP2	50,104	50,11	50,1	50,1	2510,54	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	32370	12,894	1870,10
AdR1	50,11	50,11	50,11	50,10	2510,61	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	37216	14,824	2150,03
AdR2	50,082	50,12	50,1	50,1	2509,91	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	31863	12,695	1841,26

Fuente. El Autor

Las tablas de resultados que se muestran en este capítulo para los ensayos de compresión, muestran los valores promedios de los datos tomados para los diez cubos fabricados para cada agregado, las tablas completas de los resultados se pueden consultar en los anexos del presente documento.

En resumen, la Tabla 24 y la muestra el comportamiento de los morteros de acuerdo a los días de fraguado, con aumentos en los valores de esfuerzos resistidos por las muestras de hasta 36% al día 28.

Figura 33. Resultados ensayo de compresión

Fuente. El Autor

Tabla 24. Resultados ensayo de compresión

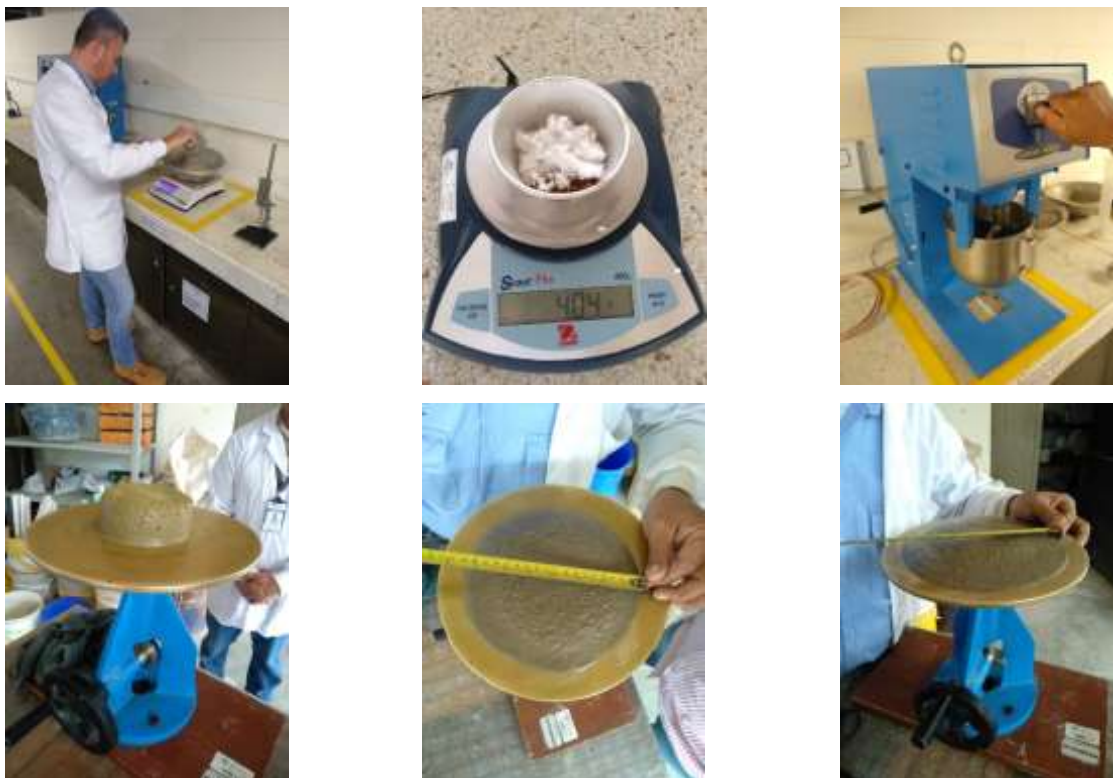
Muestra	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo (PSI)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo (PSI)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo (PSI)
Día	7		14		28	
AdP1	7,781	1128,57	8,507	1233,82	11,673	1693,10
AdP2	9,497	1377,37	11,073	1606,07	12,894	1870,10
AdR1	11,469	1663,48	11,871	1721,81	14,824	2150,03
AdR2	10,949	1588,04	10,861	1575,21	12,695	1841,26

Fuente. El Autor

4.2.3. Fluidez de mortero

4.2.3.1 Procedimiento

Esta prueba se realiza de acuerdo a la norma NTC 111.

Figura 34. Prueba de fluidez

Fuente. El Autor

Se introduce la primera capa de 25 mm de la mezcla de mortero en el molde y se pisa 20 veces con el compactador luego se llena el molde en su totalidad y se vuelve a compactar 20 veces, se corta el exceso de mezcla con un palustre, se limpia y seca la plataforma de la mesa de flujo alrededor del molde, y luego de 1 minuto se retira el molde, inmediatamente después se deja caer la mesa desde una altura de 13 mm 25 veces en 15 segundos, usando el calibrador de determina la fluidez del mortero midiendo los diámetros del mortero a lo largo de las líneas señaladas en la plataforma y se calcula su diámetro promedio.

4.2.3.2 Resultados

Tabla 25. Resultados de fluidez para mezcla de mortero

FLUIDEZ DEL MORTERO MEZCLA ARENA DE PEÑA		
PESO DEL CEMENTO (g)	CONTENIDO DE AGUA (cm³)	DIÁMETRO (mm)
670	137	21,5
		21,5
		21,4
		21,6
PROMEDIO		21,5
FLUIDEZ		115

FLUIDEZ DEL MORTERO MEZCLA ARENA DE RIO		
PESO DEL CEMENTO (g)	CONTENIDO DE AGUA (cm³)	DIÁMETRO (mm)
670	137	20,6
		21,2
		20,7
		21
PROMEDIO		20,9
FLUIDEZ		108,8

Fuente. El Autor

Éste ensayo arroja un contenido de agua óptimo que genera una fluidez de la mezcla la cual tiene unas propiedades adecuadas para su colocación en campo. Una vez proyectada la mezcla en campo pudimos observar que el comportamiento del mortero fue óptimo ya que la cantidad de agua era la requerida ya que el mortero tuvo buena adherencia y no se presentaron dilataciones ni agrietamiento.

4.2.4. Ensayo de consistencia normal del mortero

Figura 35. Prueba de consistencia



Fuente. El Autor

4.2.4.1 Procedimiento

Cumpliendo con la norma NTC 110, se mezclan de 500 a 650 g de mortero con una determinada cantidad de agua, luego se moldea la mezcla con las manos dándole una forma de bola, se lanza la bola de una mano a otra a través de una distancia de 150 mm seis veces y se introduce por la parte más ancha del molde, luego se remueve el exceso de mezcla de mortero con la palma de la mano y se coloca sobre la placa base. Si es necesario se usa una espátula para suavizar la superficie del mortero.

Se lleva el molde con la placa al aparato de Vicat y se centra el vástago, se baja el embolo hasta que haga contacto con la pasta se coloca la lectura en cero y se deja bajar libremente el vástago durante 30 segundos, se toma la lectura de penetración del vástago. Se considera que la pasta tiene una consistencia normal cuando el vástago penetra $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ la superficie de la pasta.

4.2.4.2 Resultados

Tabla 26. Resultado de consistencia normal

CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO ARENA DE RÍO		
PESO DEL CEMENTO (g)	CONTENIDO DE AGUA (%)	PENETRACIÓN (mm)
500	15	3
500	17,5	8
500	20	11

CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO ARENA DE PEÑA		
PESO DEL CEMENTO (g)	CONTENIDO DE AGUA (%)	PENETRACIÓN (mm)
500	15	6
500	17,5	9
500	19	11

Fuente. El Autor

Partiendo del ensayo de consistencia normal podemos hallar una medida de contenido de agua ideal para la mezcla de mortero y para el ensayo de tiempos de fraguado, el ensayo arrojó un porcentaje de agua del 19%.

4.2.5. Densidad del mortero

Se toma un recipiente de volumen conocido y se pesa, luego se llena el recipiente con la mezcla de mortero, se enrasa y se pesa el conjunto de recipiente + mortero y se calcula la densidad dividiendo la masa neta del mortero entre el volumen del recipiente.

Tabla 27. Resultados de densidad

DENSIDAD DEL MORTERO				
TIPO DE ARENA	PESO DEL RECIPIENTE (g)	VOLUMEN DEL RECIPIENTE (cm3)	PESO DEL RECIPIENTE + MEZCLA DE MORTERO (g)	DENSIDAD DEL MORTERO (g/cm3)
ARENA DE RIO	1728	2961	7666	2,005
ARENA DE PEÑA	1728	2961	7597	1,982

Fuente. El Autor

4.2.6. Contenido de aire

Conociendo la densidad del mortero de la mezcla y la densidad teórica del mortero podemos hallar el contenido de aire del mismo de la siguiente manera:

$$\frac{\text{Densidad Teórica} - \text{Densidad del mortero}}{\text{Densidad Teórica}} * 100$$

Tabla 28. Resultado de contenido de aire

CONTENIDO DE AIRE DEL MORTERO MEZCLA CON ARENA DE RÍO	
Densidad teórica (g/cm3)	2,142
Densidad del mortero (g/cm3)	2,005
Contenido de aire del mortero (%)	6,40

CONTENIDO DE AIRE DEL MORTERO MEZCLA CON ARENA DE PEÑA	
Densidad teórica (g/cm3)	2,142
Densidad del mortero (g/cm3)	1,982
Contenido de aire del mortero (%)	7,47

Fuente. El Autor

El contenido de aire que arrojó el ensayo presenta una gran influencia en el comportamiento de la mezcla, en su plasticidad, ayuda a prevenir agrietamientos, mejora su trabajabilidad mejora su exudación, disminuye la segregación del cemento aumentando su cohesividad, al tener aire el mortero produce burbujas esta situación hace que el mortero tenga una masa impermeable.

4.2.7. Tiempos de fraguado (NTC 118)

Tabla 29. Resultados de tiempos de fraguado

TIEMPO DE FRAGUADO MEZCLA CON ARENA DE RÍO			TIEMPO DE FRAGUADO MEZCLA CON ARENA DE PEÑA		
HORA	TIEMPO (MIN)	PENETRACION (mm)	HORA	TIEMPO (MIN)	PENETRACION (mm)
10:28	30	40	10:35	30	40
10:43	45	40	10:50	45	40
10:58	60	40	11:05	60	40
11:13	75	39	11:20	75	37
11:28	90	38	11:35	90	37
11:43	105	36	11:50	105	35
11:58	120	36	12:05	120	35
12:13	135	35	12:35	135	34
12:28	150	35	12:50	150	34
12:43	165	33	13:05	165	32
12:58	180	33	13:20	180	32
13:13	195	32	13:35	195	30
13:28	210	32	13:50	210	29
13:43	225	30	14:05	225	29
13:58	240	30	14:20	240	28
14:13	255	30	14:35	255	27
14:28	270	29	14:50	270	27
14:43	285	29	15:05	285	25
14:58	300	27	15:20	300	25
15:13	315	25	15:35	315	22
15:28	330	25	15:50	330	18
15:43	345	20	16:05	345	15
15:58	360	15	16:20	360	11
16:13	375	11	16:35	375	8
16:28	390	8	16:50	390	3
16:43	405	5	17:05	405	0
16:58	420	0			

Fuente. El Autor

Se realiza la mezcla del mortero de la misma manera que en el ensayo de consistencia normal del mortero (con el contenido de agua de la consistencia normal) y se realizan ensayos de penetración en el aparato de vicat con la aguja de 1 mm cada 15 minutos hasta que la penetración sea cero.

Figura 36. Prueba de fraguado en laboratorio



Fuente. El Autor

Podemos observar que el tiempo de fraguado en la mezcla con arena de peña fue un poco menor, esto puede deberse a que la arena de peña es un poco más fina y su absorción es un poco mayor. El tiempo de fraguado estuvo en el orden de las 7 horas, con estos parámetros podemos realizar una proyección en campo de manera óptima sin que sufra daños, agrietamientos o fisuras. Con base en esto pudimos observar que la mezcla presenta un tiempo de manejabilidad de 1 a 3 horas aproximadamente.

4.2.8. Lanzado del mortero seco

Una vez realizado los ensayos, se realizó la proyección o lanzado del mortero seco para corroborar trabajabilidad o manejabilidad, consistencia, retención de la consistencia, propiedades del mortero en estado endurecido, resistencia a la compresión, durabilidad, retracción hidráulica o de secado y permeabilidad al vapor de agua.

4.2.8.1 Ubicación y características del talud

El talud está ubicado en un predio de la vereda Ruitoque Bajo, del municipio de Girón, Santander. Esta zona se caracteriza por ser de bosque tropical, con un clima que es catalogado como AF según Köppen-Geiger. La temperatura promedio es de 22.6°C.

La precipitación promedio de lluvia es de 1303 mm, con dos temporadas marcadas, variando desde $10 \frac{\text{días}}{\text{mes}}$ a $19 \frac{\text{días}}{\text{mes}}$ durante las épocas de lluvia.

El talud específicamente, presenta diversos estratos formados por materiales de arena arcillosa y limos de alta plasticidad, con graves problemas de erosión. En la Figura 37 se puede ver una panorámica del talud, donde se pueden ver las condiciones del lugar.

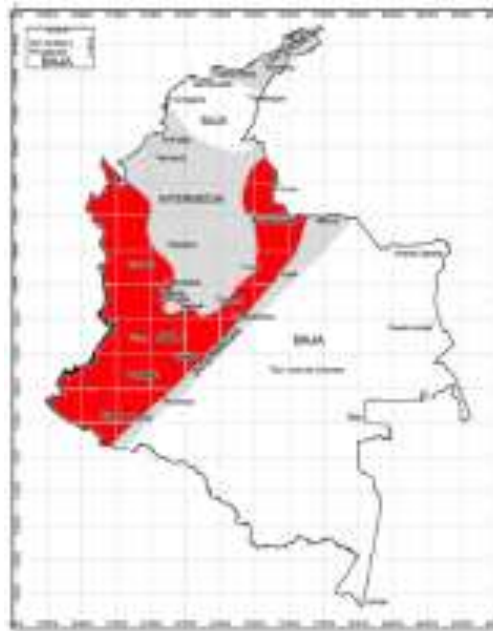
Figura 37. Panorámica del talud



Fuente. El Autor

Geológicamente, en la zona afloran depósitos de la formación Bucaramanga y según la zonificación de **Ingeonminas**, el predio corresponde a **4B** (*Miembro Órganos Afectados por Procesos Erosivos*) [20]. Estos suelos son de tipo limo-arenoso con gravas y cantos aluviales típicos de flujos aluvio-torrenciales. Adicionalmente, se debe tener en cuenta la amenaza sísmica de la zona como se observa en la Figura 38

Figura 38. Zonas de amenaza sísmica



Fuente. El Autor

4.2.8.2 Proceso de aplicación del mortero

Figura 39. Armado de marcos y perfilado del talud





Fuente. El Autor

Figura 40. Mezclado de materiales del mortero



Fuente. El Autor

Figura 41. Proyección del mortero en el talud



Fuente. El Autor



4.2.8.3 Resultados



Finalmente, se realizan las pruebas para verificar las propiedades en estado endurecido. Teniendo los resultados del ensayo de compresión podemos saber la resistencia de los morteros en laboratorio, a continuación, se analizará su comportamiento en condiciones reales de trabajo cuando se proyecta a un talud.

Figura 42. Condiciones iniciales del talud


Fuente. El Autor





Tabla 30. Seguimiento a mortero lanzado en talud





Muestra	Fraguado	Imagen	Características
AdR1	0 días		<ul style="list-style-type: none"> • Se observa consistencia, en la que es plástico y trabajable, permitiendo facilidad al momento de la aplicación. • Al aplicar el mortero, se observa muy buena adherencia al soporte (sustrato). • Se muestra también, su capacidad de retención de agua.
AdR2			<ul style="list-style-type: none"> • Se observa consistencia, en la que es plástico y trabajable, permitiendo facilidad al momento de la aplicación. • Al aplicar el mortero, se observa muy buena adherencia al soporte (sustrato). • Se muestra también, su capacidad de retención de agua.



AdP1			<ul style="list-style-type: none"> • Se observa consistencia, en la que es plástico y trabajable, permitiendo facilidad al momento de la aplicación. • Al aplicar el mortero, se observa muy buena adherencia al soporte (sustrato). • Se muestra también, su capacidad de retención de agua.
AdP2			<ul style="list-style-type: none"> • Se observa consistencia, en la que es plástico y trabajable, permitiendo facilidad al momento de la aplicación. • Al aplicar el mortero, se observa muy buena adherencia al soporte (sustrato). • Se muestra también, su capacidad de retención de agua.
AdR1	7 días		<ul style="list-style-type: none"> • Se observa que la formulación del mortero, el amasado y su hidratación se comportaron de manera correcta. • No se presentó desprendimiento. • Ya se puede evidenciar su resistencia. • El mortero no presenta fisura. • Se ve una mezcla compacta.
AdR2			<ul style="list-style-type: none"> • Se observa que la formulación del mortero, el amasado y su hidratación se comportaron de manera correcta. • No se presentó desprendimiento. • Ya se puede evidenciar su resistencia. • El mortero no presenta fisura. • Se ve una mezcla compacta.

AdP1			<ul style="list-style-type: none"> • Se observa que la formulación del mortero, el amasado y su hidratación se comportaron de manera correcta. • No se presentó desprendimiento. • Ya se puede evidenciar su resistencia. • El mortero no presenta fisura. • Se ve una mezcla compacta.
AdP2			<ul style="list-style-type: none"> • Se observa que la formulación del mortero, el amasado y su hidratación se comportaron de manera correcta. • No se presentó desprendimiento. • Ya se puede evidenciar su resistencia. • El mortero no presenta fisura. • Se ve una mezcla compacta.
AdR1	14 días		<ul style="list-style-type: none"> • Al ser expuesto a la lluvia, el mortero evidencia su impermeabilidad en concordancia con su formulación. • Al no observarse la aparición de condensaciones, se puede evidenciar la permeabilidad al vapor de agua. • No se presentan fisuras, grietas y/o desprendimientos.
AdR2			<ul style="list-style-type: none"> • Al ser expuesto a la lluvia, el mortero evidencia su impermeabilidad en concordancia con su formulación. • Al no observarse la aparición de condensaciones, se puede evidenciar la permeabilidad al vapor de agua. • No se presentan fisuras, grietas y/o desprendimientos.

AdP1			<ul style="list-style-type: none"> • Al ser expuesto a la lluvia, el mortero evidencia su impermeabilidad en concordancia con su formulación. • Al no observarse la aparición de condensaciones, se puede evidenciar la permeabilidad al vapor de agua. • No se presentan fisuras, grietas y/o desprendimientos.
AdP2			<ul style="list-style-type: none"> • Al ser expuesto a la lluvia, el mortero evidencia su impermeabilidad en concordancia con su formulación. • Al no observarse la aparición de condensaciones, se puede evidenciar la permeabilidad al vapor de agua. • No se presentan fisuras, grietas y/o desprendimientos..
AdR1	45 días		<ul style="list-style-type: none"> • Muy buena resistencia, gracias a su dosificación, amasado y fraguado. • No presenta fisuras, ni desprendimientos. • Capacidad de resistir a los cambios de clima. • Alta resistencia a la tensión, ya que no hay ninguna aparición de grietas.
AdR2			<ul style="list-style-type: none"> • Muy buena resistencia, gracias a su dosificación, amasado y fraguado. • No presenta fisuras, ni desprendimientos. • Capacidad de resistir a los cambios de clima. • Alta resistencia a la tensión, ya que no hay ninguna aparición de grietas.

AdP1			<ul style="list-style-type: none"> • Muy buena resistencia, gracias a su dosificación, amasado y fraguado. • No presenta fisuras, ni desprendimientos. • Capacidad de resistir a los cambios de clima. • Alta resistencia a la tensión, ya que no hay ninguna aparición de grietas.
AdP2			<ul style="list-style-type: none"> • Muy buena resistencia, gracias a su dosificación, amasado y fraguado. • No presenta fisuras, ni desprendimientos. • Capacidad de resistir a los cambios de clima. • Alta resistencia a la tensión, ya que no hay ninguna aparición de grietas.
AdR1	60 días		<ul style="list-style-type: none"> • Se pudo corroborar el resultado de las pruebas de compresión, ya que con las condiciones de intemperie su comportamiento es ideal. • No se presenta desprendimiento. • El proceso de fraguado es satisfactorio. • No se evidencia eflorescencia en el mortero. • No se presentan fisuras.
AdR2			<ul style="list-style-type: none"> • Se pudo corroborar el resultado de las pruebas de compresión, ya que con las condiciones de intemperie su comportamiento es ideal. • No se presenta desprendimiento. • El proceso de fraguado es satisfactorio. • No se evidencia eflorescencia en el mortero. • No se presentan fisuras.

AdP1			<ul style="list-style-type: none"> • Se pudo corroborar el resultado de las pruebas de compresión, ya que con las condiciones de intemperie su comportamiento es ideal. • No se presenta desprendimiento. • El proceso de fraguado es satisfactorio. • No se evidencia eflorescencia en el mortero. • No se presentan fisuras.
AdP2			<ul style="list-style-type: none"> • Se pudo corroborar el resultado de las pruebas de compresión, ya que con las condiciones de intemperie su comportamiento es ideal. • No se presenta desprendimiento. • El proceso de fraguado es satisfactorio. • No se evidencia eflorescencia en el mortero. • No se presentan fisuras.
AdR1	80 días		<ul style="list-style-type: none"> • Se evidencio que la formulación, mezcla, amasada y el fraguado fueron satisfactorias, ya que la calidad del mortero es excelente. • Sin fisuras. • Sin desprendimientos. • Sin grietas. • Sin eflorescencias. • Excelente adherencia.
AdR2			<ul style="list-style-type: none"> • Se evidencio que la formulación, mezcla, amasada y el fraguado fueron satisfactorias, ya que la calidad del mortero es excelente. • Sin fisuras. • Sin desprendimientos. • Sin grietas. • Sin eflorescencias. • Excelente adherencia.

AdP1			<ul style="list-style-type: none"> • Se evidencio que la formulación, mezcla, amasada y el fraguado fueron satisfactorias, ya que la calidad del mortero es excelente. • Sin fisuras. • Sin desprendimientos. • Sin grietas. • Sin eflorescencias. • Excelente adherencia.
AdP2			<ul style="list-style-type: none"> • Se evidencio que la formulación, mezcla, amasada y el fraguado fueron satisfactorias, ya que la calidad del mortero es excelente. • Sin fisuras. • Sin desprendimientos. • Sin grietas. • Sin eflorescencias. • Excelente adherencia.

Fuente. El Autor

Como se puede observar en la secuencia de imágenes, el comportamiento del revestimiento de mortero seco, previno y evito el deterioro por erosión en el talud que es típico de estas formaciones y que generalmente es ocasionado por escurrimientos de agua (erosión hidráulica) o por los intensos vientos (erosión eólica) típicos de la zona geográfica. A diferencia de las zonas aledañas al mortero que si presentan cambios significativos en su estructura superficial ocasionada por la erosión a que se somete el talud al no contar con la protección correspondiente como se evidencia en la zona demarcada de la Figura 43.

Adicionalmente, el comportamiento que demostró durante el tiempo de análisis del mortero evidenció que las propiedades previamente mencionadas, como permeabilidad, absorción, retracción, adherencia, etc. presentaron un buen desempeño ya que en ningún momento se evidencio la aparición de grietas, fisuras, manchas o algún otro tipo de indicio que ponga en duda la calidad de la mezcla.

Figura 43. Panorámica final del talud



Fuente. El Autor

Por lo tanto, de este análisis podemos concluir que el lanzado de mortero seco para el control de la erosión es una herramienta eficaz para el control de la erosión típica de la región, bajo las condiciones específicas de suelo tropical y clima particular del sitio de estudio. Simultáneamente las propiedades de la mezcla en estado fresco también se pudieron corroborar pues se observó gran trabajabilidad, muy buena relación de agua con la formulación de mortero y se adhirió muy bien al sustrato, mientras que en estado endurecido se corroboró un buen curado, muy buena impermeabilización y no se presentó desperdicio, fisuras o grietas en ninguno de los morteros aplicados.

La propiedad del mortero en estado fresco como la manejabilidad permite observar su capacidad de adherirse al substrato, y a su resistencia a fluir cuando está en estado de colocación, cuando se realizó las pruebas de laboratorio, evidenciamos como una propiedad compleja que incluye una capacidad de adhesión, cohesión, fluidez, plasticidad y viscosidad.

La retracción hidráulica o de secado actuó de manera positiva y se evidenció que el mortero no se deforma, ni presenta ninguna fisura ni dilatación. Otra de las propiedades fue la permeabilidad al vapor de agua, esta se obtuvo mediante aditivos especiales que reducen drásticamente la capacidad de absorción permitiendo concluir que las 4 muestras poseen las siguientes características:

- Es impermeable al agua, pero permeable al vapor de agua.
- Tiene propiedades plastificantes
- Es ligeramente flexible que los morteros normales.
- Resiste los ciclos hielo deshielo

Lo cual permite concluir que al aplicar los morteros al substrato estos se adhieren inmediatamente y sostienen su propio peso; pueden aplicarse sobre superficies irregulares; tienen buena adherencia al substrato; muestran una configuración totalmente flexible del espesor de capa en sitio; no se observaron ninguna aparición de fisuras, mediante el favorecimiento de un curado adecuado, que continúa actuando durante los días siguientes al fraguado inicial, disminuyendo la tasa de evaporación del agua residual y manteniendo un nivel adecuado de humedad intersticial. es posible también el mortero proyectado reforzado, con refuerzo de fibra o malla; puede lograrse revestimiento con rápida capacidad de soporte a cargas.

5. ANALISIS DE RESULTADOS

Contenido de materia orgánica

Considerando que la arena contiene componentes orgánicos potencialmente perjudiciales cuando el color que sobrenada por encima de la muestra de ensayo es tan o más oscuro que el color de referencia o placa # 4, se deben descartar aquellas muestras con esos resultados.

Como conclusión de esta prueba, se descartó el uso de uno de los agregados seleccionados (AdP3), por tener una cantidad de materia orgánica que puede ser nociva para el mortero que se fabrique a partir de esta arena. Luego se va a seguir con las pruebas para las 4 arenas restantes (AdP1, AdP2, AdR1 y AdR2), las cuales se encuentran dentro de los valores admisibles para esta prueba.

Equivalente de arena

La diferencia volumétrica entre el contenido de arena y de arcilla que presenta las muestras estudiadas en el presente proyecto de grado, arroja que el equivalente de arena de las muestras de arena de peña presenta una mayor cantidad de material arcilloso con respecto a la cantidad de arena de la muestra, en cambio las muestras tomadas de las fuentes hídricas poseen un equivalente de arena mayor al 80 %. Por lo tanto, el material que se recomienda para llevar a cabo la realización del mortero seco es el material extraído de las fuentes hídricas.

Resistencia a la compresión

Teniendo en cuenta los resultados presentados, se evidencia que el mortero fabricado con el agregado extraído de fuentes hídricas mostró mejor desempeño en los ensayos de esfuerzo, alcanzando en uno de los casos (AdR1) un valor de 2150 psi al finalizar los 28 días. Mientras que la AdP1 obtuvo el menor valor de resistencia a la compresión con 1693.1 psi, también a los 28 días de curado de las muestras.

Fluidez del mortero

Éste ensayo arroja un contenido de agua óptimo que genera una fluidez de la mezcla la cual tiene unas propiedades adecuadas para su colocación en campo. Una vez proyectada la mezcla en campo pudimos observar que el comportamiento del mortero fue óptimo ya que la cantidad de agua era la requerida ya que el mortero tuvo buena adherencia y no se presentaron dilataciones ni agrietamiento.

6. CONCLUSIONES

La fórmula usada para la fabricación de la mezcla de mortero seco y que fue proporcionada por la empresa **MORTEROS Y CONCRETOS DE COLOMBIA S.A.S.** que corresponde a 73.22 % de agregado, 25.08 % de cemento Portland tipo 1 y 1.7 % de aditivos (impermeabilizante, súper-fluidificante, latex y fibra), en conjunto con los materiales seleccionados es una muy buena alternativa comercial para el manejo de la erosión en taludes con suelos tropicales, ya que permite reducir los costos de producción al presentarse menor desperdicio de materiales durante su fabricación, se logra generar un menor impacto ambiental al estandarizar las fuentes de extracción de los componentes y principalmente se logran valores de resistencia competitivos.

El lanzado de mortero seco para el control de la erosión en taludes es una técnica con grandes potenciales, donde resultados de las pruebas de laboratorio donde se evaluaron sus propiedades mecánicas alcanzaron valores de hasta 14,824 Mpa (2150 psi) de resistencia a la compresión (dependiendo de la calidad del agregado), que se encuentra por encima de un mortero M-5 y muy cerca de un M-20 de acuerdo a normas internacionales, además, este mortero cumplió las expectativas en cuanto a las demás propiedades analizadas durante la investigación, ya que presentó excelentes resultados de manejabilidad, adherencia, impermeabilización, curado y nulo desperdicio.

Con base en las pruebas de laboratorio podemos realizar una caracterización de las diferentes mezclas obtenidas, lo que permite a los profesionales tomar decisiones basadas en datos objetivos, dando como resultados obras de infraestructura de calidad que cumplen con los requerimientos específicos de la ingeniería. La trabajabilidad o manejabilidad, es el resultado de la lubricación de las partículas de agregados con la pasta del agua/cemento. El ajuste final de la trabajabilidad, depende de la cantidad de agua, para este caso, se pudo alcanzar la dosis justa mediante la formulación proporcionada dando como resultado un tiempo de trabajo de hasta 3 horas de acuerdo con los resultados arrojados en laboratorio. La consistencia de este fue uniforme y se determinó que en los ingredientes de mezcla y en el tiempo de mezclado indican un control adecuado durante la dosificación y el mezclado. La retención de la consistencia se evidencia cuando después del contacto entre el mortero y el substrato, esta conserva la trabajabilidad y a alta retención.

Cuando el mortero se encuentra en estado endurecido refleja propiedades tales como la adherencia la cual tiene lugar a tres fases: resistencia, grado de adherencia y durabilidad. Estas variables incluyen contenido de aire, cohesividad, tiempo de fraguado, colocación, absorción, retención de agua del mortero y curado. La resistencia a la adherencia se desarrolla entre el sustrato y el mortero, y en estado fresco el mortero se pudo evidenciar su fluidez sobre el sustrato y llenar todas las cavidades de la superficie, esta propiedad se logra cuando los morteros entra en contacto con el sustrato y continua aumentado con la hidratación del cemento, su calidad es importante, no solamente para que resista las cargas aplicadas, sino también para absorber esfuerzos originados por cambios volumétricos por efecto de la temperatura

Como la resistencia a la compresión está influenciada por la hidratación del cemento y esta a su vez determina las propiedades físicas del mortero endurecido, se evidencia que el comportamiento que obtuvimos era el esperado debido a que los especímenes cumplieron con todo su proceso de curado.

La posibilidad de fabricar mezclas estandarizadas, es una buena manera de aportar al cuidado del medio ambiente y con ello ayudar a la mitigación del cambio climático, ya que permite identificar las fuentes de extracción de materiales aptos para el uso en la fabricación de obras de infraestructura, logrando evitar la explotación indiscriminada de yacimientos que en muchos casos no cumplen con los requerimientos especificados en la industria. Por otro lado, establece formulaciones específicas donde se tienen cantidades fijas de materiales para ser mezclados, evitando los desperdicios que se presentan cuando no se tienen los procesos de fabricación plenamente identificados, esto es más evidente en el uso de agregados y el agua.

No existe una relación agua/cemento, ya que este no es un mortero tradicional, este es un mortero formulado donde las cantidades son determinadas por porcentaje. La cantidad de agua esta definida en el diseño de la mezcla.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Sociedad Colombiana de Geotecnia, «Manejo de cuencas y microcuencas, Protección de taludes, dinámica de corrientes,» de *Erosión Memorias Vol II*, Bucaramanga, 1996.
- [2] H. Sánchez, «Asistencia técnica en el desarrollo de los estudios de estabilidad y diseño de estabilización de taludes,» Bucaramanga, 2016.
- [3] J. S. Díaz, Manual de ingeniería para el control de erosión en zonas tropicales, Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 1993.
- [4] D. H. Gray y R. B. Sotir, *Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization: A Practical Guide for Erosion Control*, USA: Wiley-Interscience, 1996.
- [5] J. F. Arenas Díaz y C. O. Sarmiento Garcés, Evaluación del comportamiento mecánico de morteros modificados con ceniza de locaciones petroleras, Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana, 2012.
- [6] I. Torres y G. Matias, «Sustainable mortars for rehabilitation of old plasters, Engineering Structures,» *Elsevier*, vol. 129, n° 1, pp. 11-17, 2016.
- [7] S. Andrejkovičová, A. Velosa y F. Rocha, «Air lime–metakaolin–sepiolite mortars for earth based walls,» *Construction and Building Materials*, vol. 44, n° 1, pp. 133-141, 2013.
- [8] D.-H. Lee, Y.-E. Yang y H.-M. Lin, «Assessing slope protection methods for weak rock slopes in Southwestern Taiwan,» *Engineering Geology*, vol. 91, n° 1, pp. 100-116, 2007.
- [9] L. J. Escobar Toro y Y. Valencia González, «Análisis de estabilidad y probabilidad de falla de dos taludes de suelo tropical en la autopista Medellín-Bogotá en el tramo de vía entre Marinilla y Santuario,» *Boletín Ciencias de la Tierra*, vol. 1, n° 31, pp. 51-64, 2012.
- [10] J. I. Tobón y L. M. Montoya, «Análisis comparativo entre algunas materias primas minerales nacionales e importadas utilizadas en la industria del cemento,» *Boletín de Ciencias de la Tierra*, vol. 19, n° 1, pp. 57-72, 2006.
- [11] S. Triana Nígritis y G. S. Velandia, Evaluación mecánica de morteros modificados sometidos a ambientes salinos, Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana, 2014.

- [12] D. S. D. Guzmán, *Concretos y Morteros. Manejo y colocación en obra*, Bogota: Asocreto, 1998.
- [13] J. E. C. Velasquez, *Análisis razón agua/cemento con mortero de cemento blanco*, Valdivia: Universidad Austral de Chile, 2007.
- [14] J. S. Díaz, *Deslizamientos, Análisis Geotecnico*, Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2009.
- [15] F. Y. N. REAL ACADEMIA DE CIENCIAS EXACTAS, «www.rac.es,» [En línea]. Available: https://www.ugr.es/~agcasco/personal/rac_geologia/rac.htm. [Último acceso: 24 Julio 2019].
- [16] M. C. Ortiz Corredor y A. Eslava Dumez, *Propuesta para mitigar la erosión en un talud ubicado en la vereda bajo ruitoque grantizando su estabilidad*, Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana, 2017.
- [17] Asociación Española de Normalización, *Especificaciones de los morteros para albañilería, Parte 2*, España: UNE, 2012.
- [18] L. G. d. López, *El concreto y otros materiales para la construcción*, Manizales: Universidad Nacional de Colombia. Sede Manizales, 2003.
- [19] J. L. Ramírez, J. M. Barcena y J. I. Urreta, «Influencia de los finos calizos y arcillosos en la resistencia de morteros de cemento,» 1984.
- [20] J. F. Merchan Mejía y C. A. Galvis Rueda, *Evaluación del comportamiento de suels al estabilizarlos con cemento*, Bucaramanga: Univeersidad Potifica Bolivariana, 2015.

ANEXOS

ANEXO A. RESULTADOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN

FALLA A 7 DÍAS											
COMPRESIÓN CUBOS DE MORTERO ARENA DE PEÑA #1											
Muestra N°	Lado (mm)				Área (mm ²)	Fecha de Toma	Fecha de prueba	Edad	Carga (N)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo (PSI)
1	49,88	50,21	50,15	50,36	2515,01	22/01/2019	29/01/2019	7 Días	22690	9,02	1308,51
2	50,19	50,35	50,12	50,29	2523,81	22/01/2019	29/01/2019	7 Días	17330	6,87	995,92
3	50,22	49,96	50,41	50,27	2521,53	22/01/2019	29/01/2019	7 Días	21760	8,63	1251,63
4	50,15	50,52	50,05	50,09	2520,27	22/01/2019	29/01/2019	7 Días	22570	8,96	1298,87
5	50,26	50,38	50,45	50,25	2533,61	22/01/2019	29/01/2019	7 Días	18040	7,12	1032,71
6	50,41	50,23	50,45	49,88	2524,30	22/01/2019	29/01/2019	7 Días	19300	7,65	1108,91
7	49,98	50,12	50,16	50,1	2509,01	22/01/2019	29/01/2019	7 Días	17050	6,80	985,61
8	50,33	50,26	50,14	50,03	2519,03	22/01/2019	29/01/2019	7 Días	19280	7,65	1110,09
9	50,22	50,37	50,1	50,04	2518,27	22/01/2019	29/01/2019	7 Días	18300	7,27	1053,98
10	50,31	50,24	50,12	50,14	2520,29	22/01/2019	29/01/2019	7 Días	19800	7,86	1139,46
COMPRESIÓN CUBOS DE MORTERO ARENA DE PEÑA #2											
Muestra N°	Lado (mm)				Área (mm ²)	Fecha de Toma	Fecha de prueba	Edad	Carga (N)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo (PSI)
1	50,12	50,24	50,16	50,31	2520,79	22/01/2019	29/01/2019	7 Días	21700	8,61	1248,55
2	50,06	49,86	50,12	50,25	2507,24	22/01/2019	29/01/2019	7 Días	25080	10,00	1450,82
3	49,94	50,12	50,06	50,16	2507,00	22/01/2019	29/01/2019	7 Días	25500	10,17	1475,25
4	50,32	50,21	50,16	50,24	2523,30	22/01/2019	29/01/2019	7 Días	24100	9,55	1385,25
5	50,08	50,16	50,22	50,25	2517,78	22/01/2019	29/01/2019	7 Días	22830	9,07	1315,13

6	50,17	50,19	49,96	50,06	2509,50	22/01/2019	29/01/2019	7 Días	22400	8,93	1294,62
7	50,12	50,24	50,17	50,09	2515,52	22/01/2019	29/01/2019	7 Días	24660	9,80	1421,83
8	50,16	50,18	50,14	50,07	2513,77	22/01/2019	29/01/2019	7 Días	24660	9,81	1422,82
9	50,05	50,16	50,19	50,24	2516,02	22/01/2019	29/01/2019	7 Días	23540	9,36	1356,98
10	50,16	50,13	50,18	49,89	2509,01	22/01/2019	29/01/2019	7 Días	24260	9,67	1402,40
COMPRESIÓN CUBOS DE MORTERO ARENA DE RÍO #1											
Muestra N°	Lado (mm)				Área (mm ²)	Fecha de Toma	Fecha de prueba	Edad	Carga (N)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo (PSI)
1	50,06	50,15	50,19	50,21	2515,27	24/01/2019	31/01/2019	7 Días	28190	11,21	1625,52
2	50,26	50,12	50,14	50,04	2514,02	24/01/2019	31/01/2019	7 Días	29730	11,83	1715,18
3	50,14	49,94	50,04	50,17	2507,25	24/01/2019	31/01/2019	7 Días	26910	10,73	1556,67
4	50,19	50,21	50,17	50,09	2516,53	24/01/2019	31/01/2019	7 Días	28600	11,36	1648,34
5	50,16	50,17	50,04	50,2	2514,27	24/01/2019	31/01/2019	7 Días	26350	10,48	1520,02
6	50,17	50,12	49,96	50,23	2512,01	24/01/2019	31/01/2019	7 Días	29310	11,67	1692,29
7	50,18	50,25	50,14	50,13	2517,53	24/01/2019	31/01/2019	7 Días	30440	12,09	1753,69
8	50,31	50,24	50,16	50,14	2521,29	24/01/2019	31/01/2019	7 Días	29170	11,57	1678,01
9	50,06	50,08	50,19	50,24	2514,27	24/01/2019	31/01/2019	7 Días	28040	11,15	1617,52
10	50,19	50,24	50,09	50,14	2516,52	24/01/2019	31/01/2019	7 Días	31710	12,60	1827,58
COMPRESIÓN CUBOS DE MORTERO ARENA DE RÍO #2											
Muestra N°	Lado (mm)				Área (mm ²)	Fecha de Toma	Fecha de prueba	Edad	Carga (N)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo (PSI)
1	50,16	50,25	50,17	50,23	2520,29	24/01/2019	31/01/2019	7 Días	25080	9,95	1443,31
2	50,09	50,03	50,14	50,19	2511,26	24/01/2019	31/01/2019	7 Días	25360	10,10	1464,67

3	50,26	50,16	50,21	50,13	2519,04	24/01/2019	31/01/2019	7 Días	31000	12,31	1784,88
4	50,14	50,16	50,08	50,17	2513,77	24/01/2019	31/01/2019	7 Días	29730	11,83	1715,34
5	49,86	50,06	50,09	50,14	2503,75	24/01/2019	31/01/2019	7 Días	29170	11,65	1689,77
6	50,16	50,07	50,12	50,04	2509,76	24/01/2019	31/01/2019	7 Días	26070	10,39	1506,58
7	50,15	49,99	50,10	50,04	2507,00	24/01/2019	31/01/2019	7 Días	27200	10,85	1573,60
8	50,19	50,22	50,14	50,17	2518,03	24/01/2019	31/01/2019	7 Días	23670	9,40	1363,39
9	50,17	50,09	50,16	50,17	2514,77	24/01/2019	31/01/2019	7 Días	26250	10,44	1513,95
10	50,14	50,22	49,89	50,08	2508,25	24/01/2019	31/01/2019	7 Días	31560	12,58	1824,94

FALLA A 14 DÍAS											
COMPRESIÓN CUBOS DE MORTERO ARENA DE PEÑA #1											
Muestra N°	Lado (mm)				Área (mm ²)	Fecha de Toma	Fecha de prueba	Edad	Carga (N)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo (PSI)
1	50,05	50,10	50,06	50,05	2506,50	5/02/2019	19/02/2019	14 Días	20710	8,26	1198,38
2	49,89	50,010	50,09	50,03	2500,50	5/02/2019	19/02/2019	14 Días	26770	10,71	1552,76
3	50,11	50,09	50,12	50,14	2511,51	5/02/2019	19/02/2019	14 Días	19560	7,79	1129,58
4	50,03	50,07	49,95	50,04	2502,25	5/02/2019	19/02/2019	14 Días	19450	7,77	1127,38
5	50,14	50,21	50,16	50,12	2515,77	5/02/2019	19/02/2019	14 Días	24520	9,75	1413,61
6	49,93	50,06	50,04	49,98	2500,25	5/02/2019	19/02/2019	14 Días	21020	8,41	1219,36
7	50,10	50,14	50,13	50,10	2511,76	5/02/2019	19/02/2019	14 Días	20460	8,15	1181,43
8	50,23	50,19	50,17	50,14	2518,28	5/02/2019	19/02/2019	14 Días	21230	8,43	1222,72
9	50,12	50,17	50,14	50,17	2515,02	5/02/2019	19/02/2019	14 Días	18300	7,28	1055,34
10	50,12	50,08	50,11	50,14	2511,26	5/02/2019	19/02/2019	14 Días	21430	8,53	1237,69
COMPRESIÓN CUBOS DE MORTERO ARENA DE PEÑA #2											
Muestra N°	Lado (mm)				Área (mm ²)	Fecha de Toma	Fecha de prueba	Edad	Carga (N)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo (PSI)
1	50,04	50,06	49,88	50,07	2501,25	5/02/2019	19/02/2019	14 Días	29590	11,83	1715,81
2	50,26	50,19	50,21	50,22	2522,05	5/02/2019	19/02/2019	14 Días	25650	10,17	1475,08

3	50,12	50,14	50,17	50,09	2513,02	5/02/2019	19/02/2019	14 Días	25790	10,26	1488,46
4	50,06	50,09	49,97	50,07	2504,75	5/02/2019	19/02/2019	14 Días	27620	11,03	1599,34
5	50,01	49,87	50,06	49,96	2497,50	5/02/2019	19/02/2019	14 Días	29450	11,79	1710,26
6	50,21	50,13	50,17	50,14	2516,28	5/02/2019	19/02/2019	14 Días	26210	10,42	1510,74
7	50,14	50,13	50,17	50,09	2513,27	5/02/2019	19/02/2019	14 Días	31170	12,40	1798,79
8	49,99	50,06	50,04	50,10	2504,75	5/02/2019	19/02/2019	14 Días	28320	11,31	1639,87
9	50,13	50,16	50,11	50,07	2511,76	5/02/2019	19/02/2019	14 Días	26100	10,39	1507,11
10	50,03	50,06	50,07	50,05	2505,25	5/02/2019	19/02/2019	14 Días	27900	11,14	1615,23
COMPRESIÓN CUBOS DE MORTERO ARENA DE RÍO #1											
Muestra N°	Lado (mm)				Área (mm ²)	Fecha de Toma	Fecha de prueba	Edad	Carga (N)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo (PSI)
1	50,06	49,86	50,12	50,25	2507,24	7/02/2019	21/02/2019	14 Días	31850	12,70	1842,45
2	49,94	50,12	50,06	50,16	2507,00	7/02/2019	21/02/2019	14 Días	29310	11,69	1695,68
3	50,41	50,23	50,45	49,88	2524,30	7/02/2019	21/02/2019	14 Días	31850	12,62	1829,99
4	49,98	50,12	50,16	50,10	2509,01	7/02/2019	21/02/2019	14 Días	29870	11,91	1726,69
5	50,08	50,06	50,01	50,2	2508,76	7/02/2019	21/02/2019	14 Días	27620	11,01	1596,79
6	49,86	50,02	50,07	50,03	2499,50	7/02/2019	21/02/2019	14 Días	28460	11,39	1651,44
7	50,16	50,17	50,13	50,09	2513,77	7/02/2019	21/02/2019	14 Días	31000	12,33	1788,62
8	50,06	50,04	50,08	49,99	2504,25	7/02/2019	21/02/2019	14 Días	30720	12,27	1779,20

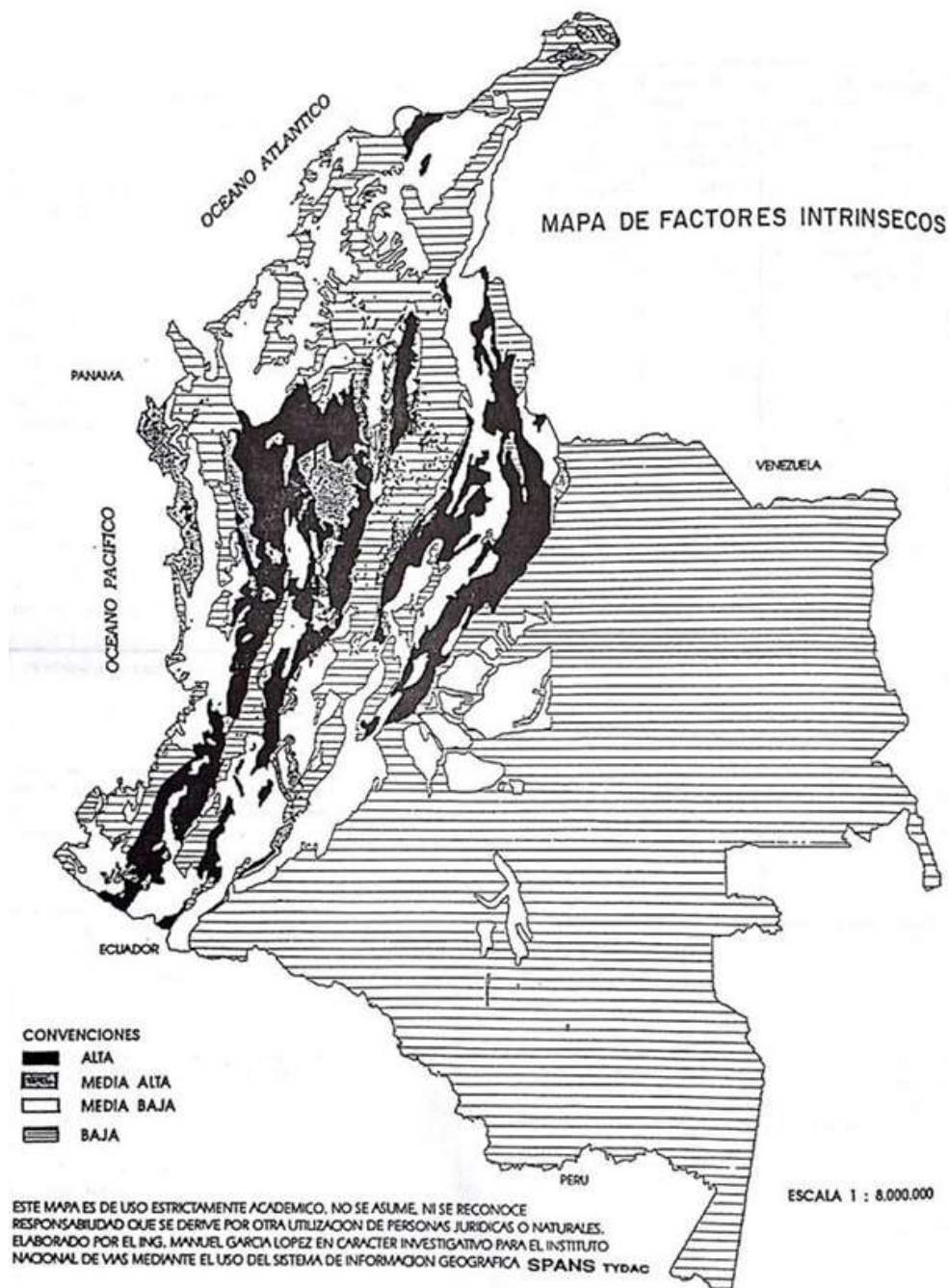
9	50,22	50,17	50,21	50,18	2519,54	7/02/2019	21/02/2019	14 Días	29310	11,63	1687,24
10	50,12	50,16	50,11	50,17	2514,02	7/02/2019	21/02/2019	14 Días	28080	11,17	1619,98
COMPRESIÓN CUBOS DE MORTERO ARENA DE RÍO #2											
Muestra N°	Lado (mm)				Área (mm ²)	Fecha de Toma	Fecha de prueba	Edad	Carga (N)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo (PSI)
1	50,16	50,25	50,17	50,23	2520,29	7/02/2019	21/02/2019	14 Días	30250	12,00	1740,83
2	50,09	50,03	50,14	50,19	2511,26	7/02/2019	21/02/2019	14 Días	28050	11,17	1620,03
3	50,26	50,16	50,21	50,13	2519,04	7/02/2019	21/02/2019	14 Días	25090	9,96	1444,60
4	50,14	50,16	50,08	50,17	2513,77	7/02/2019	21/02/2019	14 Días	28100	11,18	1621,30
5	49,86	50,06	50,09	50,14	2503,75	7/02/2019	21/02/2019	14 Días	27200	10,86	1575,65
6	50,16	50,07	50,12	50,04	2509,76	7/02/2019	21/02/2019	14 Días	26060	10,38	1506,00
7	50,15	49,99	50,10	50,04	2507,00	7/02/2019	21/02/2019	14 Días	23450	9,35	1356,66
8	50,19	50,22	50,14	50,17	2518,03	7/02/2019	21/02/2019	14 Días	25360	10,07	1460,73
9	50,17	50,09	50,16	50,17	2514,77	7/02/2019	21/02/2019	14 Días	29180	11,60	1682,94
10	50,14	50,22	49,89	50,08	2508,25	7/02/2019	21/02/2019	14 Días	30150	12,02	1743,41

FALLA A 28 DÍAS											
COMPRESIÓN CUBOS DE MORTERO ARENA DE PEÑA #1											
Muestra N°	Lado (mm)				Área (mm ²)	Fecha de Toma	Fecha de prueba	Edad	Carga (N)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo (PSI)
1	50,19	50,26	50,18	50,24	2521,80	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	30720	12,18	1766,82
2	50,12	50,18	50,16	50,14	2515,02	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	31620	12,57	1823,48
3	50,06	50,04	49,97	50,03	2502,50	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	23810	9,51	1379,96
4	50,14	50,12	50,12	50,16	2513,52	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	22970	9,14	1325,44
5	50,09	50,11	50,06	50,13	2509,76	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	29590	11,79	1709,99
6	50,22	50,16	50,19	50,2	2519,29	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	32200	12,78	1853,79
7	50,06	50,07	50,02	50,07	2505,50	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	29680	11,85	1718,11
8	50,15	50,12	50,16	50,08	2512,77	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	30520	12,15	1761,63
9	49,98	50,06	50,04	50,03	2502,75	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	31620	12,63	1832,42
10	50,12	50,09	50,17	50,13	2512,77	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	30480	12,13	1759,32
COMPRESIÓN CUBOS DE MORTERO ARENA DE PEÑA #2											
Muestra N°	Lado (mm)				Área (mm ²)	Fecha de Toma	Fecha de prueba	Edad	Carga (N)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo (PSI)
1	50,04	50,09	50,05	50,08	2506,50	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	33680	13,44	1948,88
2	49,98	50,02	50,01	50,04	2501,25	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	33540	13,41	1944,86
3	50,24	50,21	50,22	50,19	2521,55	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	31710	12,58	1823,94
4	50,16	50,14	50,18	50,17	2516,28	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	33960	13,50	1957,45
5	50,06	50,1	50,07	50,08	2507,76	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	32160	12,82	1860,00

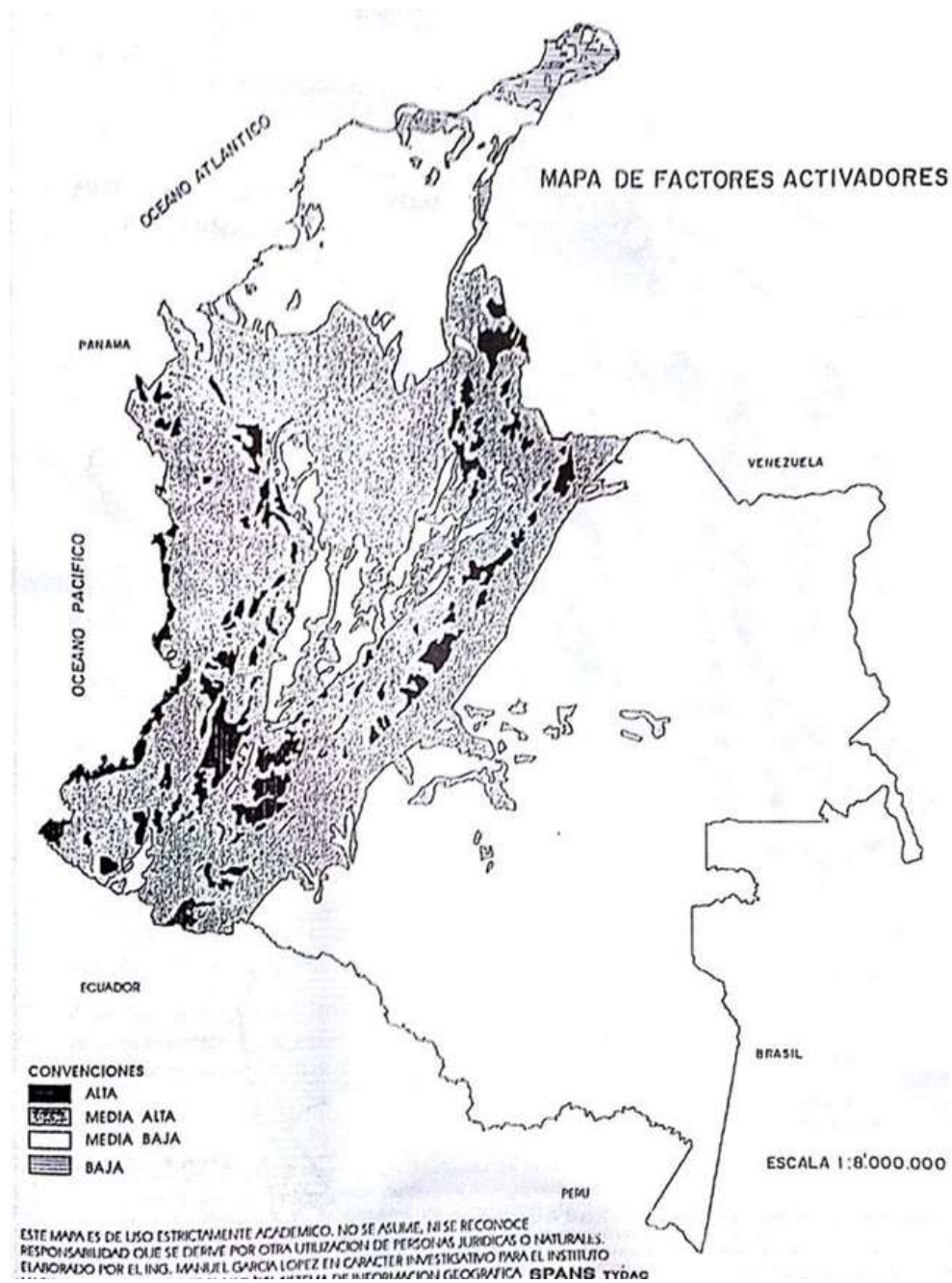
6	50,19	50,15	50,13	50,17	2516,03	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	31860	12,66	1836,59
7	50,04	50,06	50,02	49,95	2501,75	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	33020	13,20	1914,32
8	50,17	50,19	50,16	50,18	2517,53	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	31620	12,56	1821,67
9	50,04	50,06	50,03	50,01	2503,50	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	29480	11,78	1707,90
10	50,12	50,11	50,16	50,14	2513,27	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	32670	13,00	1885,35
COMPRESIÓN CUBOS DE MORTERO ARENA DE RÍO #1											
Muestra N°	Lado (mm)				Área (mm ²)	Fecha de Toma	Fecha de prueba	Edad	Carga (N)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo (PSI)
1	50,20	50,16	50,17	50,19	2518,03	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	33820	13,43	1948,02
2	50,06	50,10	50,04	50,07	2506,75	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	35650	14,22	2062,67
3	50,13	50,16	50,17	50,13	2514,77	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	37060	14,74	2137,41
4	50,06	50,10	50,04	50,08	2507,00	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	41710	16,64	2413,05
5	50,08	50,05	50,06	50,09	2507,00	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	38560	15,38	2230,82
6	50,02	49,98	50,06	50,01	2501,75	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	37060	14,81	2148,54
7	50,19	50,23	50,21	50,18	2520,29	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	36680	14,55	2110,86
8	50,16	50,18	50,17	50,11	2515,52	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	39120	15,55	2255,55
9	50,07	50,06	50,07	50,01	2505,25	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	34520	13,78	1998,49
10	50,09	50,12	50,07	50,11	2509,76	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	37980	15,13	2194,85
COMPRESIÓN CUBOS DE MORTERO ARENA DE RÍO #2											
Muestra N°	Lado (mm)				Área (mm ²)	Fecha de Toma	Fecha de prueba	Edad	Carga (N)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo (PSI)
1	50,05	50,06	50,03	50,09	2505,75	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	35510	14,17	2055,39
2	50,12	50,17	50,15	50,12	2514,02	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	29590	11,77	1707,10

3	50,06	50,01	50,03	49,89	2499,75	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	32410	12,97	1880,46
4	50,04	50,06	50,08	50,09	2506,75	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	33110	13,21	1915,71
5	50,18	50,26	50,21	50,24	2522,30	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	33450	13,26	1923,45
6	50,16	50,19	50,16	50,18	2517,28	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	31620	12,56	1821,85
7	50,12	50,16	50,14	50,13	2513,77	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	30890	12,29	1782,27
8	50,01	50,06	50,04	50,08	2504,75	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	31690	12,65	1835,01
9	49,96	50,03	50,04	50,01	2501,00	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	29780	11,91	1727,00
10	50,12	50,16	50,13	50,14	2513,77	21/02/2019	21/03/2019	28 Días	30580	12,17	1764,39

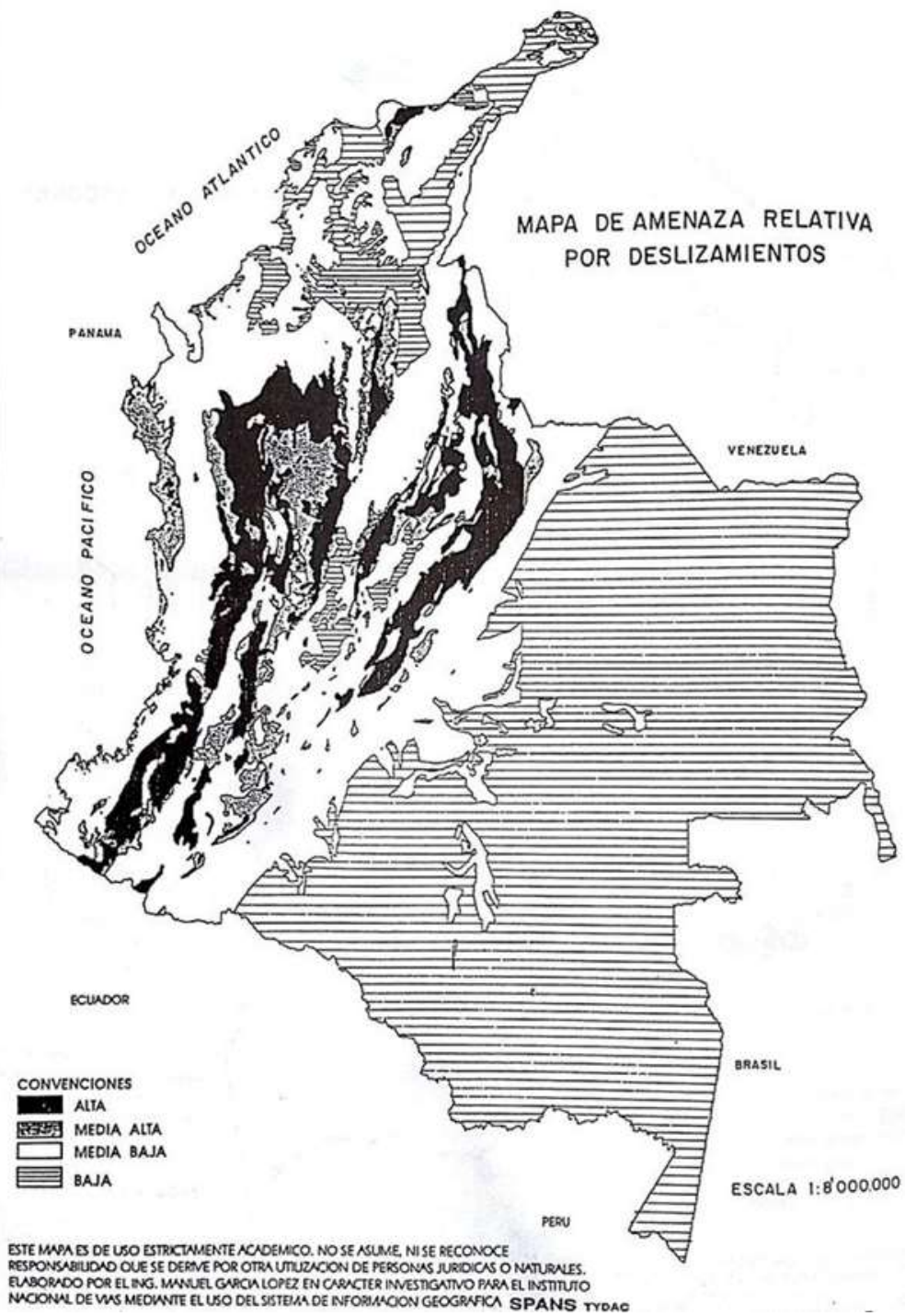
ANEXO B. MAPA DE FACTORES INTRÍNSECOS



ANEXO C. MAPA DE FACTORES ACTIVADORES



ANECO D. MAPA DE AMENAZA RELATIVA POR DESLIZAMIENTOS



**ANEXO E. MAPA DE DESLIZAMIENTOS CAUSADOS POR LLUVIAS (ENERO-
JUNIO)**



FIGURA A-1



FIGURA A-2



FIGURA A-3



FIGURA A-4



FIGURA A-5



FIGURA A-6

**ANEXO F. MAPA DE DESLIZAMIENTOS CAUSADOS POR LLUVIA (JULIO-
DICIEMBRE)**



Julio

FIGURA A-7



Agosto

FIGURA A-8



Septiembre

FIGURA A-9



Octubre

FIGURA A-10



Noviembre

FIGURA A-11



Diciembre

FIGURA A-12

ANEXO G. MAPA ANUAL DE DESLIZAMIENTOS

