

**Caracterización física mecánica de material de arrastre del río mulato del
municipio de Mocoa, Putumayo**

**Leidy Vanessa Díaz López
Karen Dayana Sánchez Arciniegas**

**Instituto Tecnológico del Putumayo.
Facultad de Ingeniería y ciencias básicas.
Mocoa
2024**

Caracterización física mecánica de material de arrastre del río mulato del municipio de Mocoa, Putumayo

**Leidy Vanessa Díaz López
Karen Dayana Sánchez Arciniegas**

Documento final presentado como opción de grado para optar el título de ingeniería civil.

**Ing. Pedro Andrés Verdugo.
Asesor**

**Instituto Tecnológico del Putumayo.
Facultad de Ingeniería y ciencias básicas.
Mocoa
2024**

Dedicatoria

A Dios primeramente por darme la sabiduría y la fortaleza para culminar este proyecto llamado ingeniería civil. A mis padres por su amor incondicional y apoyo constante que hicieron posible este logro; mamá, gracias por todos los consejos y decir que nunca me rinda. A mi familia y amigos, por su aliento, comprensión y compañía en los momentos difíciles. A mi compañera de tesis, por cuanto la hemos guerreado y triunfado juntas. Esta tesis va a dedicada a ustedes, su influencia, enseñanzas y apoyo son invaluable; gratitud y aprecio eterno.

Karen Dayana Sánchez Arciniegas.

Para mi amado Dios, fuente de toda sabiduría y fortaleza, que me ha guiado y sostenido en cada paso de este camino académico. A mi querida madre, por ser mi inspiración y mi roca inquebrantable, gracias por tu amor incondicional y por ser mi ejemplo de lucha y perseverancia. A mi padre, que, aunque ya no está físicamente conmigo, sé que desde el cielo me sigue acompañando y guiando, tu legado y tu amor perduraran en mi corazón para siempre. A mis queridos hermanos, por su apoyo incondicional y por ser mi fuente de ánimo y motivación en los momentos difíciles. A mis preciosas hijas, quienes son mi mayor motor y mi razón de ser, todo lo que hago, lo hago pensando en su bienestar y su futuro. A mi compañero de vida, por su paciencia, comprensión y apoyo constante. A toda mi familia por su amor y soporte. A mi amiga y compañera de tesis, por compartir conmigo este desafío académico y por ser mi apoyo incondicional en cada etapa del proceso. A mis amigas y compañeras de estudio, por su colaboración, compañerismo y por compartir conmigo momentos de alegría y aprendizaje. A todos ustedes, mi más profundo agradecimiento por formar parte de mi vida y

por ser mi fuente de inspiración y motivación. Este logro también es de ustedes. ¡Gracias por todo!

Leidy Vanessa Díaz López.

Agradecimientos

A nuestros padres y familiares, les estamos eternamente agradecidas por su amor incondicional, comprensión y apoyo inquebrantable. Su sacrificio y aliento fueron la fuerza motriz detrás de este logro.

Agradecemos a nuestros amigos (Karen, Faisury, Gina, Carolina, Elmer, Wilder, Fabian) por hacer sentir su hogar como el nuestro, por compartir sus conocimientos, sueños, metas, propósitos, lagrimas, por su constante estímulo, apoyo incondicional y por hacer más divertido esta etapa universitaria. Sus palabras de aliento fueron un gran impulso en los momentos difíciles.

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas que contribuyeron al desarrollo y finalización de esta tesis. A nuestro asesor de tesis el ingeniero Pedro Andrés Verdugo Daza, por su orientación, apoyo y dedicación a lo largo de este proceso. Su experiencia y sabiduría fueron fundamentales para el éxito de este trabajo. También queremos agradecer a los maestros Eliana Santacruz y Alejandro Sossa, quienes compartieron su conocimiento y brindaron valiosos comentarios que enriquecieron este trabajo.

Por último, agradecemos el acompañamiento, el apoyo y la paciencia de todo el personal del laboratorio de materiales del Instituto Tecnológico del Putumayo, su colaboración hizo posible realizar esta tesis.

A todos y cada uno de ustedes, gracias por ser parte de nuestra vida universitaria.

Leidy Vanessa Díaz López.

Karen Dayana Sánchez Arciniegas.

Resumen

En el siguiente documento se dará a conocer los resultados obtenidos a partir de la caracterización físico mecánica del material de arrastre del río Mulato, para luego determinar si el material es apto o no para las obras de construcción, para lo cual se identifica una zona de muestreo y así determinar la calidad de la fuente sea de futuro aprovechamiento en obras de procesos constructivos.

De esta manera se efectúa un estudio de caracterización físico mecánica del material de arrastre del río Mulato, para evaluar que el material se desempeñe con las normativas vigentes realizando y analizando a través de ensayos de laboratorio que faciliten el alcance y la caracterización de este estudio basándose en la INVIAS 2013.

Con esta investigación a realizar se pretende que dicha caracterización de las propiedades física y mecánica del río Mulato sea de conocimiento público, para que sea beneficioso a los interesados contar con una claridad de un material que puede ser extraído de manera local, con un estricto documento de investigación, comprobando parámetros de calidad exigidos en la normatividad del INVIAS-2013 para su identificación del material granular y fino.

Palabras claves: aprovechamiento, material del río mulato, ensayos de laboratorio, caracterización físico - mecánica.

Tabla de Contenido

1.	Introducción	13
2.	Planteamiento del problema.....	14
3.	Formulación del problema	16
4.	Justificación	17
5.	Objetivos	18
5.1.	Objetivo general	18
5.2.	Objetivo específico.....	18
6.	Antecedentes	19
7.	Marco de referencia	21
7.1.	Marco teórico	21
7.1.1.	Geología.....	21
7.1.2.	Unidades geológicas	24
7.2.	Marco conceptual	26
7.3.	Marco contextual.....	27
7.3.1.	Localización Putumayo Colombia.....	27
7.3.2.	Ubicación Mocoa Putumayo.....	28
7.3.3.	Ubicación área de estudio Rio Mulato.....	29
7.4.	Marco legal.....	30
8.	Diseño metodológico	34
8.1.	Tipo de estudio	34
8.2.	Validez y confiabilidad de la investigación.	35
8.3.	Descripción de etapas.....	38
8.3.1.	Etapas de preliminares.....	39
8.3.2.	Etapas 1. Recolección de la toma de la muestra del material transportado por el río Mulato	39
8.3.3.	Etapas 2. Ensayo de laboratorio para la caracterización físico – mecánica del material transportado del rio Mulato.....	42
8.3.4.	Etapas 3. Interpretación de resultados	57
9.	Resultados y discusión.....	58
10.	Conclusiones	119
11.	Recomendaciones	121
12.	Lista de referencias	122

Lista de tablas

Tabla 1. Normas legales establecidas en Colombia bajo Leyes, Resoluciones, decretos y normas INVIAS.	31
Tabla 2. Variables para el cálculo del tamaño de la muestra.	36
Tabla 3. Ubicación puntos para la extracción de muestras.	40
Tabla 4. Gradación de la muestra de ensayo (gradación A)	50
Tabla. 5 INV-E-122 - Determinación en el laboratorio del contenido de agua (Humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado. Punto# 1.....	58
Tabla. 6 INV-E-122 - Determinación en el laboratorio del contenido de agua (Humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado. Punto #2.....	60
Tabla. 7 INV-E-122 - Determinación en el laboratorio del contenido de agua (Humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado. Punto #3.....	61
Tabla 9. INV E 214 - Determinación del material que pasa el tamiz 75 μ m (n° 200) en los agregados pétreos mediante el lavado. Punto #1	63
Tabla 10. INV E 214 - Determinación del material que pasa el tamiz 75 μ m (n° 200) en los agregados pétreos mediante el lavado. Punto #2	65
Tabla 11. INV E 214 - Determinación del material que pasa el tamiz 75 μ m (n° 200) en los agregados pétreos mediante el lavado. Punto #3	66
Tabla 12. Resumen material pasa tamiz 200	67
Tabla 13. Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino. Punto 1.....	68
Tabla 14. Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino. Punto 2.....	69
Tabla 15. Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino. Punto 3.....	70
Tabla 16. Resumen análisis granulométrico punto 1.	71
Tabla 17. Resumen análisis granulométrico punto 2.	73
Tabla 18. Resumen análisis granulométrico punto 3.	75
Tabla 19. % de fracciones en suelos granulares y cohesivos, puntos 1,2,3.	76
Tabla 20. Determinación de terrones de arcilla y partículas deleznales en los agregados. Punto 1.....	77
Tabla 21. Determinación de terrones de arcilla y partículas deleznales en los agregados. Punto 2.....	78
Tabla 22. Determinación de terrones de arcilla y partículas deleznales en los agregados. Punto 3.....	78
Tabla 23. Resumen % terrones de arcilla y partículas deleznales.	79
Tabla 24. INV E 133 - Equivalente de arena de suelos y agregados. Punto 1.....	81
Tabla 25. INV E 133 - Equivalente de arena de suelos y agregados. Punto 2.....	81
Tabla 26. INV E 133 - Equivalente de arena de suelos y agregados. Punto 3.....	82
Tabla 27. Resumen de equivalente de arena de suelos y agregados.	82
Tabla 28. Densidad bulk y porcentaje de vacíos del agregado fino en estado suelto. Punto #1... 84	84
Tabla 29. Densidad bulk y porcentaje de vacíos del agregado fino en estado compacto. Punto #1	84
Tabla 30. Densidad bulk y porcentaje de vacíos del agregado fino en estado suelto. Punto #2... 85	85
Tabla 31. Densidad bulk y porcentaje de vacíos del agregado fino en estado compacto. Punto #2	86

Tabla 32. Densidad bulk y porcentaje de vacíos del agregado fino en estado suelto. Punto #3...	86
Tabla 33. Densidad bulk y porcentaje de vacíos del agregado fino en estado compacto. Punto #3	87
Tabla 34. Resumen densidad bulk y % de vacíos del agregado fino en estado suelto.	87
Tabla 35. Resumen densidad bulk y % de vacíos del agregado fino en estado compacto.	87
Tabla 36. Densidad bulk y porcentaje de vacíos del agregado grueso en estado suelto. Punto #1	88
Tabla 37. Densidad bulk y porcentaje de vacíos del agregado grueso en estado compacto. Punto #1.....	90
Tabla 38. Densidad bulk y porcentaje de vacíos del agregado grueso en estado suelto. Punto #2	91
Tabla 39. Densidad bulk y porcentaje de vacíos del agregado grueso en estado compacto. Punto #2.....	91
Tabla 40. Densidad bulk y porcentaje de vacíos del agregado grueso en estado suelto. Punto #3	92
Tabla 41. Densidad bulk y porcentaje de vacíos del agregado grueso en estado compacto. Punto #3.....	92
Tabla 42. Resumen densidad y % de vacíos en agregado grueso en estado suelto.	93
Tabla 43. Resumen densidad y % de vacíos en agregado grueso en estado compacto.	93
Tabla 44. Índice de alargamiento y aplanamiento de los agregados para carreteras. Punto #1	95
Tabla 45. Índice de alargamiento y aplanamiento de los agregados para carreteras. Punto #2....	96
Tabla 46. Índice de alargamiento y aplanamiento de los agregados para carreteras. Punto #3....	98
Tabla 47. Resumen de índice aplanamiento global para los puntos 1,2,3.	100
Tabla 48. Resumen de índice alargamiento global para los puntos 1,2,3.	101
Tabla 49. INV E 227 - Porcentaje de caras fracturadas en un agregado grueso. Punto 1	103
Tabla 50. INV E 227 - Porcentaje de caras fracturadas en un agregado grueso. Punto 2	103
Tabla 51. INV E 227 - Porcentaje de caras fracturadas en un agregado grueso. Punto 3	104
Tabla 52. Resumen de media aritmética de % de caras fracturadas puntos 1,2,3.	104
Tabla 53. INV E 222 - Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y de absorción del agregado fino. Punto #1.	107
Tabla 54. INV E 222 - Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y de absorción del agregado fino. Punto #2.	108
Tabla 55. INV E 222 - Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y de absorción del agregado fino. Punto #3.	109
Tabla 56. Resumen Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y de absorción del agregado fino, punto 1,2,3.	110
Tabla 57. INV E 223 - Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y de absorción del agregado grueso. Punto #1.....	111
Tabla 58. INV E 223 - Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y de absorción del agregado grueso. Punto #2.....	112
Tabla 59. INV E 223 - Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y de absorción del agregado grueso. Punto #3.....	113
Tabla 60. Resumen densidad, densidad relativa (gravedad específica) y de absorción del agregado grueso, puntos 1,2,3.....	114

Tabla 61. INV E 218 - Resistencia a la degradación de los agregados menores de 37,5 mm (1 1/2 ") por medio de la máquina de los ángeles. Punto #1	115
Tabla 62. INV E 218 - resistencia a la degradación de los agregados menores de 37,5 mm (1 1/2 ") por medio de la máquina de los ángeles. Punto #2	116
Tabla 63. INV E 218 - Resistencia a la degradación de los agregados menores de 37,5 mm (1 1/2 ") por medio de la máquina de los ángeles. Punto #3	116
Tabla 64. Resumen resistencia a la degradación de los agregados menores de 37,5 mm (1 1/2 ") por medio de la máquina de los ángeles.	117

Lista de figuras

Figura 1. Unidades de formación geológica cuenca Mulato.....	23
Figura 2. Unidades geológicas del área urbana, periurbana y expansión Mocoa Putumayo sobre el rio Mulato.....	23
Figura 3. Localización Putumayo, Colombia	28
Figura 4. Localización Mocoa, Putumayo.	29
Figura 5. Localización rio Mulato, Mocoa.	30
Figura 6. Esquema de etapas metodológicas.	38
Fuente. Presente estudio.....	38
Figura 7. Formación de la pila cónica.....	41
Figura 8. Cuarteo.	41
Figura 9. Reducción de la muestra.....	41
Figura 10. Recolección de la muestra.	41
Figura 11. Preparación de la muestra.....	44
Figura 12. Preparación de la solución flocculante.....	44
Figura 13. Vertimiento de cloruro de calcio.	44
Figura 14. Agitación manual.....	44
Figura 15. Irrigación	45
Figura 16. Toma de lecturas.....	45
Figura 17. Material sumergido 24 horas.	45
Figura 18. Lavado del material de las muestras.....	45
Figura 19. Lavado de las muestras a través de los tamices.....	46
Figura 20. Secado y peso de las muestras.....	46
Figura 21. Secado del material.....	46
Figura 22. Muestra a tamizar	46
Figura 23. Tamizado manual.	46
Figura 24. Determinación de la masa en cada fracción.	46
Figura 25. Lavado muestra a través del tamiz N° 4 y N°200.	48
Figura 26. Muestra lavada.....	48
Figura 27. Densidad bulk de agregado fino en estado suelto	49
Figura 28. Densidad bulk de agregado fino en estado compacto.	49
Figura 29. Agregado grueso en estado suelto.	49
Figura 30. Apisonamiento del agregado grueso.	49
Figura 31. Ingreso de la muestra a la maquina de los Ángeles.....	51
Figura 32. Ingreso de las esferas al tambor de la maquina	51
Figura 33. Lavado por el tamiz N°12.....	51
Figura 34. Secado y determinación de la masa.....	51
Figura 35. Secado de la muestra.	52
Figura 36. Prueba con el molde cónico. Muestra superficialmente seca.	52
Figura 37. Ingreso de la muestra al picnometro.....	52
Figura 38. Eliminación de burbujas de aire con vibrador mecánico.....	52
Figura 39. Verificación de temperatura.	53
Figura 40. Masa de muestra superficialmente saturada.	53

Figura 41. Preparación de la muestra.....	54
Figura 42. Secado superficialmente seco.....	54
Figura 43. Peso de la muestra sumergida.....	54
Figura 44. Muestra seca.	54
Figura 45. Separación de las partículas.....	55
Figura 46. Partículas fracturadas, no fracturadas y de frontera.	55
Figura 47. Partículas clasificadas en planas y alargadas.....	56
Figura 48. Partículas planas y largas.....	56
Figura 49. % contenido humedad punto 1	59
Figura 50. % contenido humedad punto 2	60
Figura 51. % contenido de humedad punto 3	61
Tabla 8. Resumen contenido de humedad	62
Fuente. Presente estudio.....	64
Figura 52. % material pasa tamiz 200.....	64
Figura 53. % material pasa tamiz 200 punto 2.....	65
Figura 54. % Material pasa tamiz 200 punto 3.	67
Figura 55. Curva granulométrica promedio punto 1.....	72
Figura 56. Curva granulométrica promedio punto 2.....	74
Figura 57. Curva granulométrica promedio punto 3.....	76
Figura 58. Resumen de índice aplanamiento global para los puntos 1,2,3.	101
Figura 59. Resumen de índice alargamiento global para los puntos 1,2,3.....	101

1. Introducción

Mocoa es un municipio rico en fuentes hídricas, cuenta con ríos y quebradas como: El Mulato, La Taruca, Sangoyaco y el Mocoa. Estas cuencas hidrográficas a su vez transportan material de arrastre que se convierte en materia prima para el desarrollo social y económico de la comunidad. Este material, es esencial en la construcción de obras civiles, ya que su disponibilidad local reduce costos facilitando su aprovechamiento, el cual impulsa el crecimiento económico y mejora la calidad de vida de los habitantes de la región.

De esta manera los materiales de arrastre: agregado grueso y agregado fino, son un factor importante de insumo para el desarrollo de las construcciones de obras civiles, Vélez et al., (2021), nos menciona que “son considerados como materias primas el material de arrastre para la elaboración de concretos y afirmados en diferentes capas que conforman una vía” (p.15), además de su buen funcionamiento y rendimiento de la vía, los materiales mixtos seleccionados, ya sean naturales o procesados, desempeñan factores importantes en una amplia gama de construcción incluyendo cimentaciones, muros de contención, estructuras de drenaje, entre otras.

A través del tiempo entre las investigaciones tenemos que el material pétreo es muy importante para cualquier tipo de construcción es por eso que se encuentra preciso caracterizar el material que se encuentra en el río Mulato; el objetivo de la caracterización física y mecánica de este material es saber y determinar la idoneidad de los materiales en uso constructivo y que cumplan con las normas establecidas a través del invias 2013.

2. Planteamiento del problema

El material de arrastre se ubica en cauces activos y en las orillas de las corrientes, siendo así las cuencas hídricas el origen de extracción. El municipio de Mocoa departamento del Putumayo cuenta con diferentes fuentes hidrográficas que podrían servir como puntos de extracción de materiales para actividades de construcciones civiles, sin embargo, hay información escasa de las características y propiedades de los materiales extraídos de estas fuentes, por lo tanto, surge la necesidad de saber las características que poseen, que pueden causar un efecto positivo o negativo en el momento de emplearse.

En el municipio de Mocoa Putumayo en su fase de reconstrucción a raíz de la tragedia ocurrida el 31 de marzo de 2017 (UNGRD, 2023) implementa una serie de procesos constructivos, teniendo aumento en la demanda de materiales para las diferentes áreas de las obras civiles. De esta manera es de importancia contar con fuentes de extracción autorizadas y con información de las propiedades físico mecánicas del material, que sean específicas y técnicas logrando ser de utilidad para la construcción.

En Mocoa, los sitios permitidos para la extracción de materiales son limitados y se autorizan en función del cumplimiento de requisitos ambientales y mineros, no necesariamente por la calidad del material. la alta demanda de material, junto con la escasez de lugares permitidos para la extracción, hace que la oferta sea costosa. Además, la información sobre el material en los puntos de extracción autorizados es escasa o desconocida, lo que genera incertidumbre sobre el tipo de material disponible, sus aplicaciones y su optimo uso.

Por lo tanto, es fundamental realizar un diagnóstico técnico y llevar a cabo investigaciones en laboratorio para identificar las propiedades mecánicas y físicas del material de arrastre del rio Mulato. Con esta identificación, es mas probable que se pueda iniciar el proceso de legalización

de más puntos de extracción en estos sectores, lo que contribuiría a satisfacer la demanda de los constructores locales y reduciría los costos de los agregados necesarios para los proyectos de construcción en Mocoa.

3. Formulación del problema

¿El material de arrastre de la cuenca del río mulato es apto para el aprovechamiento en obras civiles?

4. Justificación

El aumento de la demanda de material de arrastre debido a los procesos urbanos y la construcción de infraestructuras requiere una evaluación del potencial de aprovechamiento de estos recursos en cumplimiento de la normatividad vigente y considerando las condiciones de la dinámica fluvial y las propiedades físicas y mecánicas. Para ello, se realiza la caracterización de los materiales de arrastre de las fuentes hídricas, lo cual resulta fundamental para identificar si el material es adecuado para su implementación en obras civiles.

El conocimiento de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales de arrastre permite a los ingenieros diseñar estructuras seguras y duraderas, además de prever posibles problemas durante la construcción. Estas propiedades varían dependiendo de la ubicación geográfica, la geología y las condiciones hidrológicas, por lo que es esencial conocerlas para seleccionar el material adecuado y evitar costos adicionales en la construcción y mantenimiento de las obras.

Así pues, la caracterización de los materiales de arrastre y el conocimiento de sus propiedades físicas y mecánicas son fundamentales para la selección adecuada del material y el diseño óptimo de las obras civiles. Esto contribuye a disminuir costos, evitar daños y deterioros, y garantizar un funcionamiento seguro, cómodo y económico de las estructuras y mantenimiento de las infraestructuras viales.

5. Objetivos

5.1. Objetivo general

Identificar las propiedades físicas y mecánicas del material transportado del río Mulato ubicado en el municipio de Mocoa, para aprovechamiento en obras civiles.

5.2. Objetivo específico

- Identificar la zona de estudio para la extracción de toma de muestra.
- Clasificar mediante ensayos de laboratorios las propiedades físico – mecánica del material transportado del río Mulato.
- Interpretar los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorios de acuerdo a la normativa existente.

6. Antecedentes

Vélez, Mora, Pacheco, & Pinzón (2021), establece que los materiales de arrastre se convierten en la principal fuente de materia prima para las obras civiles, generando áreas de aprovechamiento para la industria constructoras, y con ello el desarrollo socio económico de un municipio, ciudad o país que va genera de los recursos naturales que le brinda la extracción de material de arrastre, en esta revista de la Agencia Nacional de Minería nos menciona que los materiales son insumos para el crecimiento local que va en pro del crecimiento y desarrollo municipal.

Caracterizar el material de arrastre es importante para garantizar que el agregado sea el idóneo, el cual se requiere de un estricto control de calidad nos conlleva a avalar que el material seleccionado sea obrando de manera satisfecha al mantenimiento de red terciaria, en la tesis de trabajo de grado de Carofilis & Hidalgo (2013), nos recomienda que la exigencia de un buen control de calidad se basa en no tener riesgo y pérdidas que afecten a un grupo de personas para eso se tiene que basar en ensayos que nos permite evaluar el requerimiento de lo que queremos lograr obtener con el material extraído.

Ramírez, García, Ramírez, y Bocanegra (2011), en su artículo caracterización de los materiales del lecho del Río Cauca, se refiere a las riquezas natural de los ríos en donde se puede encontrar partículas finas como arcillas y limos, piedras y rocas de pequeños a grandes tamaños. El cual permite una caracterización idónea del material de río para la obtención de información valiosa en estudios como hidráulicos, morfológicos, ambientales y sedimentológicos. Que podemos desarrollarlo mediante zonas para la obtención de muestreo, procedimiento de la información recolectada y el análisis de resultados para el mantenimiento de las vías terciarias.

En el trabajo investigativo de Novoa, Augusto y Montejo (2012), se da la caracterización de los materiales de cantera de California de Davis Carvajal en la zona alta de Magdalena y la ribera del río Coello del municipio de Girardot, donde se efectúa las características físicas de un material del río para utilizarlo en obras de ingeniería de los municipios de Girador y Coello, se realiza ensayos de laboratorios como: granulometría, CBR, dureza, desgaste de la máquina de los Ángeles, humedad e índice de plasticidad de acuerdo a la normativa vigente para Colombia del Instituto de INVIAS el cual se concluye que es un material apto para la preparación de bases y subbases granulares.

Jojoa (2007), instituye estrategias que mejoran la extracción minera y ambiental del material de arrastre en el río San Jorge en el municipio de Colón, haciendo una evaluación en campo de los impactos derivados de la explotación de material para el respectivo aprovechamiento y beneficio para el desarrollo de los asentamientos humanos.

7. Marco de referencia

7.1. Marco teórico

Los agregados son materiales que pueden ser extraídos directamente de la naturaleza, por ello se hace importante conocer y evaluar sus propiedades en cuanto durabilidad, densidad y funcionalidad.

Desde una perspectiva visual de tamaño, los agregados se pueden clasificar en dos grupos que son: los agregados finos; que consisten en arenas naturales con tamaños que varían desde los 5 mm hasta 0.060 mm y los agregados gruesos que cuyas partículas son mayores de 5mm hasta 125 mm.

7.1.1. *Geología del río Mulato.*

Para el conocimiento de la geología del río Mulato se toma como base la cartografía litológica y tectónica de la zona generada en la plancha 430 de Mocoa de 2002, a escala 1:100.000 por el IGAC (2003) e INGEOMINAS. Se complementa la información con la cartografía del Servicio Geológico Colombiano, Mapa Unidades Geológicas Superficiales Mocoa, putumayo a escala 1:5.000, en el proyecto Zonificación de la amenaza en el área urbana, periurbana y de expansión (2017).

7.1.1.1. Origen. La cuenca del río Mulato se sitúa en dirección oeste este presentado diferente densidad de drenaje, la fuente comprende rasgos de edades poniendo en contacto con rocas ígneas intrusivas con rocas sedimentarias de ambientes fluviales. La formación de las rocas se expone a través de fenómenos geológicos de la naturaleza que han sucedido, explicando las modificaciones que surgen en la corteza terrestres,

determinadas en el interior de la corteza hasta las provocadas por ambientes atmosféricos.

Los agregados gruesos se pueden clasificar en rocas eruptivas (roca ígnea), sedimentarias y metamórficas. Las rocas eruptivas están en la consolidación de magma, en el seno de la corteza terrestre. Las sedimentarias se originan en el asentamiento de restos de otras rocas y la metamórficas en la transformación o cambio sufrido por rocas ya existente.

7.1.1.2. Tipos de suelos. Para determinar el material como suelo clasificado es necesario tener un sistema de evaluación de las propiedades del material granular, en este caso se tiene la AASHTO o SUCS.

- **Gravas:**

Varían con un tamaño de partículas de 125 mm a 4.75 mm.

- **Arenas:**

Comprendidas entre los tamaños de 4.75mm y 0.075 mm.

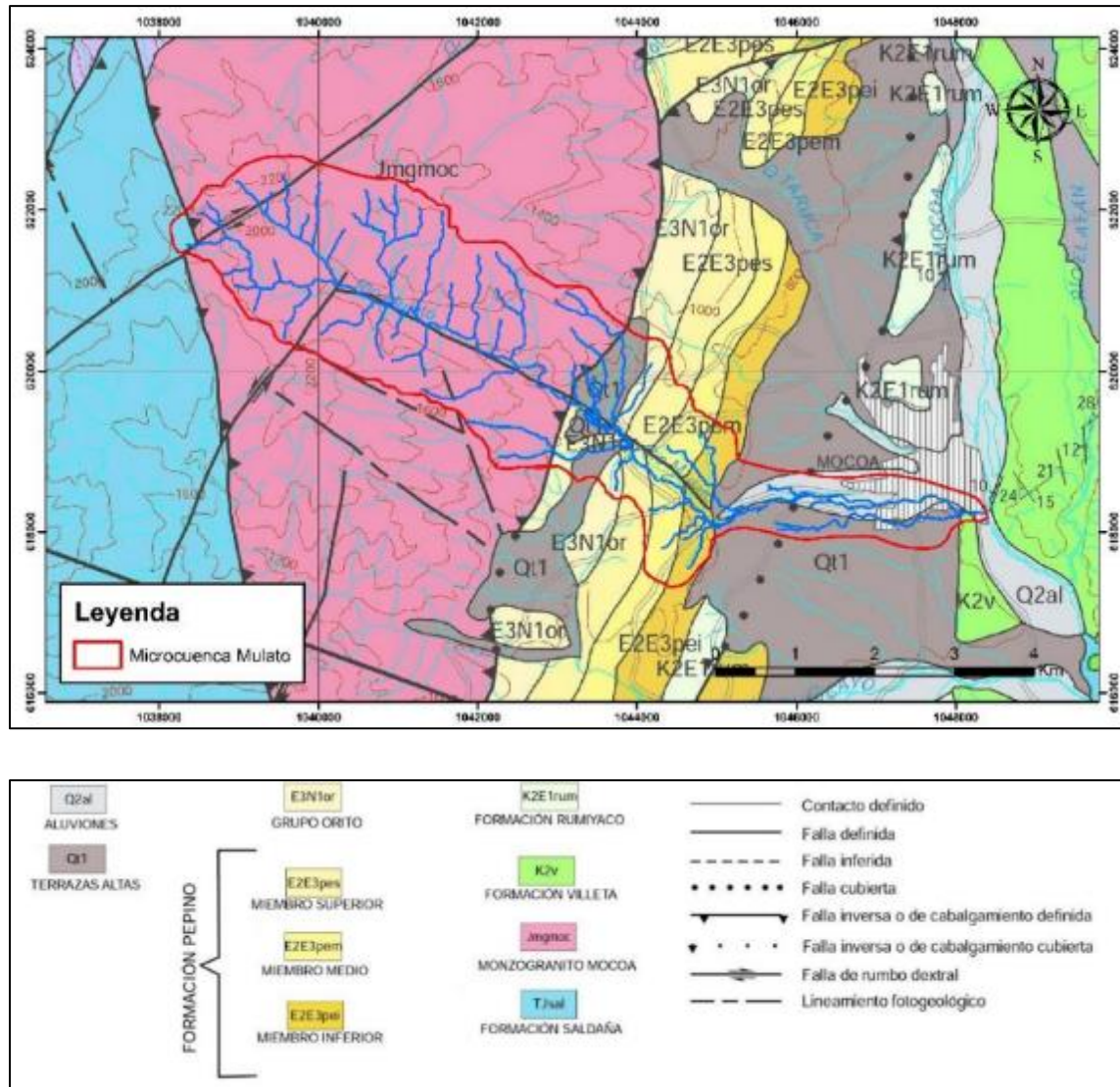
- **Limos:**

Lo compone las partículas que van desde los 0.075 mm y 0.002 mm.

- **Arcillas:**

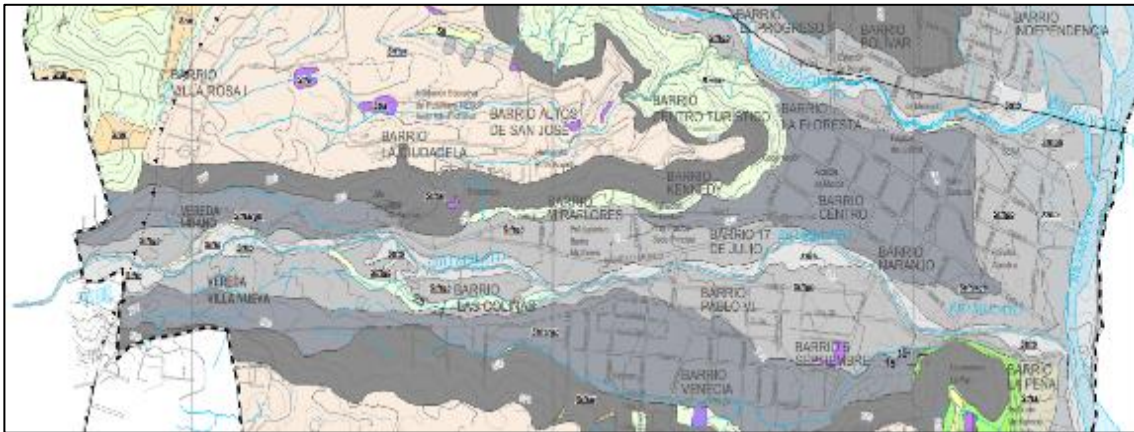
Este material es formado con tamaños inferiores a los limos 0.002mm. Este tamaño se trata ya de partículas tipo gel.

Figura 1. Unidades de formación geológica cuenca Mulato



Fuente: Mapa geológico de la plancha 430-Mocoa SGC (2002). Adoptado de Corpoamazonia y Universidad Nacional de Colombia sede Amazonia, acotamiento de la ronda hídrica el río Mulato en Mocoa Putumayo, (2018).

Figura 2. Unidades geológicas del área urbana, periurbana y expansión Mocoa Putumayo sobre el río Mulato.



Origen/Tipo		Nombre Unidad	Nomenclatura
Transportados	Suelos Fluviotorrenciales	Suelo transportado fluviotorrencial clasto soportado de bloques.	Stftb
		Suelo transportado fluviotorrencial clasto soportado de gravas y bloques	Stftgb

Fuente: Servicio Geológico colombiano. (2017). Mapa de unidades Geológicas Superficiales.

Mocoa Putumayo. Proyecto: Zonificación de la amenaza. Dirección de Geoamenazas. Grupo de trabajo Evaluación de amenazas por movimiento en masa. Bogotá.

7.1.2. Unidades geológicas

7.1.2.1. Monzogranito Mocoa (Jmgmoc). Cuerpo ígneo intrusivo de composición de monzogranitos variado a granito, granodiorita, cuarzomonzonita, cuarzodiorita y monzodiorita (figura 1).

7.1.2.2. Formación pepino (E2E3pe). Es una secuencia sedimentaria de origen fluvial. Se divide en tres miembros: miembro inferior (E2E3pei) compuesto por conglomerados polimíticos clastosoportados, junto con litoarenitas y capas gruesas de lodolitas. El miembro intermedio (E2E3pem), constituido por arcillolitas de grano medio. El miembro superior (E2E3pes) predominan los conglomerados polimicticos granosoportados en litoarenitas, intercalados con arenitas. (Figura 1).

7.1.2.3. Terrazas altas (Qt1). Son depósitos fluviales, consta de gravas y arenas. Se presenta como depósitos aterrazados de composición heterogénea. (figura 1).

7.1.2.4. Suelos fluviotorrenciales (figura 2). Son suelos transportados, que tiene depósitos heterogéneos y depositados durante eventos fluviotorrenciales de gran magnitud en diferentes periodos de tiempo.

7.1.2.5. Suelo transportado fluviotorrencial clasto soportado de bloques (Stftb). Son depósitos de flujo de detritos compuesto por bloques de monzogranito con tamaños promedio de 0.50 a 0.80 m de diámetro, con formas subangulares a sub redondeadas. Se compone de líticos graníticos y rocas sedimentarias, por lo general son de color gris claro, presenta tamaños de arena gruesa a grava. (Figura 2).

7.1.2.6. Suelo transportado fluviotorrencial clasto soportado de gravas y bloques (Stftgb). Depósitos subrecientes compuesto por cantos y bloques de monzogranito, cuarzomonzonita y granito, con tamaños que varían desde los 20 cm hasta los 6 m de diámetro, de formas subredondeadas a subangulares de color gris. Predominan las gravas gruesas y en menor proporción arena gruesa. (Figura 2).

La conformación de la geología de la microcuenca es de monzogranito y la dacita, el cual el monzogranito se deriva el granito, donde su composición mineralógica es el cuarzo y feldespatos. En el cual está conformada por granos de tamaño arena media gruesa, con formas angulares a subangulares con esfericidad media, permeabilidad alta, y plasticidad baja. Los cuales son ideales como piedra de construcción de obras, ya que es un material que garantiza la durabilidad de la construcción y prolonga su vida útil. (IGAC, 2018).

La composición de la roca ígnea de dacita se deriva la andesita, el cual su composición mineral esta entre el granito y basalto. Donde es utilizado como material de construcción. (Geotecnia, 2018)

7.2.Marco conceptual

Los materiales pétreos son de importancia para el uso de los diferentes procesos constructivos que se desea realizar. Estos materiales son provenientes de rocas que han sido transportadas ha depósitos heterogéneos mediante eventos de flujo de detritos. Por muchos años y hasta la actualidad el humano ha venido adquiriendo aprovechamiento de los materiales granulares tanto en usos constructivos, como para su propio beneficio social y económico.

Los agregados como las gravas, arena y el granito hacen parte de los materiales pétreos naturales, siendo utilizados en construcción de muros; caso de las gravas, la arena en la elaboración de concretos y morteros para la unión de ladrillos y revestimientos, el granito para el diseño de interiores, constituyen parte fundamentales al momento de realizar cualquier tipo de obra civil. Así mismo el material granular que se puede obtener a través de estos agregados es utilizado para la composición de bases, subbases y mantenimiento de vías en afirmado.

Se realizarán tomas de muestras para la caracterización de materiales en diferentes puntos del río Mulato del municipio de Mocoa en el departamento de Putumayo, Colombia. Para toda obra de construcción donde sea útil y según el uso dado al material es necesario conocer la propiedades físicas y mecánicas, logrando así unas especificaciones técnicas y un control de calidad, para llevar a cabo este análisis se realizan ensayos de laboratorio establecidos por normas como; INVIAS y NTC, obteniendo resultados de estudios de densidad, humedad, desgaste, dureza, granulometría, durabilidad y resistencia del material.

Al realizar los ensayos se logrará obtener información del material de los tres puntos, la información indicará las propiedades física y mecánicas del material, información que podrá ser comparada con las normas vigentes e identificar si está dentro de los parámetros y las especificaciones técnicas según el cual sea el uso.

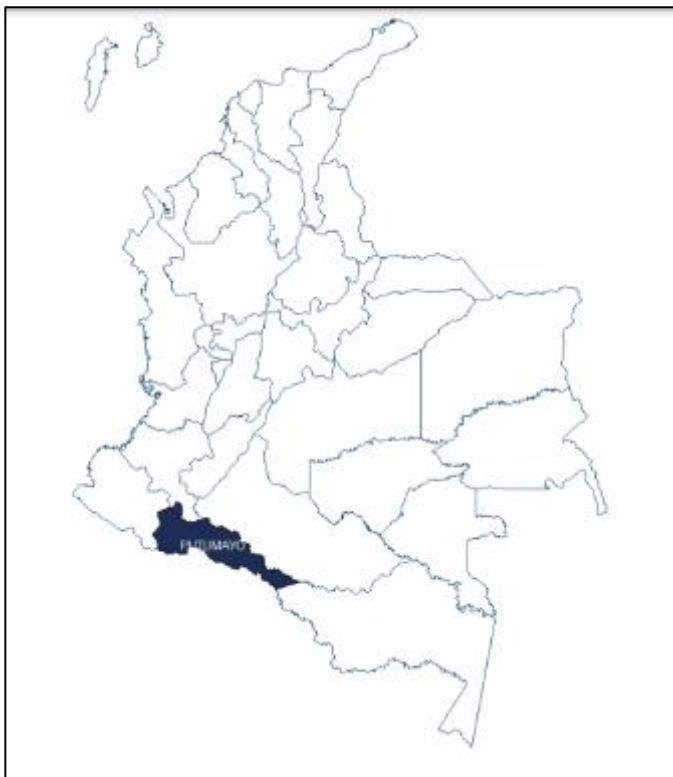
7.3.Marco contextual

Este proyecto tiene como objetivo la caracterización de material de arrastre, para lograr identificar las propiedades físico-mecánicas de los agregados, la toma de las muestras se hará en tres diferentes puntos exigidos por la norma, de la cuenca hidrográfica llamada Río Mulato en la parte media y baja, ubicada en el municipio de Mocoa, departamento del Putumayo con coordenadas en Punto 1 $1^{\circ}08'44.19''$ N $76^{\circ}39'39.10''$ O Punto 2 $1^{\circ}08'42.28''$ N $76^{\circ}40'1.58''$ O y Punto 3 $1^{\circ}08'34.86''$ N $76^{\circ}40'27.20''$ O. Se logra la ubicación de coordenadas por medio del atlas geológico suministrado por el servicio geológico colombiano (SGC), el municipio de Mocoa se encuentra en la plancha 430 y Google earth.

7.3.1. Localización Putumayo Colombia

El departamento del putumayo queda ubicado en el sur del país de Colombia en la región de la Amazonía, el cual limita por el Norte con los departamentos Cauca y Caquetá, por el Sur con las repúblicas de Ecuador y Perú, por el Oeste con el departamento de Nariño y por el Este con el departamento del Amazonas. (GOV.CO, 2020).

Figura 3. Localización Putumayo, Colombia

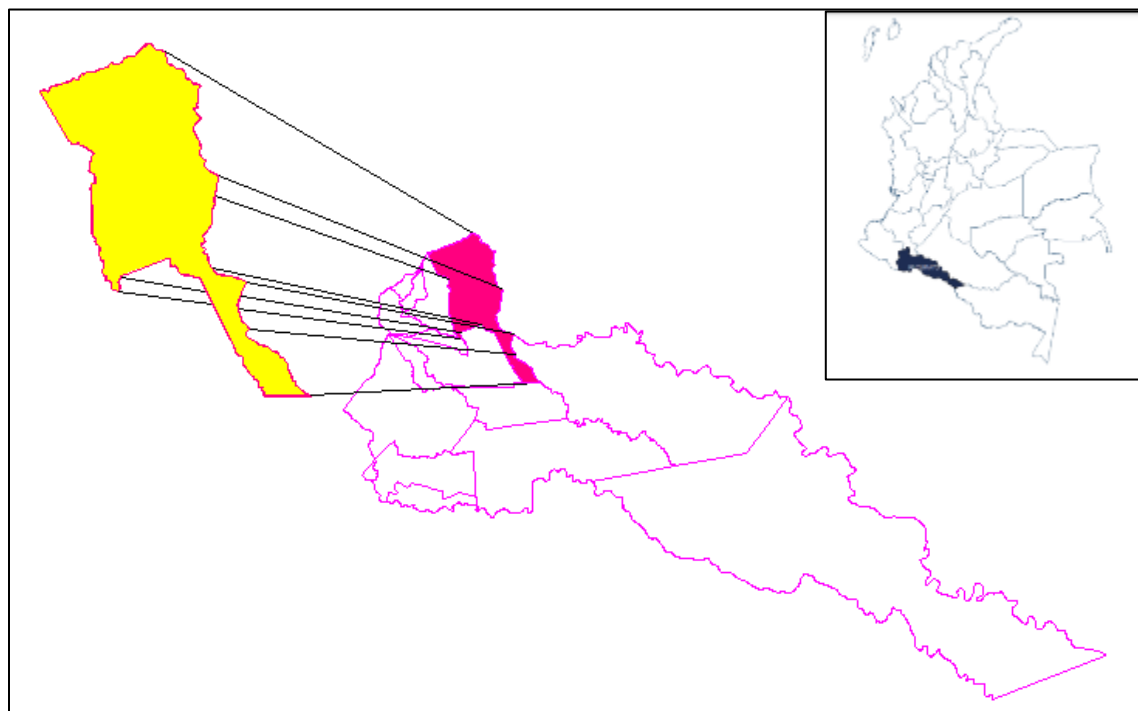


Fuente. Fedesarrollo, (2017). Recuperado de https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/3509/Repor_Septiembre_2017_Martinez_y_Delgado_Putumayo.pdf?sequence=4&isAllowed=y

7.3.2. Ubicación Mocoa Putumayo

La ciudad de Mocoa hace parte de los 13 municipios del Putumayo, además que es reconocida como la capital, Mocoa limita al norte con el municipio Santa Rosa (Cauca) y el municipio del Tablón (Nariño), por el oriente municipio de santa Rosa y Piamonte del departamento Cauca y el municipio de Puerto Guzmán, por el sur limita con el municipio de Puerto Caicedo y por el occidente la desembocadura del Rio Blanco al rio Putumayo. (GOV.CO, 2020).

Figura 4. Localización Mocoa, Putumayo.



Fuente. Alcaldía Mocoa Putumayo (2000). Recuperado de
https://www.bibliocad.com/es/biblioteca/mapa-municipio-de-mocoa-putumayo-colombia_23994/

7.3.3. Ubicación área de estudio Rio Mulato

El río Mulato tiene su nacimiento en la parte alta del piedemonte amazónico en jurisdicción de la vereda Las Palmeras¹. En la cuenca alta predominan bosques naturales con poca intervención antrópica debido a las altas pendientes. En la parte media se sitúa asentamientos humana con intervención antrópica donde se sitúan en viviendas rurales. La parte baja se sitúa en la zona peri urbana de Mocoa con asentamientos humanos ubicados cerca de la fuente hídrica.

¹ UNGRD. Disponible en: Documento-Diagnostico socio territorial de las microcuencas de los ríos Mulato y Sangoyaco del municipio de Mocoa Putumayo (2018)

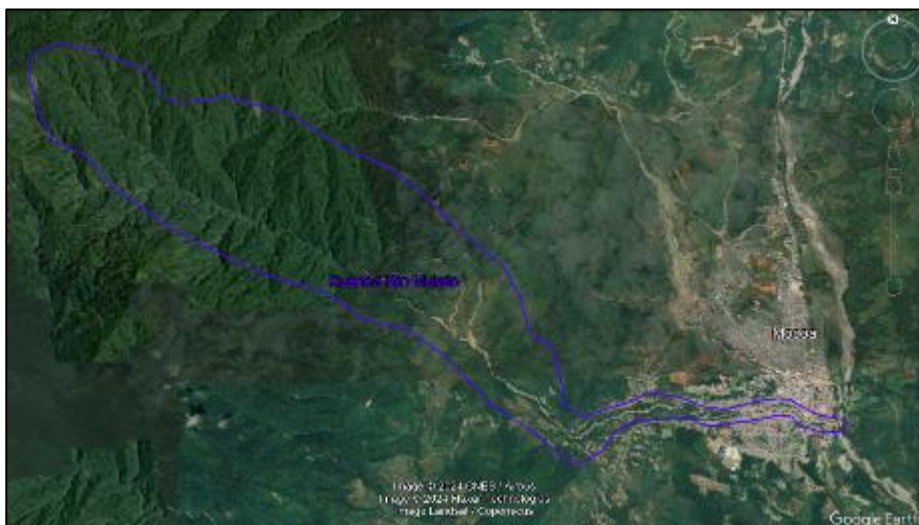
La cuenca del río Mulato limita al norte con la fuente hídrica del río Sangoyaco al sur con la cuenca del río Rumiayaco². Para el presente estudio la ubicación para la extracción del material de arrastre se sitúa en el municipio de Mocoa en el río Mulato entre la parte media y baja de la fuente hídrica, en tres puntos diferentes con las siguientes coordenadas que muestra la figura:

Figura 5. Coordenadas de los puntos de extracción en el río Mulato.

Punto	Coordenada Norte	Coordenada Oeste
Punto 1	1°08'35.11"	76°40'27.10"
Punto 2	1°08'18.63"	76°39.1'1.09"
Punto 3	1°08'41.69"	76°39'9.25"

Fuente. Presente estudio.

Figura 6. Localización río Mulato, Mocoa.



Fuente. Google earth ®.

7.4. Marco legal

Para lograr la evaluación de las características físicas y mecánicas del material de arrastre se rigen bajo normas legales establecidas en Colombia bajo Leyes, Resoluciones y decretos, así

² CORPOAMAZONIA Acotamiento de la ronda hídrica del río Mulato en el municipio de Mocoa.

mismo la normativa vigente como las normas de ensayo de laboratorios INV E del Instituto Nacional de Vías para materiales granulares que son extraídos de cuerpos de agua y la caracterización de dichos agregados.

Tabla 1. Normas legales establecidas en Colombia: Leyes, Resoluciones, decretos y normas de ensayo INVIAS.

Ley	Año	Descripción
Ley 685	2001	Código de Minas: Establece el marco legal para la exploración, explotación, aprovechamiento y beneficio de los recursos minerales del país.
Resolución 1320	2018	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: Regula la extracción de material de arrastre como (grava y arena) en los cuerpos de agua, incluyendo los requisitos para obtener los permisos y autorizaciones necesarios, con el fin de proteger el medio ambiente y garantice una gestión sostenible de los recursos naturales.
Resolución 180102	2018	Ministerio de Minas y Energía: Es una guía de explotación de materiales pétreos como grava y arena. Establece las directrices técnicas para la exploración, evaluación y explotación de los materiales pétreos.
Resolución 2090	2014	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: Es una guía que establece medidas para prevenir y controlar los impactos ambientales de la explotación de materiales de arrastre, con el objetivo de minimizar su impacto ambiental y garantizar su uso sostenible en el desarrollo de infraestructura.
Acuerdo N° 028 por medio del cual se	2008	El plan básico de ordenamiento territorial (PBOT) es la herramienta primaria para la planificación del desarrollo

ajusta, complementa y adopta el Plana Básico de Ordenamiento Territorial para el municipio de San Miguel de Agreda Mocoa		de una comunidad, con carácter técnico y político. La planificación física, socioeconómica y ambiental del municipio de Mocoa se integran en el plan de desarrollo territorial
Normas De Ensayo		
Norma	Año	Descripción
INV E 201-13	2013	Muestreos de agregados para construcción de carreteras.
INV E 202 – 13	2013	Reducción del tamaño de las muestras transportadas. Presenta métodos para la disminuir el tamaño de muestras voluminosas de agregados.
INV E 122-13	2013	Determinación en el laboratorio del contenido de agua (Humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado.
INV E 133 – 13	2013	Equivalente de arena de suelos y agregados finos. Es un método para determinar la proporción del contenido del material arcilloso presente en los agregados finos, con el fin de establecer una correlación rápida en el campo.
INV E 211 - 13	2013	Determina los terrones de arcilla y partículas deleznable en los agregados
INV E 213 – 13	2013	Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino. Este método tiene el propósito de cuantificar la distribución de los tamaños de partículas presentes en los agregados gruesos y finos mediante el uso de los tamices.

INV E 214 -13	2013	Determinación de la cantidad de material que pasa el tamiz N° 200 en los agregados pétreos mediante lavado.
INV E 217-13	2013	Densidad bulk y porcentaje de vacíos del agregado grueso en estado suelto y compacto.
INV E 218-13	2013	Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 1/2") por medio de la Máquina de los Ángeles. Determina la resistencia del material grueso al desgaste por abrasión.
INV E 222 – 13	2013	Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino.
INV E 223 - 13	2013	Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso.
INV E 227-13	2013	Porcentaje de caras fracturadas en un agregado grueso.
INV E 230-13	2013	Índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados para carreteras.

Fuente. Presente estudio

8. Diseño metodológico

8.1. Tipo de estudio

Para llevar a cabo esta investigación se utiliza una metodología mixta, que combina la investigación documental y experimental. En la investigación documental se realiza la literatura sobre el tema de caracterización del material de arrastre en fuente hídricas, como informes técnicos, artículos científicos, normativa vigente, entre otros.

En la investigación de campo se efectúa con enfoque experimental, se realizan los muestreos de la fuente hídrica del Mulato, para la evaluación de su estado físico mecánico y los impactos generados por la explotación de las mismas. Esta metodología es un proceso experimental para la realización de ensayos en laboratorios para observar en campo el comportamiento natural o un problema específico, con los resultados que se obtiene se acepta o se rechaza la hipótesis de acuerdo al planteamiento del problema ya descrito.

En la realización de este trabajo se describe cómo se va a desarrollar el trabajo investigativo en diferentes procesos para así analizar las características del material de arrastre del río Mulato por medio de ensayos para la respectiva obtención de datos.

Para esto se contará con diferentes etapas que van encaminadas junto con los objetivos que a la vez se distribuyen en actividades para alcanzar la meta propuesta. En el desarrollo de los objetivos específicos se tiene en cuenta las variables para los valores típicos para la caracterización del material. Estas variables son características o propiedades que son medios que pueden ser medidos, observados o categorizados, de las cuales se clasifican en dos cualidades: cualitativas y cuantitativas.

Las variables cualitativas se refieren a características que no pueden ser medidas numéricamente, sino que se describen mediante categorías. Está a la vez puede ser nominales

que son aquellas en que las categorías no tienen un orden lógico u ordinales que son aquellas en las que las categorías tienen un orden lógico. Como el tipo de material de arrastre, forma de las partículas y textura del material.

Las variables cuantitativas pueden ser medidas numéricamente y se expresan en términos de cantidad, tamaño, porcentaje, volumen o valor. Como la densidad, granulometría y la resistencia a la degradación.

8.2. Validez y confiabilidad de la investigación.

Es fundamental para garantizar que los instrumentos de recolección de datos y la información recopilada sea precisa a la hora de obtener los resultados y realizar un análisis. La validez garantiza que los resultados de la investigación sean verdaderos y representativos, mientras que la confiabilidad asegura que estos resultados sean conscientes y replicables. Existe rangos de valores de confiabilidad según el propósito que tenga el documento, Murphy y Davishofer (en Hogan, 2004) señalan que la confiabilidad alrededor de 0.90 es un nivel elevado de confiabilidad, lo suficientemente buena para cualquier propósito de investigación.

Se determina el nivel de confianza de acuerdo con el cálculo del tamaño de una muestra finita con la siguiente fórmula tomada de Aguilar-Barojas, (2005):

$$n = \frac{Z^2 * P * q}{e^2}$$

Donde:

n: Tamaño de la muestra buscado.

Z: Parámetro estadísticos que depende el nivel de confianza.

P: Probabilidad de que ocurra el evento estudiado.

q: Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado.

e: Error de estimación máximo aceptado.

Para el cálculo del tamaño de la muestra es necesario que se cumpla condiciones como el nivel de confianza deseado (z) y el nivel de precisión como la probabilidad de ocurrencia de un evento y el error estimado. Se calcula como una muestra infinita, ya que el tamaño de la muestra se aproxima a una distribución normal estándar y se puede aplicar métodos basados en esta distribución, como el uso de los valores Z críticos.

En resumen, el cálculo del tamaño de la muestra infinita es conocido como un concepto teórico que se refiere a la situación en la que el tamaño de muestra es lo suficientemente grande como para que se aplique métodos estadísticos que requieren una distribución normal.

Para el nivel de confianza deseado (Z) el grado de certeza según Aguilar-Barojas (2005), determina que en el tamaño de la muestra entre cuanto sea mayor el nivel de confianza deseado, mayor será el número de sujetos requeridos.

Para la fórmula de muestreo infinita se recomienda que p y q se trabaje con 50%, debido a que no existe antecedente de estas muestras, y con un porcentaje de error que va del 1 al 10%, dependiendo del nivel de confianza escogido. Una vez conocida la fórmula de muestra infinita se sustituye los valores para un nivel de confianza elegido.

Para fase de caracterización de esta investigación se proyectó 14 ensayos de laboratorios establecidos en la norma invias, se establece como nivel de confianza al 94% con los siguientes valores:

Tabla 2. Variables para el cálculo del tamaño de la muestra.

Nivel de confianza Z	Z	Z^2	$E = \text{error } \%$	$E = \text{error}$	P	Q	$Q \%$	Q
94%	1.88	3.5344	6%	0.6	50%	0.5	50%	0.5

Fuente. Presente estudio.

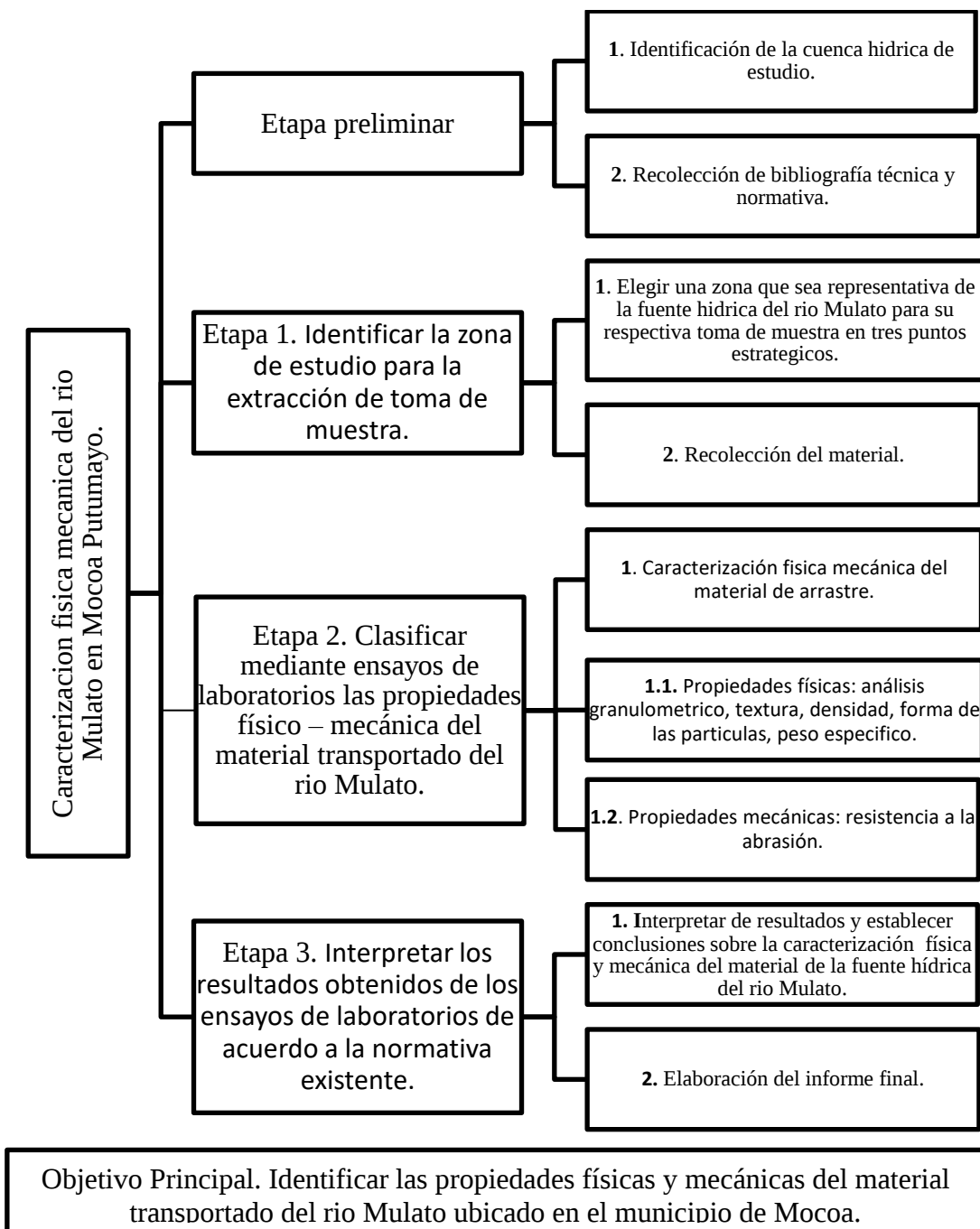
Tanto para el tamaño de los agregados finos y gruesos se obtiene que el resultado de $n=254$. Si se tiene en cuenta que estos son muestras para los ensayos que se toma en tres puntos estratégicos de la muestra poblacional se obtiene un n : de 81. A esto se le divide por el número de los ensayos propuestos por lo que las repeticiones por cada muestra y ensayo seis veces, es decir se realiza seis repeticiones por cada ensayo que cumple con la fase de caracterización.

Un nivel de confianza del 94% implica que, si se repitiera el proceso de muestreo y ensayos de laboratorios una y otra vez, el 94% de las veces el intervalo de confianza resultante contendría el verdadero valor del parámetro poblacional. Una mayor confianza en el porcentaje de confianza significa que estamos más seguros de que el proyecto capture el verdadero valor.

8.3.Descripción de etapas

Las etapas que se van a ejecutar para el proyecto de investigación son las siguientes:

Figura 6. Esquema de etapas metodológicas.



Fuente. Presente estudio.

8.3.1. Etapa de preliminares

En esta etapa se realiza la identificación de la zona de estudio, la recolección de bibliografía y normatividad existente acerca de la caracterización de material de arrastre estipuladas en el marco normativo. Así mismo se recopila información sobre las técnicas de caracterización física mecánica de material de arrastre, mediante la consulta de bases de datos, libros, artículos científicos, informes técnicos, documentación en línea libre de acceso y proyectos de posgrados.

8.3.2. Etapa 1. Recolección de la toma de la muestra del material transportado por el río Mulato

8.3.2.1. Fase 1.1. Elegir una zona que sea representativa de la fuente hídrica del río

Mulato para su respectiva toma de muestra. En esta fase se realiza la exploración para la recolección de muestra del material de arrastre; se basa en las variables cualitativas y cuantitativas por medio de visitas de campo permitiendo la observación directa del terreno para una mejor inspección visual en el río Mulato, logrando así la ubicación exacta por medio de medios digitales como el GPS, Google earth ® y SIG ®.

Se contempla la información geológica de la cuenca hidrográfica para determinar la mejor zona del afluente para la extracción de las muestras del material de sedimentación del río Mulato para la realización y desarrollo de los ensayos que correspondan.

Se escogen tres puntos para la extracción del material para la toma de muestras en las coordenadas que se han definido como punto de referencia 1, punto de referencia 2 y punto de referencia 3 en la parte media y baja de la cuenca del río Mulato.

Tabla 3. Ubicación puntos para la extracción de muestras.

Punto	Coordenada Norte	Coordenada Oeste
Punto 1	1°08'35.11"	76°40'27.10"
Punto 2	1°08'18.63"	76°39.1'1.09"
Punto 3	1°08'41.69"	76°39'9.25"

Fuente. Presente estudio.

8.3.2.2.Fase 1.2. Recolección de la muestra. Una vez identificado los puntos de referencia más aptos para la extracción del material se proceder a recoger las muestras en campo. Para ello se cuenta con equipos adecuados para dicha labor como lo es: pala y sacos para la recolección y almacenamiento del material. Para luego ser trasladada y sometida a los ensayos en laboratorio. Para ello contamos con la norma INV E 202-13 para la reducción del tamaño de muestras y realizar el cuarteo en campo para llevar muestras representativas al laboratorio del Instituto Tecnológico del Putumayo.

8.3.2.2.1.1. Reducción del tamaño de las muestras transportadas. INV E 202 – 13. Esta norma describe los procedimientos para reducir las grandes muestras aglomeradas a un tamaño adecuado para las diferentes pruebas que deben realizarse, mientras intenta minimizar las diferencias en las características medidas entre las muestras seleccionadas de la misma muestra de gran volumen. La norma describe los procedimientos para reducir una gran muestra de campo a un tamaño adecuado para llevar a cabo pruebas descriptivas de materiales y determinar su calidad, de modo que la porción más pequeña sea representativa y, por lo tanto, del total del material. Se lleva a cabo el procedimiento por el método B que se refiere al cuarteo manual de muestras de agregados.

Punto 1,2 y 3.

Figura 7. Formación de la pila cónica.



Figura 8. Cuarteo.



Fuente. Presente estudio.

Figura 9. Reducción de la muestra.



Figura 10. Recolección de la muestra.



Fuente. Presente estudio.

8.3.3. Etapa 2. Ensayo de laboratorio para la caracterización físico – mecánica del material transportado del rio Mulato.

En la siguiente etapa se realizará los ensayos de acuerdo a la normativa de INVIAS para obtener resultados confiables y procesos estandarizados.

8.3.3.1.Fase 2.1. Caracterización física y mecánica del material. En esta fase se efectúan los ensayos de laboratorio respectivos estipulados en la norma de ensayo INV E del Instituto Nacional de Vías y la NTC. Realizar un análisis de las propiedades físico mecánico del material de arrastre de la fuente hídrica del Mulato, es de importancia ya que, permite conocer las características y propiedades lo cual es útil para saber su uso de aplicación como materiales de construcción en infraestructura vial.

Como fases de caracterización se tiene los siguientes ensayos:

- Contenido de humedad.
- Equivalente de arena de suelos y agregados finos.
- Terrones de arcillas y partículas deleznales.
- Análisis granulométrico por tamizado.
- Densidad bulk y porcentajes de vacíos del agregado fino en estado suelto y compacto.
- Densidad bulk y porcentajes de vacíos del agregado grueso en estado suelto y compacto.
- Densidad, densidad relativa y absorción del agregado grueso.
- Densidad, densidad relativa y absorción del agregado fino.
- Porcentajes de caras fracturadas.
- Índice de aplanamiento y alargamiento.

- Resistencia al desgaste de los agregados pétreos por medio de la máquina de los Ángeles.

A continuación, se da a conocer los ensayos de laboratorio para la caracterización física mecánica del material de arrastre del río Mulato, realizados bajo la norma INVIAS. Para los siguientes ensayos se realiza 6 repeticiones de cada uno; tanto para agregados gruesos como para agregados finos de cada punto en el cual fue extraído el material de los tres puntos escogidos para esta investigación.

8.3.3.1.1. ***Equivalente de arena de suelos y agregados finos. INV E 133-13.*** Es un método para determinar la proporción del contenido del material arcilloso presente en los agregados finos, con el fin de establecer una correlación rápida en el campo, es decir, cuanta arena pasa a través de una malla en comparación con el material total, lo que proporciona información sobre la calidad y la limpieza del material utilizado en construcción.

El equivalente de arena determina la cantidad relativa de material arcilloso y fino que estén presentes en los agregados o suelos finos, siendo que, si el resultado del ensayo indica un valor alto en su porcentaje, significa que posee una cantidad baja de finos y arcillas, concluyendo que es un material adecuado para usos de obras de ingeniería.

Punto 1,2 y 3.

Figura 11. Preparación de la muestra.



Figura 12. Preparación de la solución
floculante.



Fuente. Presente estudio.

Figura 13. Vertimiento de cloruro de
calcio.



Figura 14. Agitación manual.



Fuente. Presente estudio.

Figura 15. Irrigación



Figura 16. Toma de lecturas.



Fuente. Presente estudio.

8.3.3.1.2. **Determinación de terrones de arcilla y partículas deleznables en lo agregados**

INV E 211-13. Se determina la cantidad de terrones de arcilla y partículas desintegradas presentes en los agregados utilizados en la construcción.

Punto 1, 2 y 3.

Figura 17. Material sumergido 24 horas.



Figura 18. Lavado del material de las muestras.



Fuente. Presente estudio.

Figura 19. Lavado de las muestras a través de los tamices.



Figura 20. Secado y peso de las muestras.



Fuente. Presente estudio.

8.3.3.1.3. **INV E 213-13 Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino.** Este ensayo tiene por objetivo determinar cuantitativamente la distribución los tamaños de las partículas de los agregados grueso y finos, mediante tamizado.

Punto 1,2 y 3.

Figura 21. Secado del material.



Figura 22. Muestra a tamizar



Fuente. Presente estudio.

Figura 23. Tamizado manual.

Figura 24. Determinación de la masa en cada fracción.



Fuente. Presente estudio.

8.3.3.1.4. *Cantidad de material fino que pasa el tamiz N° 200 en los agregados INV E*

214-13. Se determina la cantidad de material fino que pasa a través del tamiz N° 200 en los agregados. Durante el ensayo se separan de la superficie del agregado, por lavado, las partículas que pasan el tamiz, tales como limo, arcilla, polvo de los agregados y materiales solubles en el agua.

Punto 1, 2 y 3.

Figura 25. Lavado muestra a través del
tamiz N° 4 y N°200.



Figura 26. Muestra lavada.



Fuente. Presente estudio.

8.3.3.1.5. **Densidad bulk y porcentaje de vacíos en los agregados en estado suelto y compacto INV E 217-13.** Determina el peso unitario de agregados finos y gruesos, en condición suelta o compacta, y para calcular los vacíos con base en la misma determinación.

Punto 1, 2 y 3.

Figura 27. Densidad bulk de agregado

fino en estado suelto



Figura 28. Densidad bulk de agregado

fino en estado compacto.



Fuente. Presente estudio.

Figura 29. Agregado grueso en estado

suelto.



Figura 30. Apisonamiento del agregado

grueso.



Fuente. Presente estudio.

8.3.3.1.6. **Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm**

(1/2") por medio de la Máquina de los Ángeles. Determina la resistencia del material grueso al desgaste por abrasión INV E 218-13. Este ensayo mide la degradación de un agregado pétreo con granulometría definida.

Para el ensayo es necesario separar el agregado con el peso requerido por cada tamiz, tomando en cuenta la degradación inicial, la cual debe ser la más parecida a la granulometría inicial. Para el tamaño de la muestra se realiza a través de la gradación A, como se muestra la siguiente tabla:

Tabla 4. Gradación de la muestra de ensayo (gradación A)

Granulometría de la muestra de ensayo		
Gradación A		
Pasa	Retenido	12 esf.
1-1/2"	1"	1250 ± 25
1"	3/4"	1250 ± 25
3/4"	1/2"	1250 ± 10
1/2"	3/8"	1250 ± 10
Total		5000 ± 10

Fuente. Invias 2013.

Punto 1, 2 y 3.

Figura 31. Ingreso de la muestra a la maquina de los Ángeles.



Figura 32. Ingreso de las esferas al tambor de la maquina



Fuente. Presente estudio.
Punto 2

Figura 33. Lavado por el tamiz N°12.



Figura 34. Secado y determinación de la masa



Fuente. Presente estudio.

8.3.3.1.7. **Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino**

INV E 222-13. Describe el procedimiento que se debe seguir para determinar la densidad promedio de una cantidad de agregado fino.

Punto 1, 2 y 3.

Figura 35. Secado de la muestra.



Figura 36. Prueba con el molde cónico.

Muestra superficialmente seca.



Fuente. Presente estudio.

*Figura 37. Ingreso de la muestra al
picnometro.*

*Figura 38. Eliminación de burbujas de
aire con vibrador mecánico.*



Fuente. Presente estudio.

Figura 39. Verificación de temperatura.

*Figura 40. Masa de muestra
superficialmente saturada.*



Fuente. Presente estudio.

8.3.3.1.8. *Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado*

grueso INV E 223-13. Este ensayo determina la densidad promedio, la densidad relativa y la absorción del agregado grueso.

Punto 1, 2 y 3.

Figura 41. Preparación de la muestra.



Figura 42. Secado superficialmente

seco.



Fuente. Presente estudio.

Figura 43. Peso de la muestra

Figura 44. Muestra seca.

sumergida.



Fuente. Presente estudio.

8.3.3.1.9. **Porcentaje de caras fracturadas en un agregado grueso INV E 227-13.** Se determina el porcentaje, en masa o por conteo, de partículas de un agregado grueso que tienen un número especificado de caras fracturadas.

Punto 1, 2 y 3.

Figura 45. Separación de las partículas.



Figura 46. Partículas fracturadas, no fracturadas y de frontera.



Fuente. Presente estudio.

8.3.3.1.10. **Índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados para carreteras INV E 230-13.** Se determina los índices de aplanamiento y de alargamiento de los agregados, se mide la relación entre la longitud, la anchura y el grosor de las partículas de los agregados.

Punto 1, 2 y 3.

Figura 47. Partículas clasificadas en planas y alargadas.



Figura 48. Partículas planas y largas.



Fuente. Presente estudio.

Etapa 3. Interpretación de resultados

8.3.3.2.Fase 3.1. Interpretar los resultados y establecer conclusiones sobre la

caracterización física mecánica del material de la fuente hídrica del río Mulato.

Una vez obtenido los resultados de las propiedades físicas y mecánicas de los ensayos realizados en laboratorio del material de arrastre se procede a analizarlo de acuerdo a la norma INVIAS INV E para garantizar la calidad del material en aras del aprovechamiento en obras civiles.

Los datos de cada prueba de laboratorio fueron recolectados y procesados técnicamente y analizados estadísticamente para su correcta interpretación. Además, se comparan los resultados con las normas existentes y se elaboran gráficos y tablas para su mejor interpretación, para finalmente formular conclusiones y establecer recomendaciones.

8.3.3.3.Fase 3.2. Elaboración del informe técnico final. Como última etapa de la

investigación de caracterización del material de arrastre del río Mulato, se presenta como resultado final del proceso de exploración y estudios de los diferentes ensayos realizados, la recopilación final de información teórica, normativa, metodología, ensayos de laboratorio, obtención de datos e interpretación de la tesis.

9. Resultados y discusión.

9.1. INV-E-122 - Determinación en el laboratorio del contenido de agua (Humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado.

Se calcula el contenido de agua del material con la fórmula:

$$w = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_c} \times 100 = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

Donde:

w: contenido de agua, %;

W1: Masa del recipiente con el espécimen húmedo, g.

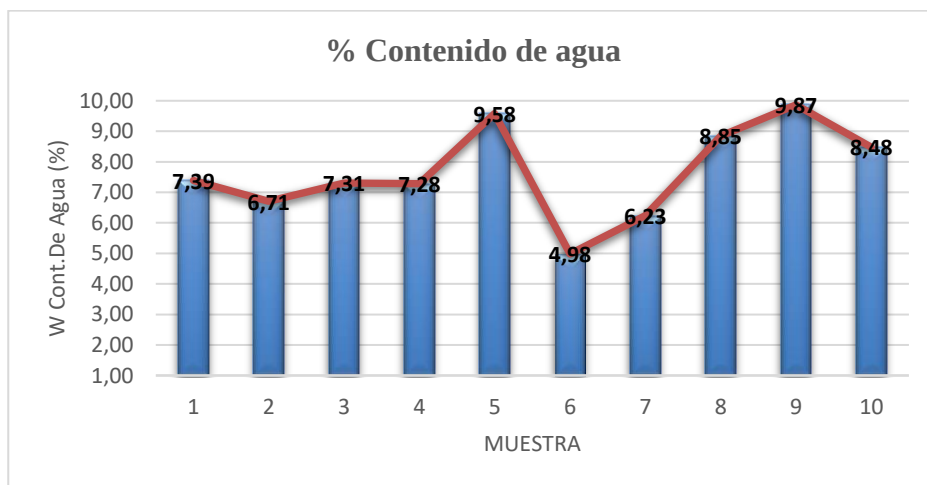
W2: Masa del recipiente con el espécimen seco, g.

Tabla. 5 INV-E-122 - Determinación en el laboratorio del contenido de agua (Humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado. Punto# 1

Determinación en el laboratorio del contenido de agua (Humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado.				Fecha		
				Muestra No.		Punto #1
				Versión		1
Descripción	Caracterización Física- Mecánica Del Material De Arrastre Del Rio Mulato De Mocoa Putumayo					
Localización	Mocoa Putumayo					
Fuente	Rio Mulato					
Coordenadas	1°08'35.11"N			76°40'27.10"O		
MUESTRA	W _{M.HUMEDO} (gr)	W _{SECA2} (rg)	W _{RECIPIENTE} c (gr)	W _s (gr)	W _w (gr)	W _{CONT.DE} AGUA (%)
#1	9430	9090	308,6	8781,4	648,6	7,39
#2	10160	9920	398,65	9521,35	638,65	6,71
#3	9250	9020	400	8620	630	7,31
#4	11170	10740	327,9	10412,1	757,9	7,28
#5	10290	9780	390	9390	900	9,58
#6	9240	9110	308,6	8801,4	438,6	4,98
#7	9350	9200	398,65	8801,35	548,65	6,23
#8	12300	11700	400	11300	1000	8,85
#9	10890	10240	327,9	9912,1	977,9	9,87
#10	10230	9820	390	9430	800	8,48
Media aritmética						7,67
Mediana						7,35
Desviación estándar						1,53
Error estándar						0,48
Valor mínimo						4,98
Valor máximo						9,87

Fuente. Presente estudio

Figura 49. % contenido humedad punto 1



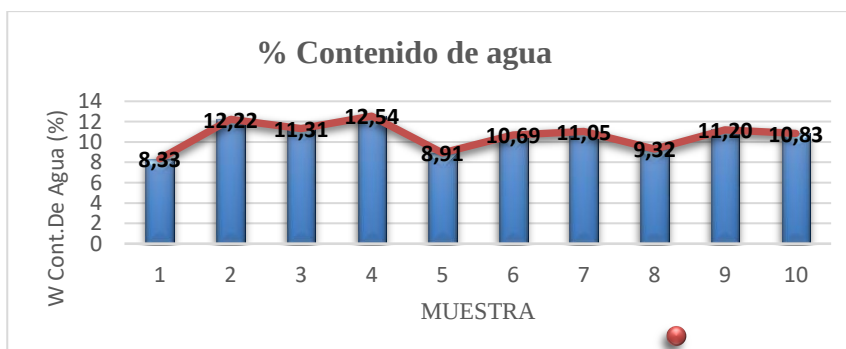
Fuente. Presente estudio

Tabla. 6 INV-E-122 - Determinación en el laboratorio del contenido de agua (Humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado. Punto #2

Determinación en el laboratorio del contenido de agua (Humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado.				Fecha		
				Muestra No.	Punto #2	
				Versión	1	
Descripción	Caracterización Física- Mecánica Del Material De Arrastre Del Rio Mulato De Mocoa Putumayo					
Localización	Mocoa Putumayo					
Fuente	Rio Mulato					
Coordenadas	1°08'18.63"N			76°39,1'1.09"O		
MUESTRA	W _{M.HUMEDO} (gr)	W _{SECA2} (rg)	W _{RECIPIENTE C} (gr)	W _s (gr)	W _w (gr)	W _{CONT.DE AGUA} (%)
#1	12760	13300	1521,7	11778,3	981,7	8,33
#2	12350	12520	1515,1	11004,9	1345,1	12,22
#3	12380	11430	307,8	11122,2	1257,8	11,31
#4	12280	11240	327,9	10912,1	1367,9	12,54
#5	11830	11170	307,8	10862,2	967,8	8,91
#6	12170	12510	1515,1	10994,9	1175,1	10,69
#7	12050	11250	398,65	10851,35	1198,65	11,05
#8	11850	11240	400	10840	1010	9,32
#9	12410	11550	390	11160	1250	11,20
#10	11960	11100	308,6	10791,4	1168,6	10,83
Media aritmética						10,64
Mediana						10,94
Desviación estándar						1,38
Error estándar						0,44
Valor mínimo						8,33
Valor máximo						12,54

Fuente. Presente estudio.

Figura 50. % contenido humedad punto 2



Fuente. Presente estudio.

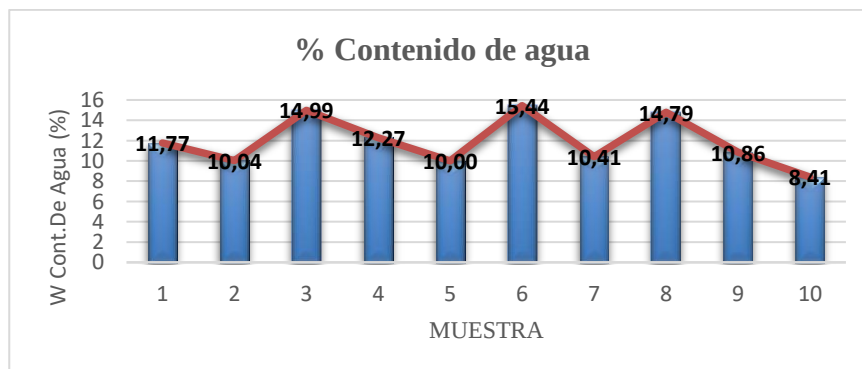
Tabla. 7 INV-E-122 - Determinación en el laboratorio del contenido de agua (Humedad)

de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado. Punto #3

Determinación en el laboratorio del contenido de agua (Humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado.				Fecha	Punto #3	
				Muestra No.		
				Versión	1	
Descripción	Caracterización Física- Mecánica Del Material De Arrastre Del Rio Mulato De Mocoa Putumayo					
Localización	Mocoa Putumayo					
Fuente	Rio Mulato					
Coordenadas	1°08'41.69"N			76°39.1'9.25"O		
Muestra	W _{M.HUMED} o (gr)	W _{SECA+TARAZ} (rg)	W _{RECIPIENTE C} (gr)	W _s (gr)	W _w (gr)	W _{CONT. DE AGUA} (%)
#1	13210	12590	771,6	11818,4	1391,6	11,77
#2	12910	12040	307,8	11732,2	1177,8	10,04
#3	14150	13820	1515,1	12304,9	1845,1	14,99
#4	13080	12040	390	11650	1430	12,27
#5	12740	11910	327,9	11582,1	1157,9	10,00
#6	13170	12930	1521,7	11408,3	1761,7	15,44
#7	13240	12300	308,6	11991,4	1248,6	10,41
#8	12640	11410	398,65	11011,35	1628,65	14,79
#9	13070	12190	400	11790	1280	10,86
#10	13120	12430	327,9	12102,1	1017,9	8,41
Media aritméticas						11,90
Mediana						11,32
Desviación estándar						2,43
Error estándar						0,77
Valor mínimo						8,41
Valor máximo						15,44

Fuente. Presente estudio.

Figura 51. % contenido de humedad punto 3



Fuente. Presente estudio

9.1.1. Observaciones

Este ensayo proporciona información sobre la cantidad de agua presente en estas muestras (10), lo que puede afectar directamente sus propiedades y su comportamiento al momento de ser empleado.

Tabla 8. Resumen contenido de humedad

Punto de recolección	Mínimo % contenido de agua de las muestras	Máximo % contenido de agua de las muestras	Media aritmética de % contenido de agua
#1	4,98	9,87	7,67
#2	8,33	12,54	10,64
#3	8,41	15,44	11,90

Fuente. Presente estudio.

En general el contenido de humedad para obras civiles puede oscilar en un rango de 5% y el 20% en su peso. Aunque este rango puede ajustarse a las características del suelo. Entre los valores que oscilan los puntos 1, 2 y 3, se puede concluir que su contenido de humedad es el óptimo para una compactación, resistencia y estabilidad adecuada en uso específico en la construcción.

El Instituto Nacional de Vías de Colombia establece directrices y parámetros para la construcción y el mantenimiento de carreteras y vías (bases, subbases y afirmado), entre estos parámetros está la humedad óptima en el material para afirmado, teniendo en cuenta las especificaciones del INVIAS debe estar en el rango de 4 al 8% para suelos granulares entre el 8% y el 12% para suelos cohesivos. La humedad óptima del material para bases y subbases están en rangos similares a la del afirmado. Este valor puede variar según las especificaciones requeridas de cada proyecto y condiciones particulares del sitio. El valor obtenido en el punto #1 es de **7,67%** indicando así estar

en el rango ideal de humedad óptima para suelos granulares, en el punto #2 es de **10,64%** indicando así estar en el rango ideal de humedad óptima para suelos cohesivos y punto #3 es de **11.90%** indicando así estar en el rango ideal de humedad óptima para suelos cohesivos.

9.2.INV E 214 - Determinación del material que pasa el tamiz 75 µm (N° 200) en los agregados pétreos mediante el lavado.

Se calcula la cantidad de material que pasa el tamiz 75 µm (N° 200), por lavado, de la siguiente forma:

$$A = \frac{B - C}{B} \times 100$$

Donde:

A: Porcentaje de material fino que pasa el tamiz 75 µm (N° 200), obtenido por lavado.

B: Masa original de la muestra seca, g.

C: Masa de la muestra seca después de lavada, g.

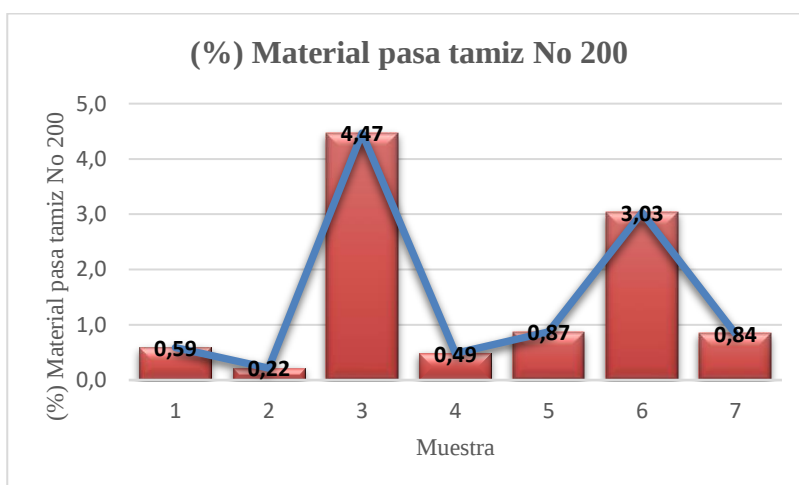
Tabla 9. INV E 214 - Determinación del material que pasa el tamiz 75 µm (n° 200) en los agregados pétreos mediante el lavado. Punto #1

Determinación del material que pasa el tamiz 75 μm (N° 200) en los agregados pétreos mediante el lavado			Fecha	
			Muestra No.	Punto #1
			Versión	1
Descripción	Caracterización Física- Mecánica Del Material De Arrastre Del Rio Mulato De Mocoa Putumayo			
Localización	Mocoa Putumayo			
Fuente	Rio Mulato			
Coordenadas	1°08'35.11"N		76°40'27.10"O	
Muestra	M HUMEDO Kg	M SECA (Kg)	M después lavado (Kg)	(%) Material pasa tamiz No 200

	B		C	A
#1	9,43	8,7814	8,73	0,59
#2	10,16	9,52135	9,5008	0,22
#3	9,25	8,62	8,2349	4,47
#4	11,17	10,4121	10,3615	0,49
#5	10,29	9,39	9,3084	0,87
#6	9,24	8,8014	8,5345	3,03
#7	9,35	8,80135	8,7273	0,84
Media aritmética				1,50
Mediana				0,84
Desviación estándar				1,61
Error estándar				0,61
Valor mínimo				0,22
Valor máximo				4,47

Fuente. Presente estudio.

Figura 52. % material pasa tamiz 200



Fuente. Presente estudio.

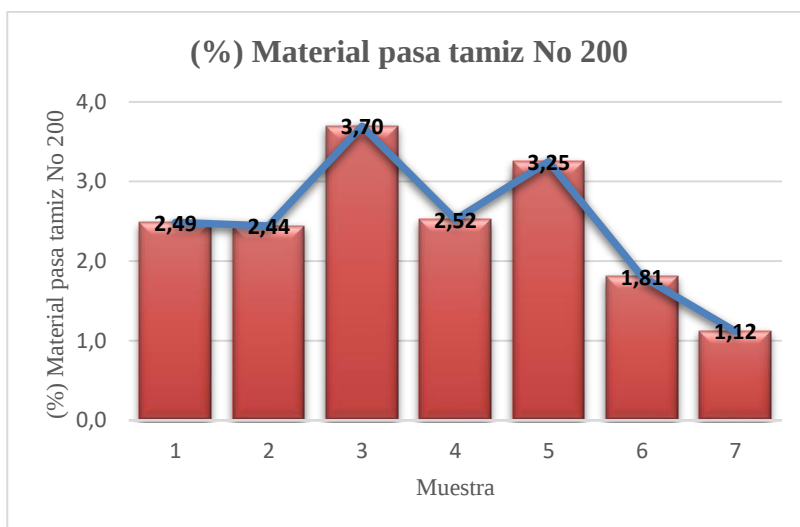
Tabla 10. INV E 214 - Determinación del material que pasa el tamiz 75 μm (n° 200) en

los agregados pétreos mediante el lavado. Punto #2

Determinación del material que pasa el tamiz 75 μm (N° 200) en los agregados pétreos mediante el lavado			Fecha	
			Muestra No.	Punto #2
			Versión	1
Descripción	Caracterización Física- Mecánica Del Material De Arrastre Del Rio Mulato De Mocoa Putumayo			
Localización	Mocoa Putumayo			
Fuente	Rio Mulato			
Coordenadas	1°08'18.63"N		76°39.1'1.09"O	
MUESTRA	M HUMEDO Kg	M SECA (Kg)	M después lavado (Kg)	(%) Material pasa tamiz No 200
	B	C	A	
#1	12,76	11,7783	11,4855	2,49
#2	12,35	11,0049	10,7362	2,44
#3	12,38	11,1222	10,7111	3,70
#4	12,28	10,9121	10,6368	2,52
#5	11,83	10,8622	10,5091	3,25
#6	12,17	10,9949	10,7961	1,81
#7	12,05	10,85135	10,73	1,12
Media aritmética				2,47
Mediana				2,49
Desviación estándar				0,85
Error estándar				0,32
Valor mínimo				1,12
Valor máximo				3,70

Fuente. Presente estudio.

Figura 53. % material pasa tamiz 200 punto 2.



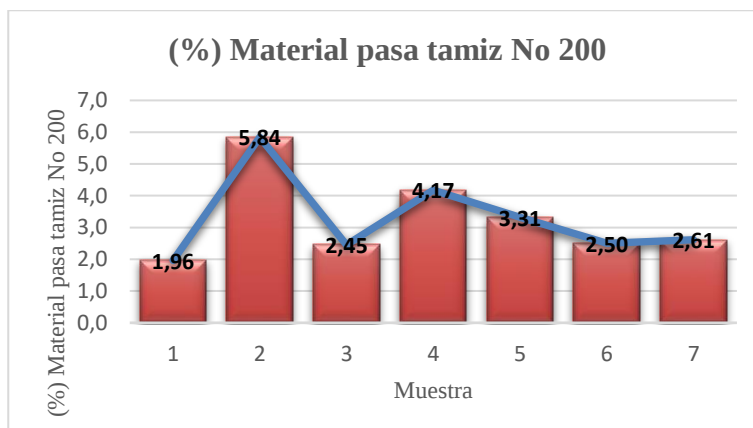
Fuente. Presente estudio.

Tabla 11. INV E 214 - Determinación del material que pasa el tamiz 75 μm (n° 200) en los agregados pétreos mediante el lavado. Punto #3

Determinación del material que pasa el tamiz 75 μm (N° 200) en los agregados pétreos mediante el lavado				Fecha
				Muestra No.
				Punto #3
				Versión
				1
Descripción	Caracterización Física- Mecánica Del Material De Arrastre Del Rio Mulato De Mocoa Putumayo			
Localización	Mocoa Putumayo			
Fuente	Rio Mulato			
Coordenadas	1°08'41.69"N		76°39.1'9.25"O	
MUESTRA	M HÚMEDO Kg	M SECA (Kg)	M después lavado (Kg)	(%) Material pasa tamiz No 200
	B	C	A	
#1	13,21	11,8184	11,58634	1,96
#2	12,91	11,7322	11,047	5,84
#3	14,15	12,3049	12,0031	2,45
#4	13,08	11,65	11,1637	4,17
#5	12,74	11,5821	11,1983	3,31
#6	13,17	11,4083	11,1231	2,50
#7	13,24	11,9914	11,6784	2,61
Media aritmética				3,26
Mediana				2,61
Desviación estándar				1,34
Error estándar				0,51
Valor mínimo				1,96
Valor máximo				5,84

Fuente. Presente estudio.

Figura 54. % Material pasa tamiz 200 punto 3.



Fuente. Presente estudio.

9.2.1. Observaciones:

En este ensayo se determina el material que pasa el tamiz de 75 μm (N° 200) en los agregados pétreos mediante el lavado, estos resultados proporcionan información sobre la cantidad de finos que contiene los agregados.

Tabla 12. Resumen material pasa tamiz 200

Punto de recolección	Mínimo (%) que pasa por el tamiz 200 de las muestras	Máximo (%) que pasa por el tamiz 200 de las muestras	Media aritmética de (%) que pasa por el tamiz 200
#1	0,22	4,47	1,50
#2	1,12	3,70	2,47
#3	1,96	5,84	3,26

Fuente. Presente estudio.

Se examinan los resultados de cantidad de material que pasa a través tamiz de 75 μm (N° 200) de cada muestra se obtiene un valor de media aritmética, para el punto #1 es de **1,50%**, para el punto #2 es de **2,47%** y para el punto #3 es de **3,26%**. Las especificaciones del Instituto Nacional de Vías INVIAS de Colombia establecen que

no debe exceder el 5% (art.630 E-214) en peso del total del material, indicando así que los tres valores cumplen con los estándares de calidad requeridos.

9.3.INV E-213 análisis granulométrico de los agregados grueso y fino

Tabla 13. Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino. Punto 1

Análisis Granulométrico Por Tamizado							
Fuente	Rio Mulato		Caracterización Física- Mecánica Del Material De Arrastre Del Rio Mulato De Mocoa Putumayo				
Coordenadas							
Punto # 1	1°08'41.69" N	76°39.1'9.25" O					
Localización	Mocoa - Ptyo						
Muestras		1	2	3	4	5	6
Tamiz		% Pasa	% Pasa	% Pasa	% Pasa	% Pasa	% Pasa
mm	No.						
75	3"	100,00	100	100	100,00	100,00	100,00
50	2"	100,00	100	100	100,00	100,00	100,00
37,5	1-1/2"	89,79	97,57	97,28	97,28	87,96	90,76
25	1"	84,08	88,28	88,33	88,33	78,36	81,38
19	3/4"	78,36	82,99	81,22	81,22	73,90	75,56
12,5	1/2"	72,61	75,97	72,71	72,71	67,42	67,85
9,5	3/8"	69,54	73,38	69,00	69,00	64,44	65,02
4,75	No 4	64,26	69,04	62,50	62,50	58,43	59,97
2,36	No 8	59,65	64,60	55,62	55,62	53,75	54,93
1,18	No 16	49,39	54,31	47,73	47,73	43,99	43,15
0,6	No 30	25,50	27,45	25,00	25,00	22,26	21,63
0,3	No 50	6,98	7,65	7,60	7,60	6,38	6,10
0,15	No 100	1,18	1,52	1,53	1,53	0,97	1,00
0,075	No 200	0,16	0,26	0,22	0,22	0,07	0,04
Fondo		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
% Grava		35,74	30,96	37,50	44,05	41,57	40,03
% Arenas		64,10	68,78	62,29	55,76	58,36	59,94
% Limos y Arcillas		0,16	0,26	0,22	0,19	0,07	0,04

Fuente. Presente estudio.

Tabla 14. Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino. Punto 2

Análisis Granulométrico Por Tamizado							
Fuente	Rio Mulato		Caracterización Física- Mecánica Del Material De Arrastre Del Rio Mulato De Mocoa Putumayo				
Coordenadas							
Punto # 2							
Localización	Mocoa - Ptyo						
Muestras		1	2	3	4	5	6
Tamiz		% Pasa	% Pasa	% Pasa	% Pasa	% Pasa	% Pasa
mm	No.						
75	3"	100,00	100	100	100,00	100,00	100,00
50	2"	100,00	100	100	100,00	100,00	100,00
37,5	1-1/2"	92,99	94,45	98,61	98,61	97,73	96,30
25	1"	79,40	87,94	90,14	90,14	88,65	85,21
19	3/4"	69,03	80,67	80,94	80,94	81,07	76,93
12,5	1/2"	54,88	68,78	67,23	67,23	67,61	63,94
9,5	3/8"	48,68	63,19	61,92	61,92	60,75	58,22
4,75	No 4	37,37	52,12	49,41	49,41	48,08	47,45
2,36	No 8	31,56	45,84	42,73	42,73	40,70	41,08
1,18	No 16	25,75	39,42	36,17	36,17	34,04	34,97
0,6	No 30	16,61	26,37	25,76	25,76	22,68	24,74
0,3	No 50	6,59	8,14	11,27	11,27	8,99	11,14
0,15	No 100	1,54	1,73	2,82	2,82	2,56	3,19
0,075	No 200	0,09	0,16	0,17	0,17	0,15	0,45
% Grava		62,63	47,88	50,59	50,65	51,92	52,55
% Arenas		37,28	51,96	49,24	49,16	47,93	47,00
% Limos y Arcillas		0,09	0,16	0,17	0,19	0,15	0,45

Fuente. Presente estudio.

Tabla 15. Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino. Punto 3

Análisis Granulométrico Por Tamizado							
Fuente	Rio Mulato		Caracterización Física- Mecánica Del Material De Arrastre Del Rio Mulato De Mocoa Putumayo				
Coordenadas							
Punto # 3							
Localización	Mocoa - Ptyo						
Muestras		1	2	3	4	5	6
Tamiz		% Pasa	% Pasa	% Pasa	% Pasa	% Pasa	% Pasa
mm	No.						
75	3"	100,00	100	100	100,00	100,00	100,00
50	2"	100,00	100	100	100,00	100,00	100,00
37,5	1-1/2"	94,12	91,11	96,83	96,83	96,94	95,53
25	1"	78,36	79,96	87,54	87,54	91,61	79,74
19	3/4"	67,80	73,14	78,21	78,21	81,15	67,65
12,5	1/2"	51,25	62,02	65,47	65,47	64,90	53,08
9,5	3/8"	45,34	55,95	58,76	58,76	59,26	47,74
4,75	No 4	35,36	45,37	46,81	46,81	47,06	37,01
2,36	No 8	30,16	38,89	39,82	39,82	39,44	31,42
1,18	No 16	25,38	32,75	33,14	33,14	30,83	27,23
0,6	No 30	16,43	21,16	20,94	20,94	20,38	18,09
0,3	No 50	5,79	7,89	7,06	7,06	6,33	5,93
0,15	No 100	1,47	2,27	1,77	1,77	1,36	1,88
0,075	No 200	0,09	0,23	0,12	0,12	0,17	0,10
% Grava		64,64	54,63	53,19	53,22	52,94	62,99
% Arenas		35,26	45,14	46,69	46,63	46,88	36,91
% Limos y Arcillas		0,09	0,23	0,12	0,16	0,17	0,10

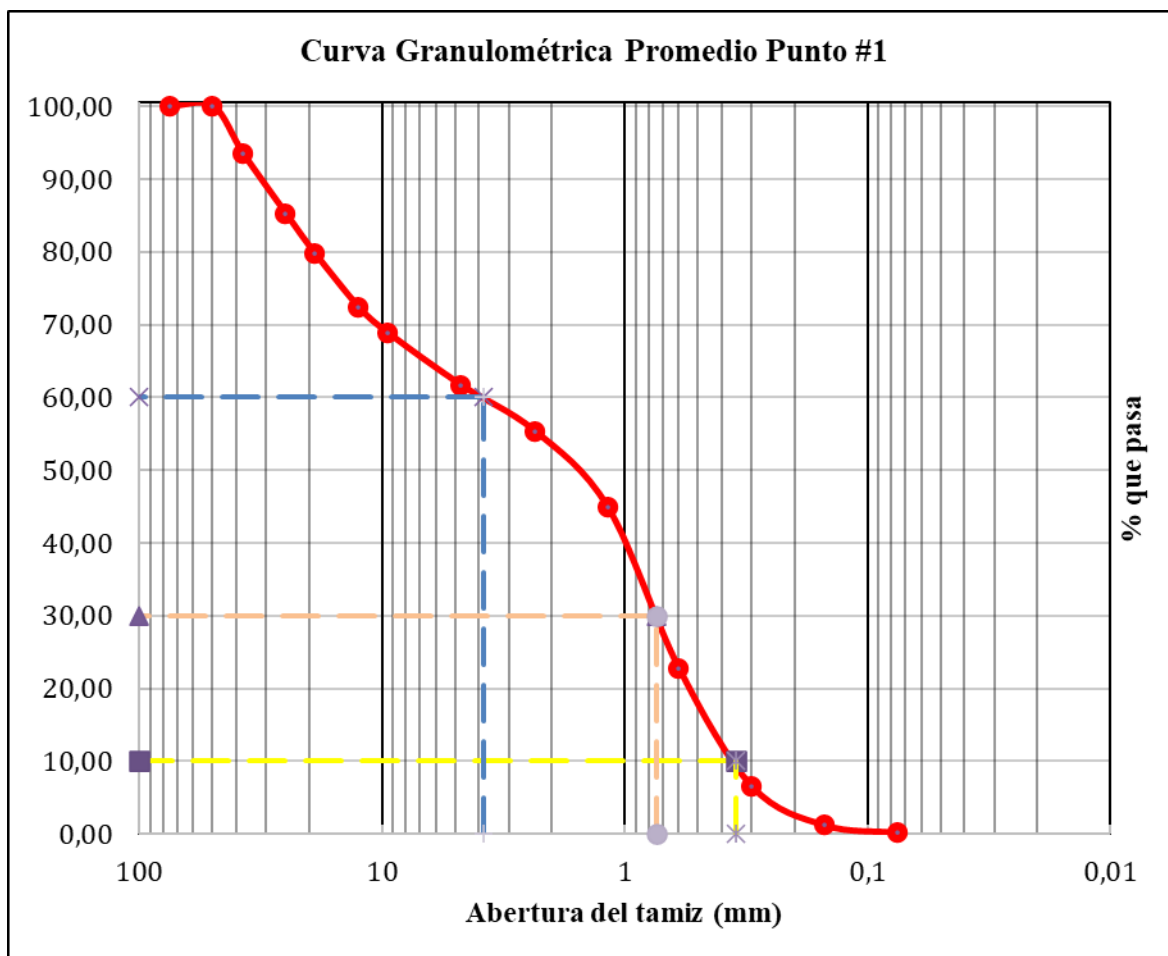
Fuente. Presente estudio.

Se realiza un resumen de los tres puntos de extracción para una mejor observación de diferencia.

Tabla 16. Resumen análisis granulométrico punto 1.

Análisis Granulométrico Por Tamizado						
Media Aritmética Punto #1						
Piedra O Cantos		Tamiz		% Total	% Acumulado	% Pasa
		mm	No.			
Grava	Gruesa	75	3"	0,00	0,00	100,00
		50	2"	0,00	0,00	100,00
		37,5	1-1/2"	6,54	6,54	93,46
		25	1"	8,25	14,79	85,21
	Fina	19	3/4"	5,43	20,22	79,78
		12,5	1/2"	7,44	27,66	72,34
		9,5	3/8"	3,49	31,15	68,85
		4,75	No 4	7,16	38,31	61,69
Arena	Gruesa	2,36	No 8	6,29	44,60	55,40
		Media	1,18	No 16	10,46	55,06
	0,6		No 30	22,18	77,23	22,77
	Fina		0,3	No 50	16,22	93,45
		0,15	No 100	5,35	98,81	1,19
Limos		0,075	No 200	1,04	99,84	0,16
Fondo				0,16	100,00	0,00
% Grava			38,3	Cu		10,86
% Arenas			61,5	Grava bien graduada		
% Limos y Arcillas			0,16	Arena bien graduada		
D10			0,35	Cc		0,41
D30			0,74	Grava mal graduada		
D60			3,8	Arena mal graduada		

Figura 55. Curva granulométrica promedio punto 1



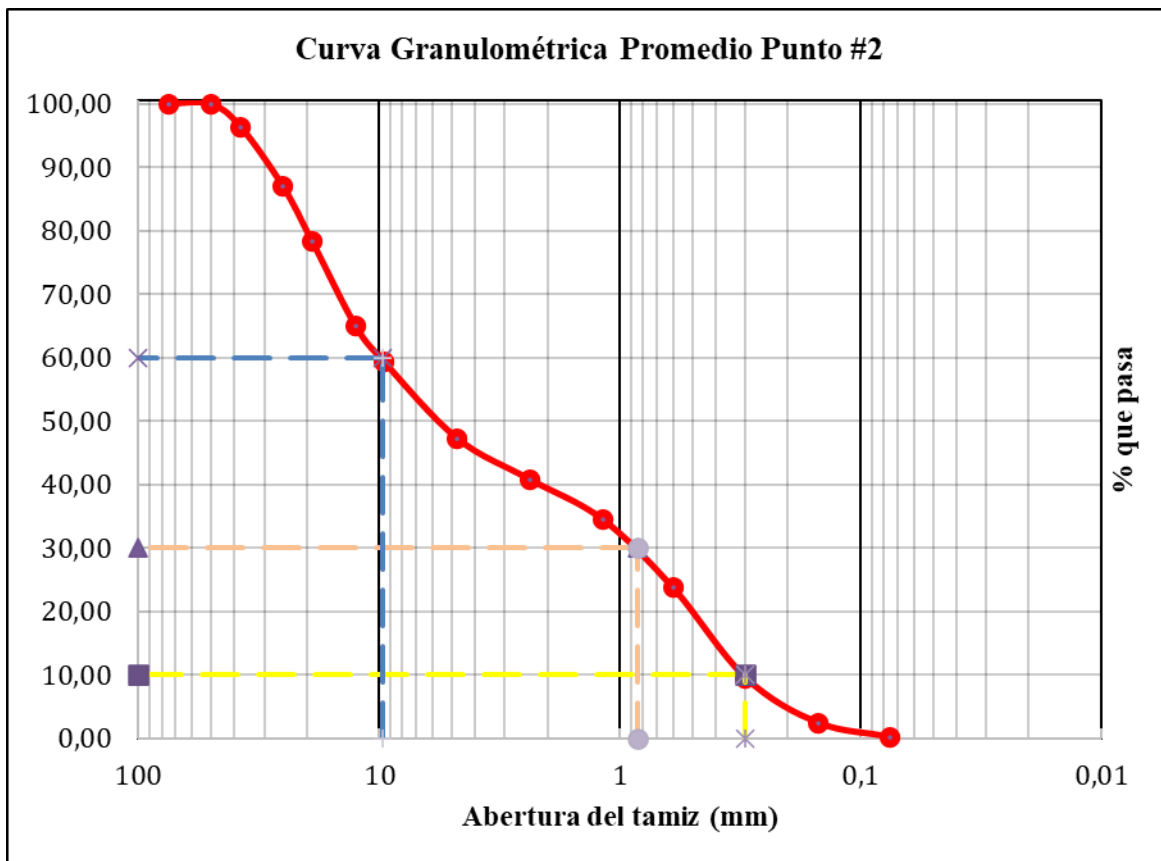
Fuente. Presente estudio.

Tabla 17. Resumen análisis granulométrico punto 2.

Análisis Granulométrico Por Tamizado						
Media Aritmética Punto #2						
Piedra o cantos		Tamiz		% Total	% Acumulado	% Pasa
		mm	No.			
Grava	Gruesa	75	3"	0,00	0,00	100,00
		50	2"	0,00	0,00	100,00
		37,5	1-1/2"	3,65	3,65	96,35
		25	1"	9,41	13,06	86,94
	Fina	19	3/4"	8,53	21,59	78,41
		12,5	1/2"	13,42	35,01	64,99
		9,5	3/8"	5,69	40,71	59,29
		4,75	No 4	12,00	52,70	47,30
Arena	Gruesa					
		2,36	No 8	6,52	59,22	40,78
	Media	1,18	No 16	6,26	65,48	34,52
		0,6	No 30	10,83	76,31	23,69
	Fina	0,3	No 50	14,17	90,48	9,52
		0,15	No 100	7,09	97,57	2,43
Limos		0,075	No 200	2,23	99,80	0,20
Fondo				0,20	100,00	0,00
% Grava			52,7	Cu		32,33
% Arenas			47,1	Grava bien graduada		
% Limos y Arcillas			0,20	Arena bien graduada		
D10			0,30	Cc		0,24
D30			0,84	Grava mal graduada		
D60			9,7	Arena mal graduada		

Fuente. Presente estudio.

Figura 56. Curva granulométrica promedio punto 2.



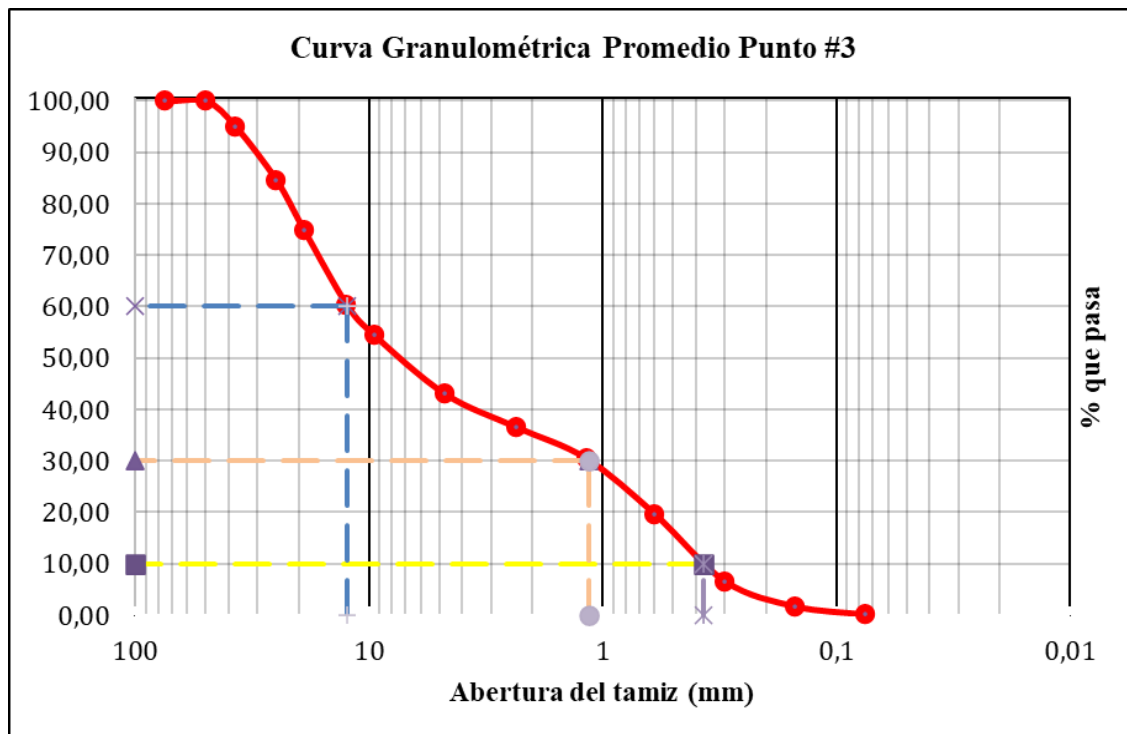
Fuente. Presente estudio.

Tabla 18. Resumen análisis granulométrico punto 3.

Análisis Granulométrico Por Tamizado						
Promedio Punto #3						
Piedra o cantos		Tamiz		% Total	% Acumulado	% Pasa
		mm	No.			
Grava	Gruesa	75	3"	0,00	0,00	100,00
		50	2"	0,00	0,00	100,00
		37,5	1-1/2"	4,87	4,87	95,13
		25	1"	10,50	15,37	84,63
	Fina	19	3/4"	9,80	25,17	74,83
		12,5	1/2"	14,43	39,60	60,40
		9,5	3/8"	5,97	45,57	54,43
		4,75	No 4	11,37	56,93	43,07
Arena	Gruesa	2,36	No 8	6,43	63,36	36,64
		Media	1,18	No 16	6,09	69,45
	0,6		No 30	10,84	80,29	19,71
	Fina		0,3	No 50	13,10	93,39
		0,15	No 100	4,89	98,28	1,72
Limos		0,075	No 200	1,57	99,85	0,15
Fondo				0,15	100,00	0,00
% Grava			56,9	Cu		33,51
% Arenas			42,9	Grava bien graduada		
% Limos y Arcillas			0,15	Arena bien graduada		
D10			0,37	Cc		0,29
D30			1,15	Grava mal graduada		
D60			12,4	Arena mal graduada		

Fuente. Presente estudio.

Figura 57. Curva granulométrica promedio punto 3.



Fuente. Presente estudio.

Tabla 19. % de fracciones en suelos granulares y cohesivos, puntos 1,2,3.

Análisis Granulométrico Por Tamizado			
Media Aritmética Punto #1, #2, #3			
	Punto 1	Punto 2	Punto 3
% Grava	38,31%	52,70%	56,93%
% Arenas	61,54%	47,10%	42,92%
% Limos y Arcillas	0,16%	0,20%	0,15%

Fuente. Presente estudio.

9.4.INV E-211 Determinación de terrones de arcilla y partículas deleznales en los agregados.

Se calcula el porcentaje de terrones de arcilla y partículas deleznales en los agregados finos o en los tamaños individuales de los agregados gruesos, en la siguiente forma:

$$P = \frac{M - R}{M} \times 100$$

Donde: P: Porcentaje de terrones de arcilla y de partículas deleznales;

M: Masa de la muestra de ensayo. Para los agregados finos, corresponde a la masa de la porción más gruesa que el tamiz de 1.18 mm (No. 16), como de describe en el numeral

4.3 para los agregados gruesos, corresponde a la masa de la fricción respectiva;

R: Masa de las partículas retenida sobre el tamiz designado para remover el residuo, determinada de acuerdo con el numeral 5.2.

Tabla 20. Determinación de terrones de arcilla y partículas deleznales en los agregados. Punto 1

Determinación De Terrones De Arcilla Y Partículas Deleznales En Los Agregados									
Fuente	Rio Mulato		Caracterización Física- Mecánica Del Material De Arrastre Del Rio Mulato De Mocoa Putumayo						
Coordenadas									
Punto # 1	1°08'35.11"N	76°40'27.10"O							
% Terrones de arcilla y partículas deleznales									
N° Ensayos	Tamaño de partículas								
	Mayores a 1-1/2"	Pasa	Retiene	Pasa	Retiene	Pasa	Retiene	Pasa	Retiene
		1-1/2"	3/4"	3/4"	3/8"	N°4	N°4	N°16	
1	0,33	0,18		0,24		0,29		0,80	
2	0,38	0,16		0,22		0,26		0,77	
3	0,29	0,10		0,14		0,28		0,58	
4	0,15	0,14		0,17		0,41		0,94	
5	0,14	0,16		0,22		0,32		0,76	
6	0,17	0,26		0,16		0,21		0,61	
Media aritmética	0,24	0,17		0,19		0,29		0,74	
Mediana	0,23	0,16		0,19		0,28		0,77	
Desviación estándar	0,11	0,05		0,04		0,07		0,13	
Error estándar	0,04	0,02		0,02		0,03		0,05	
Valor mínimo	0,14	0,10		0,14		0,21		0,58	
Valor máximo	0,38	0,26		0,24		0,41		0,94	

Fuente. Presente estudio.

Tabla 21. Determinación de terrones de arcilla y partículas deleznales en los agregados.

Punto 2

Determinación De Terrones De Arcilla Y Partículas Deleznales En Los Agregados									
Fuente	Rio Mulato		Caracterización Física- Mecánica Del Material De Arrastre Del Rio Mulato De Mocoa Putumayo						
Coordenadas									
Punto # 2									
% Terrones de arcilla y partículas deleznales									
N° Ensayos	Tamaño de partículas								
	Mayores a 1-1/2"	Pasa 1-1/2"	Retiene 3/4"	Pasa 3/4"	Retiene 3/8"	Pasa 3/8"	Retiene N°4	Pasa N°4	Retiene N°16
1	0,15	0,10		0,52		0,15		1,77	
2	0,53	0,31		0,32		0,14		1,19	
3	0,50	0,26		0,15		0,12		1,56	
4	0,24	0,17		0,14		0,40		2,57	
5	0,35	0,22		0,76		1,20		0,76	
6	0,34	0,32		0,30		0,89		1,01	
Media aritmética	0,35	0,23		0,36		0,48		1,48	
Mediana	0,34	0,24		0,31		0,27		1,38	
Desviación estándar	0,15	0,09		0,24		0,46		0,65	
Error estándar	0,06	0,04		0,10		0,19		0,26	
Valor mínimo	0,15	0,10		0,14		0,12		0,76	
Valor máximo	0,53	0,32		0,76		1,20		2,57	

Fuente. Presente estudio.

Tabla 22. Determinación de terrones de arcilla y partículas deleznales en los agregados.

Punto 3

Determinación De Terrones De Arcilla Y Partículas Deleznales En Los Agregados									
Fuente	Rio Mulato		Caracterización Física- Mecánica Del Material De Arrastre Del Rio Mulato De Mocoa Putumayo						
Coordenadas									
Punto # 3									
% Terrones de arcilla y partículas deleznales									
N° Ensayos	Tamaño de partículas								
	Mayores a 1-1/2"	Pasa 1-1/2"	Retiene 3/4"	Pas a 3/4"	Retien e 3/8"	Pas a 3/8"	Retien e N°4	Pas a N°4	Retien e N°16
1	0,05	0,17		1,05	0,38				1,15
2	0,03	0,64		0,34	1,15				1,44
3	0,04	0,11		0,30	1,31				1,28
4	0,03	0,16		0,25	1,19				1,41
5	0,06	0,13		0,54	1,24				1,23
6	0,09	0,53		1,09	0,61				1,51
Media aritmética	0,05	0,29		0,60	0,98				1,34
Mediana	0,04	0,17		0,44	1,17				1,35
Desviación estándar	0,02	0,23		0,38	0,39				0,14
Error estándar	0,01	0,09		0,15	0,16				0,06
Valor mínimo	0,03	0,11		0,25	0,38				1,15
Valor máximo	0,09	0,64		1,09	1,31				1,51

Fuente. Presente estudio.

9.4.1. Observaciones

Los resultados de este ensayo permiten determinar los terrones de arcilla y partículas deleznales en los agregados, pues la presencia de estos consigue afectar negativamente los procesos y calidad de la obra, teniendo así problemas de adherencia, menor resistencia, durabilidad comprometida, problemas de rendimientos y demás que afecta los estándares establecidos.

Tabla 23. Resumen % terrones de arcilla y partículas deleznales.

Punto de recolección	% Terrones de arcilla y partículas deleznales	Tamaño de partículas									
		Mayores a 1-1/2"	Pasa 1-1/2"	Retiene 3/4"	Pasa 3/4"	Retiene 3/8"	Pasa 3/8"	Retiene N°4	Pasa N°4	Retiene N°16	
#1	Min	0,14	0,10		0,14		0,21		0,58		
	Max	0,38	0,26		0,24		0,41		0,94		
	M. Aritmética	0,24	0,17		0,19		0,29		0,74		
#2	Min	0,15	0,10		0,14		0,12		0,76		
	Max	0,53	0,32		0,76		1,20		2,57		
	M. Aritmética	0,05	0,29		0,60		0,98		1,34		
#3	Min	0,03	0,11		0,25		0,38		1,15		
	Max	0,09	0,64		1,09		1,31		1,51		
	M. Aritmética	0,05	0,29		0,60		0,98		1,34		

Fuente. Presente estudio.

Los límites aceptables para la cantidad de terrones de arcilla y partículas deleznales en los agregados, según las especificaciones del Instituto Nacional de Vías de Colombia para concretos estructurales es 0.25% (art. 630) para bases y subbases es de 2% máximo (art. 320-330), esto indica que los valores obtenidos en los tres puntos de recolección son aceptables y cumple los estándares de calidad en bases y subbases granulares, sin embargo en concretos estructurales se da una serie de aciertos y desaciertos en cuanto a aceptación para utilizar este material en construcción de puentes, estructuras de drenaje, muros de contención y estructuras en general, por ejemplo en el primer punto de extracción las partículas de 1 1/2", 3/4" y 3/8" son aceptables dentro del máximo permitido por el invias. En el punto dos, los valores la

media esta dado para una aceptación de las partículas de 1 ½”. En el tercer punto de extracción la partícula aceptada es de 1 ½”.

9.5.INV E 133 - Equivalente de arena de suelos y agregados

Tiene como propósito de indicar las proporciones relativas de suelos arcilloso o finos y polvo en suelos granulares y agregados finos que pasan el tamiz 4.75 mm. Además, permite una rápida determinación del contenido en finos de un suelo, dándonos además una idea de su plasticidad.

El equivalente de arena se calculará con aproximación la décima (0.1%) así:

$$EA = \frac{\text{Lectura de arena}}{\text{Lectura de arcilla}} \times 100$$

Si el valor obtenido en el cálculo no es un número entero se debe redondear al número entero superior. Por ejemplo, si la lectura anotada de arcilla fue 8.0 y la lectura anotada de arena fue 3.3, el equivalente de arena será $(3.3/8.0) \times 100 = 41.2$. Como este valor no es entero, se redondeará a 42 y así será registrado en el informe.

Tabla 24. INV E 133 - Equivalente de arena de suelos y agregados. Punto 1

Equivalente De Arena De Suelos Y Agregados				
Fuente	Rio Mulato		Caracterización Física- Mecánica Del Material De Arrastre Del Rio Mulato De Mocoa Putumayo	
Coordenadas				
Punto #1	1°08'35.11" N	76°40'27.10" O		
Procedimiento		B		
N° Ensayos	Lecturas de Prueba		Equivalente de arena	
	Arcilla (mm)	Arena (mm)	EA (%)	Redondeado
1	99,06	81,28	82,05	83,0
2	102,87	85,09	82,72	83,0
3	98,552	83,82	85,05	86,0
4	93,472	85,09	91,03	92,0
5	99,06	87,63	88,46	89,0
6	97,028	88,9	91,62	92,0
Media aritmética			87,50	
Mediana			87,5	
Desviación estándar			4,14	
Error estándar			1,69	
Valor mínimo			83,0	
Valor máximo			92,0	

Fuente. Presente estudio.

Tabla 25. INV E 133 - Equivalente de arena de suelos y agregados. Punto 2

Equivalente De Arena De Suelos Y Agregados				
Fuente	Rio Mulato		Caracterización Física- Mecánica Del Material De Arrastre Del Rio Mulato De Mocoa Putumayo	
Coordenadas				
Punto #2				
Procedimiento		B		
N° Ensayos	Lecturas de Prueba		Equivalente de arena	
	Arcilla (mm)	Arena (mm)	EA (%)	Redondeado
1	101,6	83,82	82,50	83,0
2	104,14	85,09	81,71	82,0
3	102,87	87,63	85,19	86,0
4	98,552	86,36	87,63	88,0
5	96,52	87,63	90,79	91,0
6	104,14	91,44	87,80	88,0
Media aritmética			87,00	
Mediana			87,0	
Desviación estándar			3,39	
Error estándar			1,38	
Valor mínimo			82,0	
Valor máximo			91,0	

Fuente. Presente estudio.

Tabla 26. INV E 133 - Equivalente de arena de suelos y agregados. Punto 3

Equivalente De Arena De Suelos Y Agregados				
Fuente	Rio Mulato		Caracterización Física-Mecánica Del Material De Arrastre Del Rio Mulato De Mocoa Putumayo	
Coordenadas				
Punto # 3				
Procedimiento		B		
N° Ensayos	Lecturas de Prueba		Equivalente de arena	
	Arcilla (mm)	Arena (mm)	EA (%)	Redondeado
1	96,52	80,01	82,89	83,0
2	96,012	83,82	87,30	88,0
3	92,71	78,74	84,93	85,0
4	91,44	76,2	83,33	84,0
5	93,98	77,47	82,43	83,0
6	98,552	77,724	78,87	79,0
Media aritmética			84,00	
Mediana			83,5	
Desviación estándar			2,94	
Error estándar			1,20	
Valor mínimo			79,0	
Valor máximo			88,0	

Fuente. Presente estudio.

9.5.1. Observaciones

En este ensayo se puede determinar los valores para cada muestra de suelo o agregado. El equivalente de arena puede afectar la estabilidad de los suelos y agregados. La presencia de materiales finos ocasiona problemas a la resistencia, compactación y capacidad de drenaje, lo que puede afectar negativamente el rendimiento, seguridad y durabilidad de la estructura.

Tabla 27. Resumen de equivalente de arena de suelos y agregados.

Equivalente De Arena De Suelos Y Agregados			
Punto de recolección	% Mínimo de equivalente de arena de las muestras	% Máximo de equivalente de arena de las muestras	% Media aritmética de equivalente de arena
#1	83	82	79
#2	82	91	88
#3	88	87	88

Fuente. Presente estudio.

Existen valores mínimos de equivalente de arena que debe cumplirse para garantizar la calidad y la idoneidad de los materiales para su uso, INVIAS requiere un valor de equivalente de arena, mínimo (%) de 30 para bases granulares CLASE A, CLASE B y CLASE C, artículo 320 - 330. Para concretos estructurales (construcción de puentes, estructuras de drenaje, muros de contención y estructuras en general) un valor mínimo (%) de 60, artículo 630.

9.6.INV E 217 - Densidad bulk y porcentaje de vacíos del agregado fino en estado suelto y compacto

Densidad bulk: se calcula la densidad bulk sea compacta (apisonada o vibrada) o suelta, con alguna de las siguientes expresiones:

$$M = \frac{G-T}{V} \quad \text{o} \quad M = (G - T)X F$$

Donde:

M: Densidad bulk del agregado, kg/m^3 (lb/pie^3).

G: Masa del agregado más el recipiente de medida, kg (lb).

T: Masa del recipiente de medida, kg (lb).

V: Volumen de recipiente de medida, m^3 pie^3 .

F: Factor de medida, $1/m^3$ ($1/pie^3$)

La densidad bulk que se determina en la prueba es en condición seca al horno. Si se desea obtener la densidad bulk en estado saturado y superficialmente seco (SSS), se sigue exactamente el mismo

Vacíos en los agregados: Los vacíos en los agregados se pueden calcular de la siguiente forma, empleando la densidad bulk obtenida mediante apisonado, vibrado o, simplemente, mediante el llenado a paladas:

$$\% \text{ vacíos} = \frac{(S \times \rho_w) - M}{S \times \rho_w} \times 100$$

Donde:

S: Gravedad específica bulk (material seco) determinada según las normas INV E-222 (agregados finos) o INV E-223 (agregados gruesos).

M: Densidad bulk de los agregados, kg/m^3 (lb/ft^3).

ρ_w : Densidad del agua, $998 kg/m^3$ ($62.4 lb/ft^3$).

Tabla 28. Densidad bulk y porcentaje de vacíos del agregado fino en estado suelto. Punto #1

Densidad Bulk Y Porcentaje De Vacíos Del Agregado Fino En Estado Suelto			
Fuente	Rio Mulato	Punto #1	Caracterización Física- Mecánica Del Material De Arrastre Del Rio Mulato De Mocoa Putumayo
Coordenadas			
Masa recipiente (T) Kg		4,95	
Volumen recipiente m3		0,00165	
Muestra N°	Densidad del agregado Bulk suelto M (kg/m^3)		% de Vacíos en el agregado Suelto
1	1535,746		39,52
2	1547,887		38,80
3	1566,097		38,99
4	1578,237		40,88
5	1578,237		41,09
6	1572,167		38,33
Media aritmética	1563,06		39,60
Mediana	1569,13		39,3
desviación estándar	17,49		1,14
Error estándar	7,14		0,47
Valor mínimo	1535,7		38,3
Valor máximo	1578,2		41,1

Fuente. Presente estudio.

Tabla 29. Densidad bulk y porcentaje de vacíos del agregado fino en estado compacto. Punto #1

Densidad Bulk Y Porcentaje De Vacíos Del Agregado Fino En Estado Compacto			
Fuente	Rio Mulato	Punto #1	Caracterización Física- Mecánica Del Material De Arrastre Del Rio Mulato De Mocoa Putumayo
Coordenadas			
Masa recipiente (T) Kg		4,95	
Volumen recipiente m3		0,00165	
Muestra N°	Densidad del agregado Bulk compacto M (kg/m³)		% de Vacíos en el agregado compacto
1	1657,149		34,74
2	1669,290		33,99
3	1681,430		34,50
4	1687,500		36,79
5	1699,640		36,56
6	1687,500		33,81
Media aritmética	1680,42		35,07
Mediana	1684,46		34,62
desviación estándar	15,07		1,29
Error estándar	6,15		0,53
Valor mínimo	1657,15		33,81
Valor máximo	1699,64		36,79

Fuente. Presente estudio.

Tabla 30. Densidad bulk y porcentaje de vacíos del agregado fino en estado suelto. Punto #2

Densidad Bulk Y Porcentaje De Vacíos Del Agregado Fino En Estado Suelto			
Fuente	Rio Mulato	Punto #2	Caracterización Física- Mecánica Del Material De Arrastre Del Rio Mulato De Mocoa Putumayo
Coordenadas			
Masa recipiente (T) Kg		4,95	
Volumen recipiente m3		0,00165	
Muestra N°	Densidad del agregado Bulk suelto M (kg/m³)		% de Vacíos en el agregado Suelto
1	1475,045		28,18
2	1487,185		42,18
3	1481,115		41,73
4	1481,115		42,19
5	1475,045		42,17
6	1462,905		43,40
Media aritmética	1477,07		39,98
Mediana	1478,08		42,18
desviación estándar	8,29		5,80
Error estándar	3,39		2,37
Valor mínimo	1462,90		28,18
Valor máximo	1487,19		43,4

Fuente. Presente estudio.

Tabla 31. Densidad bulk y porcentaje de vacíos del agregado fino en estado compacto. Punto #2

Densidad Bulk Y Porcentaje De Vacíos Del Agregado Fino En Estado Compacto			
<i>Fuente</i>	<i>Rio Mulato</i>	<i>Punto #2</i>	Caracterización Física- Mecánica Del Material De Arrastre Del Rio Mulato De Mocoa Putumayo
Coordenadas			
Masa recipiente (T) Kg		4,95	
Volumen recipiente m3		0,00165	
Muestra N°	Densidad del agregado Bulk compacto M (kg/m³)		% de Vacíos en el agregado Compacto
1	1596,448		22,27
2	1608,588		37,46
3	1626,799		36,00
4	1620,728		36,74
5	1626,799		36,22
6	1602,518		38,00
<i>Media aritmética</i>	1613,65		34,45
<i>Mediana</i>	1614,66		36,48
<i>desviación estándar</i>	12,97		6,01
<i>Error estándar</i>	5,30		2,45
<i>Valor mínimo</i>	1596,45		22,27
<i>Valor máximo</i>	1626,80		38,00

Fuente. Presente estudio.

Tabla 32. Densidad bulk y porcentaje de vacíos del agregado fino en estado suelto. Punto #3

Densidad Bulk Y Porcentaje De Vacíos Del Agregado Fino En Estado Suelto			
<i>Fuente</i>	<i>Rio Mulato</i>	<i>Punto #3</i>	Caracterización Física- Mecánica Del Material De Arrastre Del Rio Mulato De Mocoa Putumayo
Coordenadas			
Masa recipiente (T) Kg		4,95	
Volumen recipiente m3		0,00165	
Muestra N°	Densidad del agregado Bulk suelto M (kg/m³)		% de Vacíos en el agregado Suelto
1	1347,572		45,39
2	1353,642		45,36
3	1335,432		46,48
4	1341,502		46,87
5	1353,642		44,36
6	1329,362		47,92
<i>Media aritmética</i>	1343,53		46,06
<i>Mediana</i>	1344,54		45,9
<i>desviación estándar</i>	9,91		1,27
<i>Error estándar</i>	4,05		0,52
<i>Valor mínimo</i>	1329,4		44,4
<i>Valor máximo</i>	1353,6		47,9

Fuente. Presente estudio.

Tabla 33. Densidad bulk y porcentaje de vacíos del agregado fino en estado compacto. Punto #3

Densidad Bulk Y Porcentaje De Vacíos Del Agregado Fino En Estado Compacto			
<i>Fuente</i>	<i>Rio Mulato</i>	<i>Punto #</i>	Caracterización Física-Mecánica Del Material De Arrastre Del Rio Mulato De Mocoa Putumayo
Coordenadas		3	
Masa recipiente (T) Kg		4,95	
Volumen recipiente m3		0,00165	
Muestra N°	Densidad del agregado Bulk compacto M (kg/m³)		% de Vacíos en el agregado Compacto
1	1499,326		39,24
2	1493,255		39,72
3	1505,396		39,66
4	1487,185		41,10
5	1499,326		38,37
6	1481,115		41,97
<i>Media aritmética</i>	1494,27		40,01
<i>Mediana</i>	1496,29		39,69
<i>desviación estándar</i>	8,94		1,30
<i>Error estándar</i>	3,65		0,53
<i>Valor mínimo</i>	1481,12		38,37
<i>Valor máximo</i>	1505,40		41,97

Fuente. Presente estudio.

Tabla 34. Resumen densidad bulk y % de vacíos del agregado fino en estado suelto.

Densidad Bulk Y Porcentaje De Vacíos Del Agregado Fino En Estado Suelto			
<i>Media aritmética de los puntos #1, #2, #3</i>			
	<i>Punto 1</i>	<i>Punto 2</i>	<i>Punto 3</i>
Densidad del agregado Bulk suelto M (kg/m³)	1563,1	1477,1	1343,5
% de Vacíos en el agregado Suelto	39,6%	40,0%	46%

Fuente. Presente estudio.

Tabla 35. Resumen densidad bulk y % de vacíos del agregado fino en estado compacto.

Densidad Bulk Y Porcentaje De Vacíos Del Agregado Fino En Estado Compacto			
<i>Media aritmética de los puntos #1, #2, #3</i>			
	<i>Punto 1</i>	<i>Punto 2</i>	<i>Punto 3</i>
Densidad del agregado Bulk compacto M (kg/m³)	1680,42	1613,65	1494,27
% de Vacíos en el agregado Compacto	35%	34%	40%

Fuente. Presente estudio.

9.7.INV E 217 - Densidad bulk y porcentaje de vacíos del agregado grueso en estado suelto y compacto

Vacíos en los agregados: Los vacíos en los agregados se pueden calcular de la siguiente forma, empleando la densidad bulk obtenida mediante apisonado, vibrado o, simplemente, mediante el llenado a paladas:

$$\% \text{ vacíos} = \frac{(S \times \rho_w) - M}{S \times \rho_w} \times 100$$

Donde:

S: Gravedad específica bulk (material seco) determinada según las normas INV E-222 (agregados finos) o INV E-223 (agregados gruesos).

M: Densidad bulk de los agregados, kg/m^3 (lb/pie^3).

ρ_w : Densidad del agua, $998 kg/m^3$ ($62.4 lb/pie^3$).

Tabla 36. Densidad bulk y porcentaje de vacíos del agregado grueso en estado suelto. Punto #1

Densidad Bulk Y Porcentaje De Vacíos Del Agregado Grueso En Estado Suelto			
<i>Fuente</i>	<i>Rio Mulato</i>	<i>Punto #1</i>	Caracterización Física- mecánica Del Material De Arrastre Del Rio Mulato De Mocoa Putumayo
Coordenadas			
Masa recipiente (T) Kg		14,3	
Volumen recipiente m3		0,0104	
Muestra N°	Densidad del agregado Bulk suelto M (kg/m³)		% de Vacíos en el agregado Suelto
1	1629,912		37,15
2	1522,530		41,32
3	1455,416		43,70
4	1504,313		42,13
5	1468,839		43,74
6	1462,127		44,06
<i>Media aritmética</i>	<i>1507,19</i>		<i>42,02</i>
<i>Mediana</i>	<i>1486,58</i>		<i>42,91</i>
<i>desviación estándar</i>	<i>65,55</i>		<i>2,61</i>
<i>Error estándar</i>	<i>26,76</i>		<i>1,07</i>
<i>Valor mínimo</i>	<i>1455,42</i>		<i>37,15</i>
<i>Valor máximo</i>	<i>1629,91</i>		<i>44,06</i>

Fuente. Presente estudio.

Tabla 37. Densidad bulk y porcentaje de vacíos del agregado grueso en estado compacto. Punto

#1

Densidad Bulk Y Porcentaje De Vacíos Del Agregado Grueso En Estado Compacto			
Fuente	Rio Mulato	Punto #1	Caracterización Física- Mecánica Del Material De Arrastre Del Rio Mulato De Mocoa Putumayo
Coordenadas			
Masa recipiente (T) Kg		14,3	
Volumen recipiente m3		0,0104	
Muestra N°	Densidad del agregado Bulk compacto M (kg/m³)		% de Vacíos en el agregado Compacto
1	1685,521		35,01
2	1564,716		39,69
3	1565,675		39,43
4	1604,025		38,29
5	1608,819		38,38
6	1610,737		38,37
Media aritmética	1606,58		38,20
Mediana	1606,42		38,38
desviación estándar	44,01		1,67
Error estándar	17,97		0,68
Valor mínimo	1564,72		35,01
Valor máximo	1685,52		39,69

Fuente. Presente estudio.

Tabla 38. Densidad bulk y porcentaje de vacíos del agregado grueso en estado suelto. Punto #2

Densidad Bulk Y Porcentaje De Vacíos Del Agregado Grueso En Estado Suelto			
Fuente	Rio Mulato	Punto #2	Caracterización Física- Mecánica Del Material De Arrastre Del Rio Mulato De Mocoa Putumayo
Coordenadas			
Masa recipiente (T) Kg		14,3	
Volumen recipiente m3		0,0104	
Muestra N°	Densidad del agregado Bulk suelto M (kg/m³)		% de Vacíos en el agregado Suelto
1	1478,426		44,54
2	1474,591		42,01
3	1478,426		43,45
4	1468,839		43,75
5	1512,942		42,00
6	1522,530		41,77
Media aritmética	1489,29		42,92
Mediana	1478,43		42,73
desviación estándar	22,52		1,15
Error estándar	9,19		0,47
Valor mínimo	1468,84		41,77
Valor máximo	1522,53		44,54

Fuente. Presente estudio.

Tabla 39. Densidad bulk y % de vacíos del agregado grueso en estado compacto. Punto #2

Densidad Bulk Y Porcentaje De Vacíos Del Agregado Grueso En Estado Compacto			
Fuente	Rio Mulato	Punto #2	Caracterización Física- Mecánica Del Material De Arrastre Del Rio Mulato De Mocoa Putumayo
Coordenadas			
Masa recipiente (T) Kg		14,3	
Volumen recipiente m3		0,0104	
Muestra N°	Densidad del agregado Bulk compacto M (kg/m³)		% de Vacíos en el agregado compacto
1	1636,624		38,61
2	1581,015		37,83
3	1574,304		39,78
4	1637,582		37,28
5	1605,943		38,43
6	1574,304		39,79
Media aritmética	1601,63		38,62
Mediana	1593,48		38,52
desviación estándar	29,85		1,02
Error estándar	12,18		0,41
Valor mínimo	1574,30		37,28
Valor máximo	1637,58		39,79

Fuente. Presente estudio.

Tabla 40. Densidad bulk y % de vacíos del agregado grueso en estado suelto. Punto #3

Densidad Bulk Y Porcentaje De Vacíos Del Agregado Grueso En Estado Suelto			
Fuente	Rio Mulato	Punto #3	Caracterización Física- Mecánica Del Material De Arrastre Del Rio Mulato De Mocoa Putumayo
Coordenadas			
Masa recipiente (T) Kg		14,3	
Volumen recipiente m3		0,0104	
Muestra N°	Densidad del agregado Bulk suelto M (kg/m³)		% de Vacíos en el agregado Suelto
1	1434,323		45,06
2	1444,869		44,45
3	1435,282		45,06
4	1439,117		44,99
5	1437,199		44,86
6	1438,158		45,78
Media aritmética	1438,16		45,03
Mediana	1437,68		45,02
desviación estándar	3,74		0,43
Error estándar	1,53		0,18
Valor mínimo	1434,32		44,45
Valor máximo	1444,87		45,78

Fuente. Presente estudio.

Tabla 41. Densidad bulk y porcentaje de vacíos del agregado grueso en estado compacto. Punto

#3

Densidad Bulk Y Porcentaje De Vacíos Del Agregado Grueso En Estado Compacto			
Fuente	Rio Mulato	Punto #3	Caracterización Física- Mecánica Del Material De Arrastre Del Rio Mulato De Mocoa Putumayo
Coordenadas			
Masa recipiente (T) Kg		14,3	
Volumen recipiente m3		0,0104	
Muestra N°	Densidad del agregado Bulk compacto M (kg/m³)		% de Vacíos en el agregado Compacto
1	1527,32		41,50
2	1557,05		40,14
3	1548,42		40,73
4	1526,36		41,65
5	1554,17		40,37
6	1551,29		41,52
Media aritmética	1544,10		40,98
Mediana	1549,85		41,11
desviación estándar	13,68		0,65
Error estándar	5,58		0,27
Valor mínimo	1526,36		40,14
Valor máximo	1557,05		41,65

Fuente. Presente estudio.

Tabla 42. Resumen densidad y % de vacíos en agregado grueso en estado suelto.

Densidad Bulk Y Porcentaje De Vacíos Del Agregado Grueso En Estado Suelto			
Media aritmética de los puntos #1, #2, #3			
	Punto 1	Punto 2	Punto 3
Densidad del agregado Bulk suelto M (kg/m ³)	1507,19	1489,29	1438,16
% de Vacíos en el agregado Suelto	42,02%	42,92%	45,03%

Fuente. Presente estudio.

Tabla 43. Resumen densidad y % de vacíos en agregado grueso en estado compacto.

DENSIDAD BULK Y PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO GRUESO EN ESTADO COMPACTO			
Media aritmética de los puntos #1, #2, #3			
	Punto 1	Punto 2	Punto 3
Densidad del agregado Bulk compacto M (kg/m ³)	1606,58	1601,63	1544,10
% de Vacíos en el agregado Compacto	38,20%	38,62%	40,98%

Fuente. Presente estudio.

9.7.1. Observaciones.

La densidad bulk es importante porque influye directamente en la resistencia y la estabilidad de la estructura, proporciona información sobre la compacidad y la capacidad de llenado del material en relación con el volumen total disponible, este parámetro determina las proporciones adecuadas para los procesos constructivos, asegurando una buena compactación del material, lo que es fundamental para la resistencia estructural y su capacidad para soportar cargas. El porcentaje de vacíos muestra la proporción de espacio vacío dentro del material en relación con su volumen total, ya sea en estado suelto o compacto. Este parámetro es importante porque afecta la capacidad de drenaje y la resistencia a la deformación.

9.8.INV E 230 - Índice de alargamiento y aplanamiento de los agregados para carreteras.

9.8.1. Índice de aplanamiento:

El índice de aplanamiento de cada fracción d_i/D_i , IA_i , se calcula como sigue:

$$IA_i = \frac{m_i}{R_i} \times 100$$

Donde: R_i : Masa de la fracción d_i/D_i , g.

m_i : Masa de las partículas planas de la fracción d_i/D_i , g.

9.8.1.1. El índice de aplanamiento global, IA , se calcula como sigue:

$$IA = \frac{M_3}{M_1 o M_2} \times 100$$

$M_1 o M_2$: Masa total de la muestra empleada en la determinación del índice de aplanamiento, g.

M_3 : Masa de todas las partículas que pasaron las barras de los tamices o las ranuras del calibrador de aplanamiento, g.

El valor calculado de IA se deberá redondear al entero más cercano.

9.8.2. Índice de alargamiento

El índice de alargamiento de cada fracción d_i/D_i , IL_i , se calcula como sigue:

$$IL_i = \frac{n_i}{R_i} \times 100$$

Donde:

R_i : Masa de la fracción d_i/D_i , g;

m_i : Masa de las partículas alargadas de la fracción d_i/D_i , g.

9.8.2.1.El índice de alargamiento global, IL , se calcula como sigue:

$$IL = \frac{M_{13}}{M_{11} + M_{12}} \times 100$$

$M_{11} + M_{12}$: Masa total de la muestra empleada en la determinación del índice de alargamiento, g.

M_{13} : Masa de todas las partículas que quedaron retenidas en las barras del calibrador de alargamiento, g.

Tabla 44. Índice de alargamiento y aplanamiento de los agregados para carreteras. Punto #1

Índice De Alargamiento Y Aplanamiento De Los Agregados Para Carreteras							
Fuente	Rio Mulato		Caracterización Física- Mecánica Del Material De Arrastre Del Rio Mulato De Mocoa Putumayo				
Coordenadas							
Punto #1							
Nº Ensayos			Abertura Tamiz				
			1 1/2 "	1"	3/4"	1/2"	3/8"
1	Índice de aplanamiento IAI %		28,21	18,06	18,87	13,68	16,50
	% Índice de aplanamiento Global IA		24,31				
	Índice de alargamiento IL %		20,99	39,14	22,30	24,69	13,90
	% Índice de alargamiento Global IL		24,94				
2	Índice de aplanamiento IAI %		27,12	22,21	21,52	25,79	11,97
	% Índice de aplanamiento Global IA		25,20				
	Índice de alargamiento IL %		20,29	31,43	25,31	17,25	29,99
	% Índice de alargamiento Global IL		23,14				
3	Índice de aplanamiento IAI %		26,73	22,12	19,14	17,04	12,88
	% Índice de aplanamiento Global IA		20,49				
	Índice de alargamiento IL %		17,23	25,97	25,42	30,11	20,77
	% Índice de alargamiento Global IL		20,49				
4	Índice de aplanamiento IAI %		28,31	20,41	21,05	16,66	17,21
	% Índice de aplanamiento Global IA		25,26				
	Índice de alargamiento IL %		19,08	31,09	30,54	55,04	16,68
	% Índice de alargamiento Global IL		24,15				
5	Índice de aplanamiento IAI %		27,77	20,56	23,55	18,09	11,01
	% Índice de aplanamiento Global IA		25,05				
	Índice de alargamiento IL %		29,05	30,58	27,76	29,90	27,24
	% Índice de alargamiento Global IL		29,27				
6	Índice de aplanamiento IAI %		27,95	27,25	19,12	8,01	14,63
	% Índice de aplanamiento Global IA		25,89949525				
	Índice de alargamiento IL %		21,29	39,81	30,11	37,37	30,61
	% Índice de alargamiento Global IL		26,88				

Media aritmética	Índice de aplanamiento IAi %	27,68	21,77	20,54	16,55	14,04
	% Índice de aplanamiento Global IA	24,37				
	Índice de alargamiento IL %	21,32	33,00	26,91	32,39	23,20
	% Índice de alargamiento Global IL	24,81				
Mediana	Índice de aplanamiento IAi %	27,86	21,34	20,10	16,85	13,76
	% Índice de aplanamiento Global IA	25,13				
	Índice de alargamiento IL %	20,64	31,26	26,59	30,01	24,00
	% Índice de alargamiento Global IL	24,54				
Desviación estándar	Índice de aplanamiento IAi %	0,63	3,08	1,85	5,82	2,50
	% Índice de aplanamiento Global IA	1,97				
	Índice de alargamiento IL %	4,07	5,39	3,17	12,94	7,10
	% Índice de alargamiento Global IL	3,03				
Error estándar	Índice de aplanamiento IAi %	0,26	1,26	0,75	2,38	1,02
	% Índice de aplanamiento Global IA	0,80				
	Índice de alargamiento IL %	1,66	2,20	1,29	5,28	2,90
	% Índice de alargamiento Global IL	1,24				
Valor mínimo	Índice de aplanamiento IAi %	26,73	18,06	18,87	8,01	11,01
	% Índice de aplanamiento Global IA	20,49				
	Índice de alargamiento IL %	17,23	25,97	22,30	17,25	13,90
	% Índice de alargamiento Global IL	20,49				
Valor máximo	Índice de aplanamiento IAi %	28,31	27,25	23,55	25,79	17,21
	% Índice de aplanamiento Global IA	25,90				
	Índice de alargamiento IL %	29,05	39,81	30,54	55,04	30,61
	% Índice de alargamiento Global IL	29,27				

Fuente. Presente estudio.

Tabla 45. Índice de alargamiento y aplanamiento de los agregados para carreteras. Punto #2

Índice De Alargamiento Y Aplanamiento De Los Agregados Para Carreteras							
Fuente	Rio Mulato		Caracterización Física- Mecánica Del Material De Arrastre Del Rio Mulato De Mocoa Putumayo				
Coordenadas							
Punto #2							
N° Ensayos			Abertura Tamiz				
			1 1/2 "	1"	3/4"	1/2"	3/8"
1	Índice de aplanamiento I _{Ai} %		25,66	20,26	13,77	12,93	13,73
	% Índice de aplanamiento Global I _A		22,66				
	Índice de alargamiento I _L %		11,40	33,59	32,86	19,35	18,14
	% Índice de alargamiento Global I _L		18,50				
2	Índice de aplanamiento I _{Ai} %		25,66	13,00	11,88	11,95	9,24
	% Índice de aplanamiento Global I _A		20,81				
	Índice de alargamiento I _L %		14,21	29,50	32,10	21,12	18,97
	% Índice de alargamiento Global I _L		19,42				
3	Índice de aplanamiento I _{Ai} %		26,97	14,14	7,35	12,54	8,49
	% Índice de aplanamiento Global I _A		21,29				
	Índice de alargamiento I _L %		17,16	30,84	32,61	15,46	16,38
	% Índice de alargamiento Global I _L		21,29				
4	Índice de aplanamiento I _{Ai} %		26,88	18,13	10,85	13,69	13,31
	% Índice de aplanamiento Global I _A		22,76				
	Índice de alargamiento I _L %		20,53	24,00	32,53	12,98	20,88
	% Índice de alargamiento Global I _L		21,95				
5	Índice de aplanamiento I _{Ai} %		27,81	16,77	9,52	13,48	10,17
	% Índice de aplanamiento Global I _A		22,89				
	Índice de alargamiento I _L %		19,70	23,26	43,66	19,31	22,32
	% Índice de alargamiento Global I _L		22,58				
6	Índice de aplanamiento I _{Ai} %		23,74	17,36	11,21	12,36	12,11
	% Índice de aplanamiento Global I _A		20,52				
	Índice de alargamiento I _L %		12,64	33,29	26,76	20,15	18,49
	% Índice de alargamiento Global I _L		18,72				

Media aritmética	Índice de aplanamiento IAi %	26,12	16,61	10,76	12,83	11,17
	% Índice de aplanamiento Global IA	21,82				
	Índice de alargamiento IL %	15,94	29,08	33,42	18,06	19,20
	% Índice de alargamiento Global IL	20,41				
Mediana	Índice de aplanamiento IAi %	26,27	17,07	11,03	12,73	11,14
	% Índice de aplanamiento Global IA	21,98				
	Índice de alargamiento IL %	15,69	30,17	32,57	19,33	18,73
	% Índice de alargamiento Global IL	20,35				
desviación estándar	Índice de aplanamiento IAi %	1,43	2,66	2,18	0,67	2,19
	% Índice de aplanamiento Global IA	1,07				
	Índice de alargamiento IL %	3,77	4,50	5,53	3,15	2,11
	% Índice de alargamiento Global IL	1,75				
Error estándar	Índice de aplanamiento IAi %	0,58	1,09	0,89	0,27	0,89
	% Índice de aplanamiento Global IA	0,44				
	Índice de alargamiento IL %	1,54	1,84	2,26	1,29	0,86
	% Índice de alargamiento Global IL	0,72				
Valor mínimo	Índice de aplanamiento IAi %	23,74	13,00	7,35	11,95	8,49
	% Índice de aplanamiento Global IA	20,52				
	Índice de alargamiento IL %	11,40	23,26	26,76	12,98	16,38
	% Índice de alargamiento Global IL	18,50				
Valor máximo	Índice de aplanamiento IAi %	27,81	20,26	13,77	13,69	13,73
	% Índice de aplanamiento Global IA	22,89				
	Índice de alargamiento IL %	20,53	33,59	43,66	21,12	22,32
	% Índice de alargamiento Global IL	22,58				

Fuente. Presente estudio.

Tabla 46. Índice de alargamiento y aplanamiento de los agregados para carreteras. Punto #3

Índice De Alargamiento Y Aplanamiento De Los Agregados Para Carreteras						
Fuente	Rio Mulato	Caracterización Física- Mecánica Del Material De Arrastre Del Rio Mulato De Mocoa Putumayo				
Punto #3		Abertura Tamiz				
N° Ensayos		1 1/2 "	1"	3/4"	1/2"	3/8"
1	Índice de aplanamiento IAi %	15,70	20,90	13,29	11,76	12,27
	%Índice de aplanamiento Global IA	16,37				
	Índice de alargamiento IL %	14,41	24,63	17,78	13,91	21,09
	%Índice de alargamiento Global IL	16,99				
2	Índice de aplanamiento IAi %	13,97	10,00	8,64	13,68	6,21
	%Índice de aplanamiento Global IA	12,49				
	Índice de alargamiento IL %	13,35	33,00	29,09	18,79	18,49
	%Índice de alargamiento Global IL	19,23				
3	Índice de aplanamiento IAi %	16,85	20,01	6,88	10,69	6,48
	%Índice de aplanamiento Global IA	14,38				
	Índice de alargamiento IL %	10,44	25,76	16,63	9,36	17,64
	%Índice de alargamiento Global IL	14,38				
4	Índice de aplanamiento IAi %	12,46	10,37	14,64	6,63	7,24
	%Índice de aplanamiento Global IA	11,85				
	Índice de alargamiento IL %	7,99	19,32	27,55	13,68	21,30
	%Índice de alargamiento Global IL	12,48				
5	Índice de aplanamiento IAi %	13,32	21,93	22,67	12,49	6,31
	%Índice de aplanamiento Global IA	15,76				
	Índice de alargamiento IL %	11,86	18,98	24,90	10,74	4,22
	%Índice de alargamiento Global IL	14,28				
6	Índice de aplanamiento IAi %	15,56	20,00	28,66	16,92	8,25
	%Índice de aplanamiento Global IA	17,55				
	Índice de alargamiento IL %	13,71	25,15	16,57	17,37	12,81
	%Índice de alargamiento Global IL	16,52				

Media aritmética	Índice de aplanamiento IAi %	14,64	17,20	15,80	12,03	7,79
	% Índice de aplanamiento Global IA	14,73				
	Índice de alargamiento IL %	11,96	24,47	22,08	13,97	15,92
	% Índice de alargamiento Global IL	15,65				
Mediana	Índice de aplanamiento IAi %	14,76	20,00	13,96	12,13	6,86
	% Índice de aplanamiento Global IA	15,07				
	Índice de alargamiento IL %	12,61	24,89	21,34	13,79	18,06
	% Índice de alargamiento Global IL	15,45				
desviación estándar	Índice de aplanamiento IAi %	1,66	5,48	8,38	3,40	2,32
	% Índice de aplanamiento Global IA	2,24				
	Índice de alargamiento IL %	2,41	5,13	5,76	3,65	6,51
	% Índice de alargamiento Global IL	2,41				
Error estándar	Índice de aplanamiento IAi %	0,68	2,24	3,42	1,39	0,95
	% Índice de aplanamiento Global IA	0,91				
	Índice de alargamiento IL %	0,98	2,09	2,35	1,49	2,66
	% Índice de alargamiento Global IL	0,98				
Valor mínimo	Índice de aplanamiento IAi %	12,46	10,00	6,88	6,63	6,21
	% Índice de aplanamiento Global IA	11,85				
	Índice de alargamiento IL %	7,99	18,98	16,57	9,36	4,22
	% Índice de alargamiento Global IL	12,48				
Valor máximo	Índice de aplanamiento IAi %	16,85	21,93	28,66	16,92	12,27
	% Índice de aplanamiento Global IA	17,55				
	Índice de alargamiento IL %	14,41	33,00	29,09	18,79	21,30
	% Índice de alargamiento Global IL	19,23				

Fuente. Presente estudio.

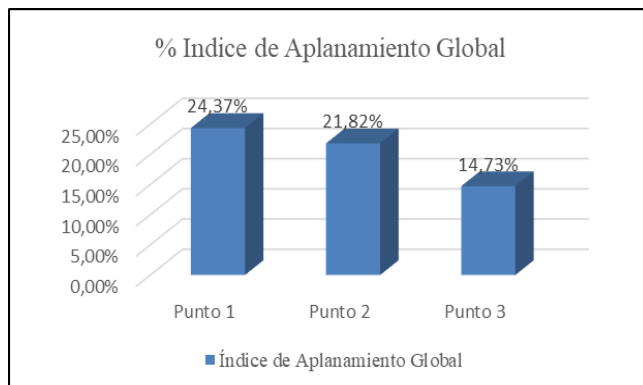
Se resumen el ensayo en unidades de media aritmética de los tres puntos de extracción:

Tabla 47. Resumen de índice aplanamiento global para los puntos 1,2,3.

Índice De Aplanamiento De Los Agregados Para Carreteras	
% Índice de aplanamiento Global IA	
Media aritmética Punto #1, #2, #3	
Punto 1	24,37%
Punto 2	21,82%
Punto 3	14,73%

Fuente. Presente estudio.

Figura 58. Resumen de índice aplanamiento global para los puntos 1,2,3.

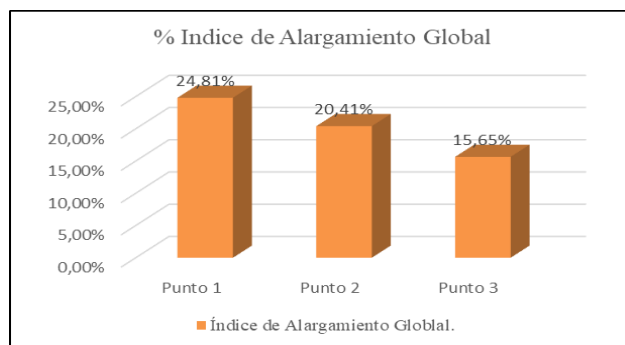


Fuente. Presente estudio.

Tabla 48. Resumen de índice alargamiento global para los puntos 1,2,3.

Índice De Alargamiento De Los Agregados Para Carreteras	
% Índice de alargamiento Global IL	
Media aritmética Punto #1, #2, #3	
Punto 1	24,81%
Punto 2	20,41%
Punto 3	15,65%

Figura 59. Resumen de índice alargamiento global para los puntos 1,2,3.



Fuente. Presente estudio.

9.8.3. Observaciones.

Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para la determinación de los índices de aplanamiento y de alargamiento de los agregados. Es un parámetro importante para el diseño y la selección de materiales para obras de infraestructura,

componentes esenciales en la construcción de carreteras, pavimentos, hormigón, entre otros. En la construcción de carreteras y pavimentos, en las capas granulares las partículas planas y alargadas son propensas a rotura y desintegración durante el proceso de compactación, modificando la granulometría del agregado y afectando adversamente a su comportamiento. Los parámetros y la normativa INVIAS establecen para bases granulares CLASE C, CLASE B y CLASE A un valor máximo (%) de 35, artículo 320 - 330. En la producción de hormigón, los agregados con formas más angulares tienden a proporcionar una mejor adherencia entre partículas y una mayor resistencia a la compresión. INVIAS, artículo 630, especifica que para concreto estructural el valor máximo (%) es de 25.

9.9.INV E 227 - Porcentaje de caras fracturadas en un agregado grueso.

Se calcula el porcentaje en masa o el porcentaje obtenido por conteo, de partículas que presentan el número especificado de caras fracturadas, redondeado al 1 % de acuerdo con la siguiente expresión:

$$P = \frac{F}{F + N} \times 100$$

Donde:

P: Porcentaje de partículas con el número especificado de caras fracturadas.

F: Masa o número de partículas fracturadas con, al menos, el número de caras fracturadas especificado;

N: Masa o número de partículas en la categoría de no fracturadas que no cumple el criterio de partículas fracturadas.

Tabla 49. INV E 227 - Porcentaje de caras fracturadas en un agregado grueso. Punto 1

Porcentaje De Caras Fracturadas En Un Agregado Grueso					
Fuente	Rio Mulato		Caracterización Física- Mecánica Del Material De Arrastre Del Rio Mulato De Mocoa Putumayo		
Coordenadas					
Punto #1					
Muestra	% P				
	Abertura Tamiz				
	1 1/2 "	1"	3/4"	1/2"	3/8"
1	40,22	53,19	46,95	58,36	65,92
2	42,31	48,38	45,75	57,89	78,91
3	61,31	42,20	58,63	70,55	66,77
4	60,62	89,12	68,06	89,39	78,43
5	51,28	57,33	72,45	69,00	91,79
6	66,49	77,92	72,17	74,37	77,13
Media aritmética	53,71	61,36	60,67	69,93	76,49
Mediana	55,95	55,26	63,35	69,77	77,78
Desviación estándar	10,83	18,24	12,17	11,65	9,49
Error estándar	4,42	7,45	4,97	4,76	3,87
Valor mínimo	40,22	42,20	45,75	57,89	65,92
Valor máximo	66,49	89,12	72,45	89,39	91,79

Fuente. Presente estudio.

Tabla 50. INV E 227 - Porcentaje de caras fracturadas en un agregado grueso. Punto 2

Porcentaje De Caras Fracturadas En Un Agregado Grueso					
Fuente	Rio Mulato		Caracterización Física- Mecánica Del Material De Arrastre Del Rio Mulato De Mocoa Putumayo		
Coordenadas					
Punto #2					
Muestra	% P				
	Abertura Tamiz				
	1 1/2 "	1"	3/4"	1/2"	3/8"
1	90,77	63,21	73,96	90,82	91,72
2	71,60	59,94	78,34	86,16	87,05
3	72,13	68,09	85,29	90,11	89,94
4	83,52	95,52	92,67	84,09	92,34
5	81,75	65,84	79,71	81,72	83,25
6	72,36	70,77	80,58	81,24	86,98
Media aritmética	78,69	70,56	81,76	85,69	88,55
Mediana	77,06	66,97	80,15	85,13	88,50
Desviación estándar	7,90	12,79	6,48	4,11	3,44
Error estándar	3,22	5,22	2,64	1,68	1,40
Valor mínimo	71,60	59,94	73,96	81,24	83,25
Valor máximo	90,77	95,52	92,67	90,82	92,34

Fuente. Presente estudio.

Tabla 51. INV E 227 - Porcentaje de caras fracturadas en un agregado grueso. Punto 3

Porcentaje De Caras Fracturadas En Un Agregado Grueso					
Fuente	Rio Mulato		Caracterización Física- Mecánica Del Material De Arrastre Del Rio Mulato De Mocoa Putumayo		
Coordenadas					
Punto #3					
Muestra	% P				
	Abertura Tamiz				
	1 1/2 "	1"	3/4"	1/2"	3/8"
1	83,42	89,05	94,96	97,57	94,38
2	90,04	92,01	93,76	96,61	98,72
3	86,30	91,60	98,42	99,36	100,00
4	84,61	92,29	96,12	94,25	97,49
5	90,84	91,54	98,18	94,43	98,76
6	85,06	92,64	89,37	96,78	98,04
Media aritmética	86,71	91,52	95,13	96,50	97,90
Mediana	85,68	91,81	95,54	96,69	98,38
Desviación estándar	3,04	1,28	3,35	1,94	1,92
Error estándar	1,24	0,52	1,37	0,79	0,78
Valor mínimo	83,42	89,05	89,37	94,25	94,38
Valor máximo	90,84	92,64	98,42	99,36	100,00

Fuente. Presente estudio.

9.9.1. Observaciones.

El ensayo de porcentaje de caras fracturadas en un agregado grueso se realiza con el fin de verificar que la calidad y las características del material cumplan con lo establecido. El porcentaje de caras fracturadas en el agregado grueso influye de manera importante en la durabilidad, resistencia, seguridad y desempeño estructural y funcional de los materiales, para obras como carreteras y pavimentos, hormigón, obras hidráulicas, obras de contención y estructuras de drenaje.

Tabla 52. Resumen de media aritmética de % de caras fracturadas puntos 1,2,3.

Punto De Recolección	% Porcentaje De Caras Fracturadas	Abertura Tamiz				
		1 1/2 "	1"	3/4"	1/2"	3/8"
#1	Min	40,22	42,20	45,75	57,89	65,92
	Max	66,49	89,12	72,45	89,39	91,79
	M. Aritmética	53,71	61,36	60,67	69,93	76,49
#2	Min	71,60	59,94	73,96	81,24	83,25
	Max	90,77	95,52	92,67	90,82	92,34
	M. Aritmética	78,69	70,56	81,76	85,69	88,55
#3	Min	83,42	89,05	89,37	94,25	94,38
	Max	90,84	92,64	98,42	99,36	100,00
	M. Aritmética	86,71	91,52	95,13	96,50	97,90

Fuente. Presente estudio.

Los estándares establecidos por la normativa INVIAS, artículo 320 – 330 indica que para bases granulares:

Clase A Con Una Cara Fracturada: el valor mínimo es de 100%, indicando así que el material de ningún punto cumple con el requerimiento.

Clase A Con Dos O Mas Caras Fracturada: el valor mínimo es de 70%, indicando así que el material de solo los puntos 2 y 3 cumple con el requerimiento.

Clase B Con Una Cara Fracturada: valor mínimo es de 70% indicando así que el material de solo los puntos 2 y 3 cumplen con el requerimiento.

Clase B Con Dos O Mas Caras Fracturadas: valor mínimo es de 50% indicando que el material de todos los tres puntos cumple con el requerimiento.

Clase C Con Una Cara Fracturada: valor mínimo es de 50%, indicando que el material de todos los tres puntos cumple con el requerimiento.

9.10. INV E 222 - Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) Y De

Absorción Del Agregado Fino

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica) } SH = \frac{A}{(B+S-C)}$$

$$\text{Densidad (SH), } \frac{kg}{m^3} = \frac{997.5 A}{(B+S-C)}$$

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica) } SSS = \frac{S}{(B+S-C)}$$

$$\text{Densidad (SSS), } \frac{kg}{m^3} = \frac{997.5 S}{(B+S-C)}$$

$$\text{Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) } = \frac{A}{(B+A-C)}$$

$$\text{Densidad aparente } \frac{kg}{m^3} = \frac{997.5 A}{(B+A-C)}$$

$$\text{Absorción, \% } \frac{S-A}{A} \times 100$$

Símbolos:

A: Masa al aire de la muestra seca al horno, g.

B: Masa del picnómetro aforado lleno de agua, g.

C: Masa total del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua, g.

S: Masa de la muestra saturada y superficialmente seca (usada para hallar la densidad y la densidad relativa en el procedimiento gravimétrico o la absorción en ambos procedimientos), g.

Tabla 53. INV E 222 - Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y de absorción del agregado fino. Punto #1.

Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Especifica) Y De Absorción Del Agregado Fino							
Fuente	Rio Mulato		Caracterización Física- mecánica Del Material De Arrastre Del Rio Mulato De Mocoa Putumayo				
Coordenadas							
Punto #1							
Muestra	Densidad Relativa SH	Densidad Relativa SSS	Densidad Relativa Aparente	Densidad SH (kg/m³)	Densidad SSS (kg/m³)	Densidad Aparente (kg/m³)	Absorción %
1	2,544	2,616	2,741	2538,09	2609,57	2733,99	2,816
2	2,534	2,603	2,723	2527,76	2596,82	2715,79	2,732
3	2,572	2,628	2,726	2565,82	2621,91	2718,69	2,186
4	2,675	2,741	2,865	2668,19	2734,25	2857,43	2,476
5	2,685	2,745	2,859	2677,87	2738,61	2851,50	2,268
6	2,555	2,621	2,737	2548,12	2614,52	2729,82	2,606
Media aritmética	2,59	2,66	2,77	2587,64	2652,61	2767,87	2,51
Mediana	2,56	2,62	2,74	2556,97	2618,21	2731,91	2,54
Desviación estándar	0,07	0,07	0,07	67,39	65,45	67,44	0,25
Error estándar	0,03	0,03	0,03	27,51	26,72	27,53	0,10
Valor mínimo	2,53	2,60	2,72	2527,76	2596,82	2715,79	2,19
Valor máximo	2,68	2,75	2,86	2677,87	2738,61	2857,43	2,82

Fuente. Presente estudio.

Tabla 54. INV E 222 - Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y de absorción del agregado fino. Punto #2.

Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Especifica) Y De Absorción Del Agregado Fino							
Fuente	Rio Mulato		Caracterización Física- Mecánica Del Material De Arrastre Del Rio Mulato De Mocoa Putumayo				
Coordenadas							
Punto #2							
Muestra	Densidad Relativa SH	Densidad Relativa SSS	Densidad Relativa Aparente	Densidad SH (kg/m³)	Densidad SSS (kg/m³)	Densidad Aparente (kg/m³)	Absorción %
1	2,058	2,118	2,190	2052,84	2112,77	2184,07	2,920
2	2,577	2,635	2,734	2570,93	2628,15	2727,39	2,226
3	2,547	2,606	2,706	2540,51	2599,21	2699,38	2,311
4	2,567	2,621	2,712	2560,89	2614,19	2705,45	2,081
5	2,556	2,610	2,703	2549,46	2603,60	2695,78	2,124
6	2,590	2,634	2,711	2583,22	2627,82	2704,13	1,727
Media aritmética	2,48	2,54	2,63	2476,31	2530,96	2619,37	2,23
Mediana	2,56	2,62	2,71	2555,18	2608,90	2701,75	2,17
desviación estándar	0,21	0,21	0,21	208,01	205,22	213,54	0,39
Error estándar	0,09	0,08	0,09	84,92	83,78	87,18	0,16
Valor mínimo	2,06	2,12	2,19	2052,84	2112,77	2184,07	1,73
Valor máximo	2,59	2,63	2,73	2583,22	2628,15	2727,39	2,92

Fuente. Presente estudio.

Tabla 55. INV E 222 - Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y de absorción del agregado fino. Punto #3.

Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Especifica) Y De Absorción Del Agregado Fino							
Fuente	Rio Mulato		Caracterización Física- Mecánica Del Material De Arrastre Del Rio Mulato De Mocoa Putumayo				
Coordenadas							
Punto #3							
Muestra	Densidad Relativa SH	Densidad Relativa SSS	Densidad Relativa Aparente	Densidad SH (kg/m³)	Densidad SSS (kg/m³)	Densidad Aparente (kg/m³)	Absorción %
1	2,473	2,571	2,742	2466,58	2564,49	2735,03	3,969
2	2,482	2,577	2,741	2476,02	2570,07	2733,76	3,798
3	2,500	2,602	2,784	2493,75	2595,37	2776,61	4,075
4	2,530	2,615	2,765	2523,46	2608,41	2758,36	3,366
5	2,438	2,548	2,741	2431,50	2541,77	2733,70	4,535
6	2,558	2,642	2,794	2551,16	2635,42	2786,56	3,303
Media aritmética	2,50	2,59	2,76	2490,41	2585,92	2754,00	3,84
Mediana	2,49	2,59	2,75	2484,89	2582,72	2746,69	3,88
desviación estándar	0,04	0,03	0,02	42,52	33,78	23,54	0,46
Error estándar	0,02	0,01	0,01	17,36	13,79	9,61	0,19
Valor mínimo	2,44	2,55	2,74	2431,50	2541,77	2733,70	3,30
Valor máximo	2,56	2,64	2,79	2551,16	2635,42	2786,56	4,54

Fuente. Presente estudio.

9.10.1. Observaciones.

La densidad y la densidad relativa del agregado fino son especificaciones técnicas importantes, nos indica la relación entre la densidad del material y la densidad del agua. La densidad relativa es crucial para determinar la calidad y aptitud del agregado fino. La absorción del agregado fino es el indicador de la cantidad de agua que puede ser absorbida por el material cuando está completamente sumergido en agua durante un periodo de tiempo especificado.

Tabla 56. Resumen Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y de absorción del agregado fino, punto 1,2,3.

Punto de recolección	Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y de absorción del agregado fino	Densidad Relativa SH	Densidad Relativa SSS	Densidad Relativa Aparente	Densidad SH (kg/m ³)	Densidad SSS (kg/m ³)	Densidad Aparente (kg/m ³)	Absorción %
#1	Min	2,53	2,60	2,72	2527,76	2596,82	2715,79	2,19
	Max	2,68	2,75	2,86	2677,87	2738,61	2857,43	2,82
	M. Arit	2,59	2,66	2,77	2587,64	2652,61	2767,87	2,51
#2	Min	2,06	2,12	2,19	2052,84	2112,77	2184,07	1,73
	Max	2,59	2,63	2,73	2583,22	2628,15	2727,39	2,92
	M. Arit	2,48	2,54	2,63	2476,31	2530,96	2619,37	2,23
#3	Min	2,44	2,55	2,74	2431,50	2541,77	2733,70	3,30
	Max	2,56	2,64	2,79	2551,16	2635,42	2786,56	4,54
	M. Arit	2,50	2,59	2,76	2490,41	2585,92	2754,00	3,84

Fuente. Presente estudio.

Obtener los resultados de este ensayo es esencial en la construcción o mantenimiento vial por razones muy importantes como resistencia estructural, estabilidad y durabilidad del pavimento, absorción de agua y resistencia a la intemperie y reducción del riesgo de deterioro. La densidad del agregado se encuentra dentro de un intervalo especificado en la revista ASOCRETO dentro de los límites de 2.3 a 2.8 gr/cm^3 . El valor máximo para el % de absorción es de 4, una baja absorción ayuda a reducir el riesgo de deterioro de las estructuras viales debido a la acción del agua, la erosión y otros factores ambientales adversos. Los resultados indican ser adecuados e idóneos conforme a los criterios establecidos.

9.11. INV E 223 - Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) Y De Absorción Del Agregado Grueso.

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica) } SH = \frac{A}{(B-C)}$$

$$\text{Densidad (SH), } kg/m^3 = \frac{997.5 A}{(B-C)}$$

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica) } SSS = \frac{B}{(B-C)}$$

$$\text{Densidad (SSS), } kg/m^3 = \frac{997.5 B}{(B-C)}$$

$$\text{Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) } = \frac{A}{(A-C)}$$

$$\text{Densidad aparente } kg/m^3 = \frac{997.5 A}{(A-C)}$$

$$\text{Absorción, \% } \frac{B-A}{A} \times 100$$

Donde:

A: Masa al aire de la muestra seca al horno, g.

B: Masa al aire de la muestra saturada y superficialmente seca, g.

C: Masa aparente de la muestra saturada en agua, g.

Tabla 57. INV E 223 - Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y de absorción del agregado grueso. Punto #1

Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Especifica) Y De Absorción Del Agregado Grueso							
Fuente	Rio Mulato		Caracterización Física- Mecánica Del Material De Arrastre Del Rio Mulato De Mocoa Putumayo				
Coordenadas							
Punto #1							
Muestra	Densidad Relativa SH	Densidad Relativa SSS	Densidad Relativa Aparente	Densidad SH (kg/m³)	Densidad SSS (kg/m³)	Densidad Aparente (kg/m³)	Absorción %
1	2,599	2,633	2,691	2592,15	2626,23	2683,85	1,315
2	2,600	2,637	2,701	2593,15	2630,61	2694,34	1,445
3	2,590	2,627	2,690	2583,81	2620,67	2682,96	1,427
4	2,604	2,640	2,701	2597,97	2633,72	2694,53	1,376
5	2,616	2,648	2,702	2609,62	2641,38	2695,44	1,217
6	2,619	2,649	2,701	2612,38	2642,85	2694,70	1,166
Media aritmética	2,60	2,64	2,70	2598,18	2632,58	2690,97	1,32
Mediana	2,60	2,64	2,70	2595,56	2632,16	2694,44	1,35
Desviación estándar	0,01	0,01	0,01	10,96	8,60	5,88	0,11
Error estándar	0,00	0,00	0,00	4,47	3,51	2,40	0,05
Valor mínimo	2,59	2,63	2,69	2583,81	2620,67	2682,96	1,17
Valor máximo	2,62	2,65	2,70	2612,38	2642,85	2695,44	1,44

Fuente. Presente estudio.

Tabla 58. INV E 223 - Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y de absorción del agregado grueso. Punto #2.

Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) Y De Absorción Del Agregado Grueso							
Fuente	Rio Mulato		Caracterización Física- Mecánica Del Material De Arrastre Del Rio Mulato De Mocoa Putumayo				
Coordenadas							
Punto #2							
Muestra	Densidad Relativa SH	Densidad Relativa SSS	Densidad Relativa Aparente	Densidad SH (kg/m³)	Densidad SSS (kg/m³)	Densidad Aparente (kg/m³)	Absorción %
1	2,671	2,700	2,750	2664,43	2693,21	2743,60	1,080
2	2,548	2,584	2,643	2541,74	2577,51	2636,26	1,407
3	2,620	2,644	2,684	2613,12	2637,15	2677,62	0,920
4	2,616	2,650	2,707	2609,73	2643,21	2700,38	1,283
5	2,614	2,646	2,701	2607,21	2639,61	2694,75	1,243
6	2,620	2,656	2,720	2613,20	2649,81	2712,77	1,401
Media aritmética	2,61	2,65	2,70	2608,24	2640,08	2694,23	1,22
Mediana	2,62	2,65	2,70	2611,42	2641,41	2697,56	1,26
Desviación estándar	0,04	0,04	0,04	39,07	37,02	35,93	0,19
Error estándar	0,02	0,02	0,01	15,95	15,11	14,67	0,08
Valor mínimo	2,55	2,58	2,64	2541,74	2577,51	2636,26	0,92
Valor máximo	2,67	2,70	2,75	2664,43	2693,21	2743,60	1,41

Fuente. Presente estudio.

Tabla 59. INV E 223 - Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y de absorción del agregado grueso. Punto #3.

Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) Y De Absorción Del Agregado Grueso							
Fuente	Rio Mulato		Caracterización Física- Mecánica Del Material De Arrastre Del Rio Mulato De Mocoa Putumayo				
Coordenadas							
Punto #3							
Muestra	Densidad Relativa SH	Densidad Relativa SSS	Densidad Relativa Aparente	Densidad SH (kg/m³)	Densidad SSS (kg/m³)	Densidad Aparente (kg/m³)	Absorción %
1	2,616	2,645	2,695	2609,32	2638,62	2688,27	1,123
2	2,606	2,640	2,698	2599,93	2633,81	2691,33	1,303
3	2,618	2,648	2,699	2611,19	2641,35	2692,59	1,155
4	2,621	2,646	2,689	2614,72	2639,78	2682,11	0,959
5	2,612	2,642	2,695	2604,98	2635,77	2687,95	1,182
6	2,658	2,686	2,736	2651,17	2679,68	2729,18	1,075
Media aritmética	2,62	2,65	2,70	2615,22	2644,83	2695,24	1,13
Mediana	2,62	2,65	2,70	2610,26	2639,20	2689,80	1,14
Desviación estándar	0,02	0,02	0,02	18,34	17,29	17,02	0,11
Error estándar	0,01	0,01	0,01	7,49	7,06	6,95	0,05
Valor mínimo	2,61	2,64	2,69	2599,93	2633,81	2682,11	0,96
Valor máximo	2,66	2,69	2,74	2651,17	2679,68	2729,18	1,30

Fuente. Presente estudio.

9.11.1. Observaciones.

Este ensayo sirve como herramienta importante en la evaluación y la selección de materiales para la construcción de las estructuras viales, asegurando calidad en la infraestructura vial, evaluando las propiedades físicas. Al seleccionar los materiales adecuados por los parámetros que indica este ensayo, se está garantizando requisitos como densidad, compacidad y resistencia necesarios para soportar el tráfico y las condiciones climáticas.

Tabla 60. Resumen densidad, densidad relativa (gravedad específica) y de absorción del agregado grueso, puntos 1,2,3.

Punto De Recolección	Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) Y De Absorción Del Agregado Grueso	Densidad Relativa SH	Densidad Relativa SSS	Densidad Relativa Aparente	Densidad SH (kg/m ³)	Densidad SSS (kg/m ³)	Densidad Aparente (kg/m ³)	Absorción %
#1	Min	2,59	2,63	2,69	2583,81	2620,67	2682,96	1,17
	Max	2,62	2,65	2,70	2612,38	2642,85	2695,44	1,44
	M. Arit	2,60	2,64	2,70	2598,18	2632,58	2690,97	1,32
#2	Min	2,55	2,58	2,64	2541,74	2577,51	2636,26	0,92
	Max	2,67	2,70	2,75	2664,43	2693,21	2743,60	1,41
	M. Arit	2,61	2,65	2,70	2608,24	2640,08	2694,23	1,22
#3	Min	2,61	2,64	2,69	2599,93	2633,81	2682,11	0,96
	Max	2,66	2,69	2,74	2651,17	2679,68	2729,18	1,30
	M. Arit	2,62	2,65	2,70	2615,22	2644,83	2695,24	1,13

Fuente. Presente estudio.

Obtener los resultados de este ensayo es esencial en la construcción o mantenimiento vial por razones muy importantes como resistencia estructural, estabilidad y durabilidad del pavimento, absorción de agua y resistencia a la intemperie y reducción del riesgo de deterioro. La densidad del agregado se encuentra dentro de un intervalo especificado en la revista ASOCRETO dentro de los límites de 2.3 a 2.8 gr/cm^3 . El valor máximo para el % de absorción es de 4, una baja absorción ayuda a reducir el riesgo de deterioro de las estructuras viales debido a la acción del agua, la erosión y otros factores ambientales adversos. Los resultados indican ser adecuados e idóneos conforme a los criterios establecidos.

9.12. INV E 218 - Resistencia a la degradación de los agregados menores de 37,5 mm (1 1/2 ") por medio de la Máquina de los Ángeles

$$\% \text{ pérdidas} = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$$

Donde:

P_1 : Masa de la muestra seca antes del ensayo, g.

P_2 : Masa de la muestra seca después del ensayo, previo lavado sobre tamiz de 1.70 mm (No.12), g.

Tabla 61. INV E 218 - Resistencia a la degradación de los agregados menores de 37,5 mm (1 1/2

") por medio de la máquina de los ángeles. Punto #1.

Resistencia A La Degradación Por Medio De La Máquina De Los Ángeles			
Fuente	Rio Mulato	Punto #1	Caracterización Física- Mecánica Del Material De Arrastre Del Rio Mulato De Mocoa Putumayo
Coordenadas			
Tipo de Degradación		A	
Numero de Esferas		12	
Muestra	PESO INICIAL Pa (g)	Peso Final lavado sobre tamiz #12 Pb(g)	Porcentaje De Desgaste %
1	5005,5	4017,3	19,74
2	4998,5	3890,8	22,16
3	4997,4	3929,6	21,37
4	5007,9	3931,8	21,49
5	4996,9	3867,8	22,60
6	5001,5	3945,5	21,11
Media aritmética			21,41
Mediana			21,43
Desviación estándar			0,98
Error estándar			0,40
Valor mínimo			19,74
Valor máximo			22,60

Fuente. Presente estudio.

Tabla 62. INV E 218 - resistencia a la degradación de los agregados menores de 37,5 mm (1 1/2

") por medio de la máquina de los ángeles. Punto #2.

Resistencia A La Degradación Por Medio De La Máquina De Los Ángeles			
Fuente	Rio Mulato	Punto #2	Caracterización Física- Mecánica Del Material De Arrastre Del Rio Mulato De Mocoa Putumayo
Coordenadas			
Tipo de Degradación		A	
Numero de Esferas	12		
Muestra	Peso Inicial Pa (g)	Peso Final lavado sobre tamiz #12 Pb(g)	Porcentaje De Desgaste %
1	5000,3	3987,8	20,25
2	5000,3	4022,3	19,56
3	4999	3872,6	22,53
4	5002,3	3835	23,34
5	4999,9	3889,6	22,21
6	5002,5	3996,8	20,10
Media aritmética			21,33
Mediana			21,23
Desviación estándar			1,55
Error estándar			0,63
Valor mínimo			19,56
Valor máximo			23,34

Fuente. Presente estudio.

Tabla 63. INV E 218 - Resistencia a la degradación de los agregados menores de 37,5 mm (1 1/2

") por medio de la máquina de los ángeles. Punto #3.

Resistencia A La Degradación Por Medio De La Máquina De Los Ángeles			
Fuente	Rio Mulato	Punto #3	Caracterización Física- Mecánica Del Material De Arrastre Del Rio Mulato De Mocoa Putumayo
Coordenadas			
Tipo de Degradación		A	
Numero de Esferas	12		
Muestra	Peso Inicial Pa (g)	Peso Final lavado sobre tamiz #12 Pb(g)	Porcentaje De Desgaste %
1	5000,5	3910,5	21,80
2	5000,8	3946,7	21,08
3	4998,7	3980,9	20,36
4	5003	3910,1	21,84
5	5000,2	3981,1	20,38
6	5000,3	3922,6	21,55
Media aritmética			21,17
Mediana			21,32
Desviación estándar			0,68
Error estándar			0,28
Valor mínimo			20,36
Valor máximo			21,84

Fuente. Presente estudio.

9.12.1. Observaciones.

Este ensayo es un método utilizado para evaluar la resistencia de los agregados gruesos a la abrasión y al desgaste. Un material con alta resistencia a la degradación tendrá una vida útil más larga y requerirá menos mantenimiento, lo que reduce los costos a largo plazo de la infraestructura vial.

Tabla 64. Resumen resistencia a la degradación de los agregados menores de 37,5 mm (1 1/2 ") por medio de la máquina de los ángeles.

Porcentaje De Desgaste %			
Punto De Recolección	% Mínimo de desgaste de las muestras	% Máximo desgaste de las muestras	Media aritmética de % de desgaste de las muestras
#1	19,74	22,60	21,41
#2	19,56	23,34	21,33
#3	20,36	21,84	21,17

Fuente. Presente estudio.

El resultado que se pueda obtener de este ensayo es importante porque garantiza que los materiales cumplan con estas normativas y especificaciones técnicas, asegurando así la calidad y la seguridad en procesos civiles. El instituto nacional de vías INVIAS Colombia establece que el desgaste en la maquina de los Ángeles (Gradación A) máximo (%) con 500 revoluciones para bases granulares CLASE C y CLASE B es de 40 y para CLASE A es de 35 (art. 330) y para subbases Clase C, Clase B y Clase C es 50% (art. 320) indicando así que los valores obtenidos de los ensayos en los tres diferentes puntos de extracción son certeros y cumplen con los estándares.

Para concreto estructurales el parámetro de medición para el degaste en la maquina de los Ángeles con 500 revoluciones su máximo es de 40%, estableciendo que para tipo de construcción como: puentes, estructuras de drenajes, muros de contención y

estructuras en general cumple con el requisito del parámetro evaluativo, concluyendo que el material en los tres puntos de extracción que se realizaron cumple satisfactoriamente.

10. Conclusiones

Los valores humedad óptima obtenidos, indican que los suelos granulares de los puntos de extracción están dentro de los rangos ideales para su uso en obras de construcción, cumpliendo con los parámetros establecidos por el INVIAS.

Los porcentajes de material que pasa a través del tamiz 75 μ m, están por debajo del límite del 5% establecido por el INVIAS, sugiriendo que el agregado tiene una calidad adecuada y una menor susceptibilidad a la erosión y al lavado por agua.

Aunque algunos resultados no cumplen con los estándares para concretos estructurales en el ensayo de terrones de arcilla y partículas deleznales, los valores obtenidos para agregado grueso y agregado finos son aceptables para bases y subbases, indicando buena calidad del material y baja susceptibilidad a la degradación.

Los valores del índice de alargamiento y aplanamiento cumplen con los estándares establecidos, demostrando buena forma de las partículas, menor propensión a la desintegración y mejor estabilidad y durabilidad de las estructuras viales.

Los altos valores de equivalente arena sugieren que el material es de buena calidad, con buena capacidad de drenaje, mayor resistencia a la deformación y menor susceptibilidad a la erosión.

Los resultados del ensayo de caras fracturadas son esenciales para la construcción y mantenimiento vial debido a su impacto en la resistencia estructural, estabilidad del pavimento, absorción de agua, resistencia a la intemperie y reducción del riesgo de deterioro. Aunque algunos puntos no cumplen con los requisitos para ciertas clases, es importante considerar estos resultados en el contexto de las aplicaciones específicas y las condiciones del sitio. Los puntos

que cumplen con los requisitos normativos pueden ser utilizados con confianza en la construcción de infraestructuras viales, mientras que los puntos que no cumplen pueden requerir tratamientos adicionales o ser destinados a aplicaciones exigentes.

Los resultados de densidad, densidad relativa y absorción del agregado cumplen con las normativas vigentes, lo que indica que el material es adecuado para su uso en procesos constructivos, con baja absorción que ayuda a reducir el riesgo de deterioro por acción del agua.

Los agregados de los puntos de extracción dos y tres son adecuados para bases granulares clase B y C, proporcionando estabilidad, fricción y textura adecuada para tratamientos superficiales en carreteras.

Los resultados del ensayo de desgaste en la máquina de los Ángeles confirman la idoneidad del material para su uso en bases granulares, subbases y concretos hidráulicos, garantizando la durabilidad y estabilidad de las estructuras viales. Para el concreto estructural, donde la resistencia y durabilidad son críticas, el parámetro de desgaste en la máquina de los Ángeles con 500 revoluciones tiene un máximo de 40%. Los resultados indican que los materiales de los tres puntos de extracción cumplen satisfactoriamente con este requisito, lo que los hace adecuados para la construcción de puentes, estructuras de drenaje, muros de contención y otras estructuras civiles en general.

La caracterización del material de arrastre del río Mulato demuestra que es apto para su utilización en la construcción de infraestructuras viales y civiles. Los resultados obtenidos respaldan su conformidad con las normativas vigentes, proporcionando una base sólida para su aprovechamiento en futuros proyectos constructivos. Este estudio no solo asegura la calidad y seguridad de las obras, sino que también facilita el uso sostenible de recursos locales, contribuyendo al desarrollo eficiente y seguro de las infraestructuras en la región.

11. Recomendaciones

En base a los resultados obtenidos del material del río Mulato se recomienda y se dan algunas indicaciones para asegurar la calidad, seguridad y la durabilidad de las obras de construcción.

Realizar estudios que analicen la variabilidad temporal de las propiedades físicas y mecánicas del material del río Mulato para comprender mejor su comportamiento a lo largo del tiempo y su influencia en la construcción.

Realizar un análisis de impacto ambiental para evaluar las implicaciones ambientales de la extracción y uso del material del río Mulato en proyectos de construcción, incluyendo medidas de mitigación y conservación.

Realizar un análisis de costo-beneficio para determinar la viabilidad económica de utilizar el material del río Mulato en comparación con otras fuentes de agregados en la región.

Investigar y desarrollar métodos de extracción más eficientes y sostenibles para obtener el material del río Mulato, minimizando así el impacto ambiental y los costos asociados.

Realizar un seguimiento de la estabilidad a largo plazo de las estructuras construidas utilizando el material del río Mulato, para evaluar su desempeño y durabilidad en condiciones reales de uso.

Implementar estas recomendaciones en futuras recomendaciones ayudara a ampliar el conocimiento sobre el río Mulato, optimizar su uso en proyectos de construcción y promover prácticas más sostenibles y eficientes en el sector de la ingeniería civil.

12. Lista de referencias

1. Aguilar-Barojas, S. (2005). Redalyc.Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud. Redalyc. Retrieved May 17, 2023, from <https://www.redalyc.org/pdf/487/48711206.pdf>
2. Bracamonte, m., Vertel, m., Melba, l., & Cepeda Coronado, j. A. (2013). Caracterización físico-mecánica de agregados pétreos de la formación geológica Toluviejo (sucre) para producción de concreto. Obtenido de universidad tecnológica de Pereira: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84929153020>
3. Carofilis, w., & hidalgo, s. (2013). Control de calidad y caracterización de materiales de hormigón compactado con rodillo HCR utilizado en el proceso constructivo de la presa Manduriaco. Obtenido de tesis para obtener el título de ingeniero civil. Escuela superior politécnica del litoral: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/24646/1/control%20de%20calidad%20y%20caracterizacion%20de%20materiales%20de%20hormigon%20compactado%20con%20rodillo%28hcr%29%20utilizado%20en%20el%20proceso%20constructivo%20en%20la%20presa%20manduriacu>.
4. Contreras, l. (2015). Caracterización mineralógica del proceso metalúrgico y su impacto en la producción de concentrados de cu y mo en cmdic. Obtenido de memoria para optar al título de geólogo, universidad de chile: <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/132728/caracterizacion-mineralogica-del-proceso-metalurgico-y-su-impacto-en-la-produccion-de...pdf?sequence=1>

5. Fonseca, a. M. (2002). Ingeniería de pavimentos. Obtenido de https://www.academia.edu/22782711/ingenieria_de_pavimentos_alfonso_montejo_fonseca
6. Gov.co. (2020). Unidad de gestión de tecnología e información. Obtenido de alcaldía municipal de Mocoa: <https://www.mocoa-putumayo.gov.co/mimunicipio/paginas/como-llegar-al-municipio.aspx>
7. Icontec. (2000). Ntc 174. Obtenido de especificaciones de los agregados para concreto.
8. Invias. (2012). Artículo 300 disposiciones generales para la ejecución de afirmados, subbases y base granulares y estabilizadas. Obtenido de cap. 3 afirmados subbases y bases: https://www.findeter.gov.co/system/files/convocatorias/paf-atjamundi-o-021-2022/capitulo_3_1.pdf
9. Invias. (2016). Especificaciones generales de mantenimiento de carreteras. Obtenido de manual de mantenimiento de carreteras: <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/7714-manual-de-mantenimiento-de-carreteras-2016-v2/file>
10. Jojoa, o. A. (2007). Estrategias ambientales para optimizar la explotación de materiales de arrastre en la cuenca del río San Jorge Pedro Colón 2007. Obtenido de tesis para optar el título de geólogo. Escuela superior de administración pública: <https://repositorioidm.esap.edu.co/handle/123456789/9325>
11. López Garavito, l., & Sepúlveda, d. (2014). Caracterización física de diferentes muestras de agregados pétreos para el concreto - zona norte de Bogotá. Obtenido de trabajo de grado para optar al título de ingeniero civil, universidad católica de Colombia:

<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/3e64eba1-f812-4029-8959-69ceb5486aab/content>

12. Lozano, m., & Gonzales, c. (2017). Caracterización mineralógica, porosimétrica y estructural de agregados pétreos en canteras del río Guatiquía, margen izquierda de la ciudad de Villavicencio. Obtenido de trabajo de grado para optar al título de especialista en ingeniería de pavimentos, universidad católica de Colombia:

<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/2d38de4b-297b-4161-b5bd-0a5c454641a7/content>

13. Navarro, l., González, j., & grandas, d. (2014). Caracterización del material de arrastre del rio Guayuriba a la altura del puente el palmar en la vía que conduce al municipio de san Carlos de Guaroa – departamento del meta. Obtenido de trabajo de investigación aplicado como requisito de grado para optar el:

<https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/7559bf15-509b-4d88-961c-ed607c0266af/content>

14. Novoa, a., Augusto, c., & Montejo, a. (2012). Caracterización de materiales de las canteras california, David Carvajal del municipio de Girardot y material aluvial del río Coello de este mismo municipio para producción de subbase y base granular. Obtenido de universidad católica de Colombia: [https://biblioteca.ucatolica.edu.co/cgi-](https://biblioteca.ucatolica.edu.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=72412)

[bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=72412](https://biblioteca.ucatolica.edu.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=72412)

15. Proenza, j., Galí, s., & Llovet, x. (2010). Técnicas de caracterización mineral y su aplicación en exploración y explotación minera. Obtenido de boletín de la sociedad geológica mexicana: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94315961002>

16. Ramírez, c., García, j., Ramírez, o., & Bocanegra, r. (2011). Caracterización de los materiales del lecho del río cauca. Obtenido de ingeniería de recursos naturales y de ambiente:

<https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/2552/art%201%20v1no1%202004.pdf?sequence=2&isallowed=y>
17. Salas, j. E. (2020). Caracterización físico - mecánica de los agregados pétreos del río Upin y río salinas localizados en el municipio de restrepo según el artículo 320 y artículo 330 del invias 2013 para la aplicación de bases – subbases granulares. Obtenido de Universidad Santo Tomás: documento final presentado como opción de grado para optar al título profesional de ingeniero civil
18. UNGRD. (2023, March 31). Construyendo Mocoa. Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. Retrieved May 17, 2023, from

<https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/mocoa>
19. Vélez, m., mora, a., Pacheco, b., & Pinzón, f. (2021). Exploración y estimación de recursos y reservas de material de arrastre. Obtenido de agencia nacional de minería:

<https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/guia-materiales-de-arrastre.pdf>