

**SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA APLICADO A LA
CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA, PETROGRÁFICA Y MINERALÓGICA
DE AGREGADOS PARA MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

DAVID ESTEBAN SOTELO DURÁN

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.**

2017

**SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA APLICADO A LA
CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA, PETROGRÁFICA Y MINERALÓGICA
DE AGREGADOS PARA MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

DAVID ESTEBAN SOTELO DURÁN

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil

**Directora: Ingeniera Rubby Stella Pardo Pinzón
Mg. Ingeniería de Transporte**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.**

2017

2

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	9
1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	10
1.1 JUSTIFICACIÓN	10
1.2 ALCANCE	12
1.3 OBJETIVOS	14
1.3.1 General.	14
1.3.2 Específicos.	14
2. MARCO REFERENCIAL	15
2.1 TEÓRICO	15
2.1.1 Importancia de los agregados.....	15
2.1.2 Características y propiedades de los agregados	15
2.1.3 Naturaleza petrográfica.....	16
2.1.4 Propiedades físicas de los agregados.	16
2.2 CONCEPTUAL	17
2.3 HISTÓRICO (ESTADO DEL ARTE)	18
2.3.1 Historia de los agregados.	18
2.3.2 Antecedentes.....	19
2.3.3 Aplicación de un SIG en la caracterización de materias primas de interés en Cerámica y Vidrio.	19
2.3.4 Caracterización medioambiental de doce canteras en explotación de materiales para la construcción en Cuba.....	20
2.3.5 Aplicación de técnicas SIG en el estudio de evaluación de degradación de suelos.	21
2.4 NORMATIVIDAD APLICABLE	21
2.4.1 Autoridad Nacional de Licencias Ambientales.	21
2.4.2 Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales.	22
2.4.3 Instituto Geográfico Agustín Codazzi.....	22

3. MARCO GEOGRÁFICO	23
4. INCORPORACIÓN DE LA TOPOGRAFÍA EN UN SIG	26
4.1 GEORREFERENCIACIÓN.....	26
4.2 ESTRUCTURA DE LA BASE DE DATOS.....	29
5. IMPORTACIÓN DE LAS TABLAS DE ATRIBUTOS	31
6. GENERACIÓN DE GRÁFICOS POR SELECCIÓN DE ATRIBUTOS	33
7. ENSAYOS REALIZADOS	34
7.1 CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA Y PETROGRÁFICA	34
7.1.1 Caracterización mineralógica de los triturados.....	36
7.1.2 Caracterización mineralógica arena de peña.....	37
7.1.3 Caracterización mineralógica arena de río.	38
7.2 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (I.N.V. E – 213 – 07).....	39
7.2.1 Granulometría para subbase.	40
7.2.2 Granulometría para base.....	42
7.2.3 Granulometría para afirmado.....	44
7.2.4 Granulometría de arenas.....	46
7.3 IDENTIFICACIÓN DE MINERALES POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X	48
7.3.1 Difracción de Rayos X, arena de río.	49
7.3.2 Difracción de Rayos X, arena de peña.	50
7.3.3 Difracción de Rayos X, triturado.	51
7.4 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL AGREGADO GRUESO AL DESGASTE POR ABRASIÓN UTILIZANDO EL APARATO MICRO-DEVAL (I.N.V. E – 238 – 07).....	52
7.5 RESISTENCIA AL DESGASTE POR MEDIO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES (I.N.V. E – 218 – 07).....	53
7.6 DETERMINACIÓN DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS DELEZNABLES EN LOS AGREGADOS (I.N.V. E – 211 – 07).....	54
7.7 LÍMITES DE CONSISTENCIA (I.N.V. E – 125 Y 126 – 07).....	55
8. CONCLUSIONES	57

9. RECOMENDACIONES.....	58
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
REFERENCIAS ELECTRÓNICAS	61
ANEXO	

LISTA DE ILUSTRACIONES

	pág.
Ilustración 1: Mapa de Cundinamarca y el Municipio de Sopó	23
Ilustración 2: Localización de la cantera Rodeb dentro del Municipio de Sopó	24
Ilustración 3: Ubicación de la zona de estudio. Vía Bogotá – Tunja	25
Ilustración 4: Entrada vehicular de la cantera	25
Ilustración 5: Plano topográfico original de la cantera Rodeb	26
Ilustración 6: Plano topográfico corregido en ArcMap.....	27
Ilustración 7: Imagen georreferenciada de la ubicación de la cantera	28
Ilustración 8: Plano Cartográfico de los municipios de la zona	29
Ilustración 9: Feature Class del plano topográfico	30
Ilustración 10: File Geodatabase, Feature Dataset y Feature Class del proyecto ..	32
Ilustración 11: Diseño de un gráfico.....	33
Ilustración 12: Ventana emergente de la ubicación e información de la muestra ..	36
Ilustración 13: Ventana emergente de la ubicación e información de la muestra ..	37
Ilustración 14: Ventana emergente de la ubicación e información de la muestra ..	38
Ilustración 15: Haces difractados durante el ensayo.....	48
Ilustración 16: Resultados del ensayo del aparato Micro Deval.....	52
Ilustración 17: Resultados del ensayo de la Máquina de Los Ángeles	54
Ilustración 18: Terrón de arcilla.....	54

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1: Atributos de algunas curvas de nivel intermedias	30
Tabla 2: Atributos de uno de los ensayos realizados	32
Tabla 3: Atributos de la muestra siete.....	36
Tabla 4: Atributos de las muestras uno a cinco	37
Tabla 5: Atributos de las muestras uno a cinco	38
Tabla 6: Tamaño Máximo Nominal	39
Tabla 7: Atributos de la Granulometría triturado 1" para subbase	40
Tabla 8: Atributos de la Granulometría triturado 3/4" para subbase	41
Tabla 9: Atributos de la Granulometría triturado 1" para base	42
Tabla 10: Atributos de la Granulometría triturado 3/4" para base	43
Tabla 11: Atributos de la Granulometría triturado 1" para afirmado	44
Tabla 12: Atributos de la Granulometría triturado 3/4" para afirmado	45
Tabla 13: Atributos de la Granulometría de arena de peña	46
Tabla 14: Atributos de la Granulometría de arena de río	47
Tabla 15: Tabla de atributos arena de río	49
Tabla 16: Tabla de atributos arena de peña	50
Tabla 17: Tabla de atributos triturado	51
Tabla 18: Granulometría necesaria para el ensayo	53
Tabla 19: Tabla de atributos terrones de arcilla	55

LISTA DE GRÁFICOS

pág.

Gráfico 1: Porcentaje que pasa Vs Abertura Tamiz (mm).....	40
Gráfico 2: Porcentaje que pasa Vs Abertura Tamiz (mm).....	41
Gráfico 3: Porcentaje que pasa Vs Abertura Tamiz (mm).....	42
Gráfico 4: Porcentaje que pasa Vs Abertura Tamiz (mm).....	43
Gráfico 5: Porcentaje que pasa Vs Abertura Tamiz (mm).....	44
Gráfico 6: Porcentaje que pasa Vs Abertura Tamiz (mm).....	45
Gráfico 7: Porcentaje que pasa Vs Abertura Tamiz (mm).....	46
Gráfico 8: Porcentaje que pasa Vs Abertura Tamiz (mm).....	47
Gráfico 9: Porcentaje de peso de minerales, arena de río.....	49
Gráfico 10: Porcentaje de peso de minerales, arena de peña	50
Gráfico 11: Porcentaje de peso de minerales, triturado	51

INTRODUCCIÓN

Con el presente documento se pretende realizar una recopilación de la información existente en el marco de la investigación “Caracterización físico-química, mecánica y mineralógica de areniscas utilizadas para construcción de la zona franca de Tocancipá, en la cantera Rodeb y Acopios, sector Hato Grande – Sopó”, con el fin de organizar los datos obtenidos durante este proyecto, en cuanto a los agregados para materiales de construcción encontrados allí.

Este proyecto busca como último fin, la implementación de un Sistema de Información Geográfica (SIG), cuya función consiste en la optimización de los procesos de consulta en cuanto al uso racional y eficiente de los materiales encontrados en campo, una vez han sido estudiados en el laboratorio; dando vital importancia al punto de vista técnico en cuanto a la caracterización de los materiales.

El trabajo de grado, desarrolló inicialmente la búsqueda de la cartografía básica para la georreferenciación de la cantera y la recopilación de la información primaria de los resultados de la caracterización, posteriormente se realizó la estructuración y superposición de la información en tablas para la generación de capas de consulta y finalmente se generaron mapas, mostrando los diferentes usos de los agregados como materiales de construcción, en función de sus propiedades.

1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Uno de los principales factores que inciden en la durabilidad y calidad de las obras civiles, es la utilización de materiales con buenas características físicas, mecánicas, petrográficas y mineralógicas, sin embargo, el país carece de estudios enfocados a la identificación de estas características.

Desde este enfoque, se llevará a cabo un estudio de caso donde la problemática a resolver es la inexistencia o escasez de información que permita identificar y caracterizar los agregados obtenidos de la cantera de extracción, ubicada en el Municipio de Sopó, para ser utilizados como materiales de construcción; como herramienta para asegurar su uso racional y eficiente en los campos: económico, civil y medio ambiental.

También, hay que tener en cuenta que la minería a cielo abierto, es una actividad industrial que a gran escala trae como consecuencia la afectación y en algunos casos, inhibición de las dinámicas naturales, impidiendo la resiliencia de los ecosistemas por el dragado constante, deforestación, excavación, extracción y transporte continuo del material obtenido en las cuencas, peñas, riveras de ríos y ecosistemas marítimos a lo largo del territorio nacional, transformando las condiciones naturales del paisaje y las condiciones socioeconómicas de la zona en explotación.

Por esto, es de vital importancia conocer con exactitud las características y propiedades de los agregados, de esta manera se reducirá la extracción innecesaria de materiales en el momento que se esté desarrollando cualquier tipo de obra civil, reduciendo costos, optimizando los procesos de producción al minimizar las etapas de clasificación y reconocimiento de los mismos, además, minimizando las emisiones de partículas a la atmósfera, los cambios en la topografía del terreno y la disminución en la vegetación endémica por deforestación.

1.1 JUSTIFICACIÓN

Este proyecto de grado tiene como finalidad principal terminar el proceso académico en la universidad y obtener el título de Ingeniero Civil, adquiriendo experiencia tanto en campo como en el manejo de un Sistemas de Información Geográfica en un software especializado, antes de obtener el título.

Así mismo, se establece la implementación del SIG para optimizar los procesos de consulta en cuanto al uso racional y eficiente de los materiales de construcción, desde el punto de vista técnico.

Los beneficios del uso del SIG en la ingeniería se ven reflejados en diferentes ámbitos, como por ejemplo, en las empresas que incorporan estas tecnologías para mejorar la eficiencia de sus proyectos, ya que su implementación permite optimizar recursos, aumentar la productividad, simplificar los procesos productivos, reducir los costes de producción, entre otros.

A continuación se muestran algunas de las características del SIG que lo convierten en una herramienta indispensable frente a otros métodos tradicionales o manuales:

- “Representa un sistema interactivo de almacenamiento y visualización de la realidad geográfica eficiente que trabaja con información exacta y, sobre todo actualizado, ya que permite la posterior incorporación de información complementaria que enriquece constantemente la base de datos original”¹.
- “El formato digital de los datos permite trabajar con formas compactas que a diferencia de los mapas de papel o las tradicionales tablas de información, recopilan información mucho más detallada y especializada”².
- “Permiten trabajar e integrar información de distintas fuentes, escalas, y datos tanto espaciales como no-espaciales. Además, todos estos datos pueden ser analizados a la vez, incluso repetidamente, y de una forma rápida, racional y fácilmente inteligible para el usuario, permitiendo así una evaluación ágil y sencilla”³.

También, es importante entender los beneficios de los agregados en las obras civiles, ya que estos constituyen aproximadamente hasta el 90% del peso de un pavimento y hasta un 75% del volumen del mismo, contribuyen a la estabilidad mecánica y soportan la carga del tráfico, entre otros. Sin embargo, no cualquier tipo de agregado puede emplearse de la manera adecuada; de ahí la necesidad de conocer sus características físico-mecánicas y su composición petrográfica y mineralógica para saber si es apto o no.

¹ CONFEDERACIÓN DE EMPRESARIOS DE ANDALUCÍA. Sistemas de información geográfica, tipos y aplicaciones empresariales. 2014. [En línea]. Disponible en: <http://www.sig.cea.es/>.

² Ibíd.

³ Ibíd.

1.2 ALCANCE

Este trabajo de grado se fundamenta en la implementación de un Sistema de Información Geográfica (SIG) para permitir consultas específicas de las variables que definen las características físico-mecánicas, petrográficas y mineralógicas de los agregados para materiales de construcción, de tal forma que permita estandarizar sus diferentes usos y aplicaciones en obras civiles, en los procesos de extracción y acopio de la cantera Rodeb, ubicada en el Municipio de Sopó, Cundinamarca. El trabajo de grado se desarrolla en el marco de la investigación “*Caracterización físico-química, mecánica y mineralógica de areniscas utilizadas para construcción de la zona franca de Tocancipá, en la cantera Rodeb y Acopios - sector Hato Grande – Sopó*”, desarrollado por el Doctor Javier Eduardo Becerra.

Para el alcance de los objetivos planteados, se proponen las siguientes fases de trabajo a desarrollar a lo largo del proceso:

Fase I: Búsqueda de la cartografía básica para la georreferenciación de la cantera y recopilación de información primaria de los resultados de la caracterización, proveniente de los ensayos de laboratorios realizados.

Se proyecta una visita de campo a la zona de estudio, para llevar a cabo el levantamiento topográfico de puntos de control que permitan georreferenciar la cartografía, al sistema nacional Magna Sirgas.

Una vez obtenida la cartografía de la zona, serán recopilados los resultados de una serie de ensayos de laboratorio, cuyo objetivo es la identificación y caracterización de los agregados obtenidos en la cantera Rodeb. A continuación se describen dichos ensayos a realizar por parte de algunos estudiantes de la Universidad Santo Tomás en aporte al proyecto:

- *Difracción de Rayos X:* Análisis cualitativo y cuantitativo de las fases cristalinas de los minerales.
- *Petrografía:* Ensayo de tipo microscópico y macroscópico que determina la composición mineralógica y la estructura de las rocas.
- *Mineralogía:* Permite determinar la idoneidad del material a través de sus propiedades físicas.
- *Análisis Granulométrico:* Determina cuantitativamente la distribución de los tamaños de las partículas de agregados gruesos y finos de un material.
- *Angularidad:* Determina la angularidad de las arenas por medio de la geometría de las partículas.

- *Desgaste en Micro – Deval*: Resistencia al desgaste para agregados pétreos sometidos a la acción de la abrasión en presencia de agua.
- *Desgaste en la Máquina de los Ángeles*: Evalúa la calidad del agregado al determinar la resistencia al desgaste, impacto y trituración.
- *Determinación de terrones de arcilla*: Determinación aproximada de los terrones de arcilla y de las partículas deleznable en los agregados
- *Límite Líquido*: Determina el contenido de humedad correspondiente a la frontera entre los estados plástico y líquido del suelo.
- *Límite Plástico / Índice de Plasticidad*: Determina el contenido de humedad más bajo que puede tener un suelo mientras permanece en estado plástico.

Fase II: Estructuración de la información en tablas y generación de “shapes” o capas de información

Teniendo los mapas de la zona de estudio y habiendo georreferenciado la cantera de explotación, se procede a generar tablas de atributos con las cuales se describen los datos gráficos y alfa numéricos obtenidos de los resultados de los ensayos de laboratorio, mencionados anteriormente.

Fase III: Superposición de los “shapes” para generar consultas.

En esta etapa se superponen capas de información con sus respectivos atributos (descripciones, usos potenciales, cualificaciones y características de los agregados ensayados), con el fin de generar consultas,

Fase IV: Generación de mapas temáticos, de acuerdo a los diferentes usos de los agregados como materiales de construcción, en función de sus propiedades.

De acuerdo al seguimiento consecutivo de las fases anteriores, se generará una plataforma de consulta, que permita a los interesados en el tema (ingenieros, geólogos, estudiantes, etc.), verificar las propiedades y características físico-mecánicas, petrográficas y mineralógicas de los agregados, como también, sus diferentes usos y aplicaciones, previos a una visita de campo de las zonas de extracción y acopio del material seleccionado, optimizando los procesos de producción al minimizar las etapas de clasificación y reconocimiento de los mismos.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 General.

Implementar un Sistema de Información Geográfica aplicado a la caracterización físico-mecánica, petrográfica y mineralógica de agregados pétreos para materiales de construcción, en la cantera de extracción “Rodeb” en el Municipio de Sopó, Cundinamarca.

1.3.2 Específicos.

- Recopilar información de muestreo en bases de datos espaciales que permitan mostrar de forma gráfica y numérica los resultados de análisis de los agregados.
- Crear una plataforma de consulta de agregados pétreos, identificando sus características físico-mecánicas, petrográficas y mineralógicas, en función de sus propiedades.
- Generar mapas que proporcionen toda la información obtenida de los materiales existentes en la cantera, de acuerdo a sus características físico-mecánicas, petrográficas y mineralógicas.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 TEÓRICO

Para desarrollar el proyecto, es necesario el reconocimiento de los materiales con los cuales se trabajar, por lo cual, se deberá investigar a fondo su composición, características físico-mecánicas, petrográficas y mineralógicas, además, las alternativas de manejo de estos en las obras civiles.

Con toda la información recopilada y con la ayuda de los SIG, se pretenden crear mapas georreferenciados de la cantera de explotación y acopio, con la ubicación exacta de los agregados, a la vez, generar tablas de atributos donde se muestren los resultados de los ensayos de laboratorio para estandarizar sus diferentes usos y aplicaciones.

2.1.1 Importancia de los agregados. “La demanda de agregados pétreos es un indicador muy preciso de la actividad económica de un país, en cuanto constituye un parámetro representativo del sector de la construcción. La escasez de fuentes de agregados en cantidades y calidades apropiadas, genera un notable problema a la hora de llevar a cabo el desarrollo de infraestructuras”⁴.

Por esto, es necesario realizar ensayos que permitan caracterizar adecuadamente los agregados, clasificándolos y analizando sus propiedades físicas, mecánicas, petrográficas y mineralógicas, y de esta manera estandarizar sus usos y aplicaciones en obras civiles.

2.1.2 Características y propiedades de los agregados. Las propiedades y el comportamiento de los materiales elaborados con agregados, dependen tanto de las proporciones en que entran los componentes, como de las propiedades individuales de cada uno de ellos. La determinación de las propiedades de los agregados utilizados en la construcción es de vital importancia, ya que los ensayos de laboratorio tienen una doble finalidad:

Cuantificar las propiedades de los agregados para la correcta dosificación de las mezclas y anticipar su futuro comportamiento en servicio.

⁴ CONASFALTOS S.A. Cartilla de Agregados. Medellín, 2014. p. 3.

Las características de los agregados dependen tanto de sus propiedades intrínsecas como las de su proceso de producción⁵.

2.1.3 Naturaleza petrográfica. Determina las características mineralógicas y de textura que establecen las propiedades mecánicas y la durabilidad del agregado en servicio. Del estudio petrológico se obtendrá una información muy valiosa como es la presencia en la roca, de minerales como los sulfuros, los sulfatos, la sílice amorfa, o los carbonatos magnésicos, que pueden inutilizar un compuesto industrial como el concreto hidráulico o la mezcla asfáltica fabricada con este agregado⁶.

2.1.4 Propiedades físicas de los agregados.

Resistencia mecánica: Es la propiedad de oponerse a su destrucción frente a una carga exterior, estática o dinámica. La resistencia depende fundamentalmente de su composición mineralógica, entre los minerales integrantes se destaca el cuarzo, siendo el más sólido de los minerales, el contenido de sílice en una roca es útil para determinar la abrasividad que va a presentar el material y por tanto la selección del tipo de fundición o tratamiento térmico a usar en los equipos de trituración⁷.

Dureza: Es la resistencia de una roca a sufrir deformación mecánica determinada, es la oposición de la carga superficial a la penetración de otro cuerpo más duro, o la resistencia a ser marcado, esta depende de la composición de los granos minerales, la porosidad y el grado de humedad. Es la capacidad de las rocas para desgastar la superficie de contacto de otro cuerpo más duro durante el proceso de rozamiento⁸.

Adhesividad: Es la actividad superficial de las partículas respecto al ligante y al agua, de acuerdo a su composición mineralógica los agregados pueden ser hidrófilos (mayor afinidad con el agua) e hidrófobos (que evitan la humedad), entre mayor sea el carácter hidrófilo del agregado menor será la cohesión y la adhesión que este tendrá con el asfalto, la mayoría de los agregados pétreos tienen una característica hidrofílica, por lo tanto, se hace necesario recurrir al empleo de aditivos promotores de adherencia⁹.

⁵ *Ibíd.*, p. 7.

⁶ *Ibíd.*, p. 7-8.

⁷ *Ibíd.*, p. 10.

⁸ *Ibíd.*, p. 10-11.

⁹ *Ibíd.*, p. 11.

Porosidad: Es la relación entre el volumen de poros y el volumen total de la partícula del agregado. Existe la porosidad abierta y la total, la primera se refiere al volumen de poros conectados entre sí y con el exterior con respecto al volumen total, la porosidad total es el volumen total de vacíos, estén o no estén comunicados entre sí y con el exterior¹⁰.

Gravedad específica: Es la relación entre el peso de un volumen dado de agregado y el peso de un volumen igual de agua, al tener todos los agregados algún grado de porosidad, variará el contenido de ligante (cemento o asfalto) necesario para envolver las partículas de agregado¹¹.

2.2 CONCEPTUAL

Uno de las principales ventajas de los SIG es obtener información Georreferenciada, esta hace referencia al “uso de coordenadas de mapa para asignar una ubicación espacial a entidades cartográficas. Todos los elementos de una capa de mapa tienen una ubicación geográfica y una extensión específicas que permiten situarlos en la superficie de la Tierra o cerca de ella. La capacidad de localizar de manera precisa las entidades geográficas es fundamental tanto en la representación cartográfica como en los SIG”¹².

*La forma básica de ubicar un punto sobre la superficie es a través de las Coordenadas, definidas como el conjunto ordenado de valores de datos que especifica una localización; puede ser absoluta o relativa. La localización o posición es dada respecto de un “Sistema de Coordenadas” que sirve de referencia. Cualquier sistema de coordenadas debe basarse en algunos puntos de referencia. Desde tal punto de partida, la situación de todos los demás puntos se establece en términos de dirección y distancia definidos a partir de dicho punto*¹³.

*El objetivo de localizar puntos por coordenadas sobre la superficie es obtener un Mapa. Según Robinson, un mapa es una representación gráfica de relaciones y formas espaciales*¹⁴. “Representación de una parte de la superficie terrestre en un

¹⁰ *Ibíd.*, p. 11.

¹¹ *Ibíd.*, p. 12.

¹² ARCGIS. Georreferenciación y sistemas de coordenadas. 2016. [En línea]. Esri. 2016. Disponible en: [<http://resources.arcgis.com>]

¹³ ROBINSON, Arthur, *et al.* Elementos de Cartografía. 5 ed. Barcelona. Ed. Omega, 1987. p. 4.

¹⁴ *Ibíd.*, p. 11.

plano. Representación en tamaño menor y en una superficie plana de la totalidad o parte de la superficie esférica del globo”¹⁵.

*Uno de los métodos para la obtención de coordenadas geográficas es el Sistema de Posicionamiento Global (GPS): “Método usado en topografía que permite tomar medidas exactas de posición (coordenadas). El GPS hace uso de los satélites para determinar puntos de la superficie terrestre. Para calcular cualquier punto de la Tierra, se mide la distancia entre ese punto y tres o más satélites orbitales, y mediante cálculos de triangulación se determinan las coordenadas de su posición”*¹⁶.

En la explotación de materiales de cantera, que según Herbert¹⁷ es el término que se utiliza para referirse a un tipo de explotación minera, generalmente a cielo abierto de rocas industriales, ornamentales y de materiales de construcción, los SIG vienen siendo muy utilizados para estructurar información referente a la ubicación de los sitios de explotación, especialmente para determinar los costos representados en el abastecimiento de material, de acuerdo a las distancias de recorrido.

La explotación describe una técnica especial que consiste en la extracción de roca con un alto grado de compactación y densidad de yacimientos localizados. La piedra que se extrae en las canteras puede ser machacada o fracturada para producir agregados (arena y gravas) o piedra para construcción, como la dolomita y la piedra caliza”¹⁸.

2.3 HISTÓRICO (ESTADO DEL ARTE)

2.3.1 Historia de los agregados. Hay que retroceder varios miles de años en la historia para ver en qué momento los agregados pasaron a ser fundamentales en la vida del hombre primitivo, que usaba cierto tipo de rocas para hacer grandes obras de la antigüedad como: Las pirámides de Egipto, los templos del sol y la luna en México, la gran muralla China y las calzadas romanas, entre otras¹⁹.

¹⁵ STAR, Jeffrey y ESTES, John. Geographic Information Systems: an introduction. New Jersey, Prentice-Hall, 1990.

¹⁶ HUXHOLD, W. E. An Introduction to Urban Geographic Information Systems. New York: Oxford University Press, 1991.

¹⁷ HERRERA, Juan. Métodos de minería a cielo abierto. Madrid, 2006. p. 5-8

¹⁸ AMSTRONG, James y MENON, Raji. Minas y Canteras. En: Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. Madrid, 1998. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. p. 21.

¹⁹ CONASFALTOS S.A. Op. cit. p. 3.

En el transcurso de la historia de la humanidad el hombre ha necesitado aprender a usar los recursos propios de la naturaleza. Es así como la historia del proceso de los agregados se remonta a la actividad gestada desde el interior de la tierra a través de las eras geológicas que han llevado a cambios en la formación y transformación de las rocas que se utilizan hoy en la elaboración de concreto u hormigón, mezclas asfálticas y estructuras de los pavimentos²⁰.

Según Conasfaltos S.A.²¹, ya en el siglo XIX con la aparición de concretos y mortero, posibilitaron una mayor celeridad en los proyectos de construcción y una mayor variabilidad de formas y estructuras que han potenciado el sector de la construcción.

En los últimos 100 años, la necesidad de materiales de construcción ha llevado al hombre a estudiar las leyes naturales y comprenderlas a través de la observación cuidadosa de las rocas desde su estado natural hasta sus medios de uso²².

2.3.2 Antecedentes. De acuerdo a un estudio sobre el sector de los materiales de construcción, desarrollado por Fedesarrollo en el año 2006, indica que entre 1994 y 2001 el consumo anual de agregados pétreos se encontraba entre 32,5 millones y 57,2 millones de metros cúbicos, representando el 7,8% del gasto en construcción de vías y edificaciones, generando a su vez entre 22.000 y 34.000 puestos de trabajo, y aportando en el año 2004 regalías entre 3,3 y 5,5 de miles de millones de pesos, las contribuciones que el sector de los agregados aportó al estado por concepto impuesto de renta e IVA oscilan entre 7,1 y 12,4 miles de millones de pesos en el año 2004²³.

La extracción y producción de agregados pétreos para el sector de la construcción representó en el año 2009 el 0.24% del PIB, por eslabonamiento directo de la cadena de valor del sector se puede decir que el 6.7% de la economía colombiana depende de la producción de materiales de construcción esto equivale a 32 billones de pesos²⁴.

2.3.3 Aplicación de un SIG en la caracterización de materias primas de interés en Cerámica y Vidrio. En este trabajo se muestra la aplicación de un SIG como herramienta eficaz a la hora abordar varias fases de investigación sobre

²⁰ CONSTRUDATA. Historia de los agregados. [En línea]. Disponible en: [<http://www.construdata.com/VitrinaComercial.htm>].

²¹ CONASFALTOS S.A. Op. cit., p. 4.

²² CONSTRUDATA. Op. cit.

²³ CONASFALTOS S.A. Op. cit., p. 4.

²⁴ *Ibíd.*, p. 4.

materias primas de interés para el sector de la Cerámica y el Vidrio y el estudio de canteras de extracción de caliza y mármol. Además, esta investigación comprende tres fases de trabajo:

- Construcción de la base de datos cartográfica.
- Fusión de las bases de datos y depuración.
- Desarrollo de la aplicación.

Mediante SIG se puede recoger de forma gráfica toda información que se vaya procesando de cada punto de un muestreo determinado y donde se encuentren presentes, por ejemplo, las materias primas utilizadas en la fabricación de un determinado material. También se pueden asociar datos relevantes, como son fotografías, tablas de resultados, entre otros.

De la misma forma, esta metodología permite hacer grupos o regiones donde una materia prima analizada posea las mismas características. Esta capacidad adquiere una especial trascendencia en la fase de explotación comercial del recurso natural, ya que permite clasificar la materia prima en función de un parámetro determinado y, llegado el caso, hasta lograr finalmente abaratar los costes de producción²⁵.

2.3.4 Caracterización medioambiental de doce canteras en explotación de materiales para la construcción en Cuba. El principal objetivo definir los impactos y proponer las actividades de rehabilitación ambiental por parte de las autoridades regulatorias.

La metodología integrada permitió la caracterización de cada cantera relacionando el factor tiempo-evolución del entorno, lo cual resultó novedoso al establecer una apropiada correlación entre los factores del medio afectado, las acciones de la actividad minera y su desarrollo espacial-temporal. Se generaron datos para la clasificación y manejo.

El diagnóstico ambiental incluye en la caracterización actualizada de cada emplazamiento a (frentes de explotación, taludes, escombreras, áreas de almacenaje y expedición de los productos, vías de acceso y plantas de

²⁵ GARZÓN, E., *et al.* Aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) de interés en Cerámica y Vidrio. En: Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio. 2009. no. 5. p. 39-40.

procesamiento) y entre otras, el impacto ambiental generado por la actividad minera²⁶.

En conclusión, y teniendo en cuenta que de igual manera, en la cantera de explotación “Rodeb”, ubicada en el Municipio de Sopó, se extraen agregados como materiales de construcción de obras civiles; los mayores impactos negativos detectados estudiados son en parte, los generados por las emisiones de polvo a la atmósfera, los cambios en la topografía, vegetación por deforestación, entre otros.

2.3.5 Aplicación de técnicas SIG en el estudio de evaluación de degradación de suelos. El objetivo general de este estudio ha sido evaluar el estado actual y los cambios que se han producido en algunas características edáficas del área de Mazarrón en un período de veinte años.

La metodología SIG empleada ha sido una herramienta fundamental para obtener la serie de capas de variables edáficas para los años 1988 y 2008. El primer paso desarrollado ha consistido en la creación de capas vectoriales de puntos a partir de una base de datos que contenía las coordenadas geográficas de una serie de muestras recogidas en campo, por lo que el trabajo se ha facilitado enormemente.

A partir de esta información se ha creado una tabla de datos que se integra al sistema, ya que sólo hay que identificar qué columnas de la tabla se corresponden con las coordenadas geográficas de las muestras.

Finalmente, se generan las capas ráster de cada una de las variables que contiene la tabla de datos de la capa vectorial original, mostrando como resultado, cómo han evolucionado las distintas características edáficas a lo largo del período de estudio 1988-2008²⁷.

2.4 NORMATIVIDAD APLICABLE

2.4.1 Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. “Concibe el Sistema de Información Geográfica, como una herramienta que le permitirá satisfacer sus necesidades de información a nivel interno y externo, dando soporte a las

²⁶ LÓPEZ K., Jesús, et al. Caracterización medioambiental de 12 canteras en explotación para materiales de construcción ubicadas en las provincias de La Habana, Artemisa y Mayabeque. En: Ciencias de la Tierra y el Espacio. 2015. Vol. 16, no. 1. p. 40–52.

²⁷ ROMERO DÍAZ, A, et al. Aplicación de técnicas SIG en el estudio de evaluación de degradación de suelos. Mazarrón (Murcia). En: Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos. 2010. p. 1.074-1.078.

diferentes instituciones nacionales que conforman el Sistema de Información Nacional Ambiental, bajo estándares establecidos por la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales”²⁸.

La implementación del Sistema de Información Geográfica, atiende al cumplimiento del *Decreto 3573 del 27 de septiembre de 2011*, numeral 8 del Art. 14 en el que se expresa la necesidad de diseñar e implementar un Sistema de Información Geográfica, como herramienta informativa para la administración, el manejo y uso de la información como un verdadero instrumento de gestión²⁹.

2.4.2 Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales. Es un instrumento operativo a través del cual se integran políticas, estándares, organizaciones y recursos tecnológicos que facilitan la producción, el acceso y el uso de la información geográfica del territorio colombiano, para apoyar la toma de decisiones en todos los campos de la política pública³⁰.

2.4.3 Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Es la agencia cartográfica nacional de Colombia, elabora el catastro nacional de la propiedad inmueble, realiza el inventario de las características de los suelos, adelanta investigaciones geográficas como apoyo al desarrollo territorial, capacita y forma profesionales en tecnologías de información geográfica y coordina la infraestructura colombiana de Datos Espaciales³¹.

²⁸ ANLA. Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. 2015. [En línea]. Disponible en: [<http://www.anla.gov.co/>].

²⁹ *Ibíd.*

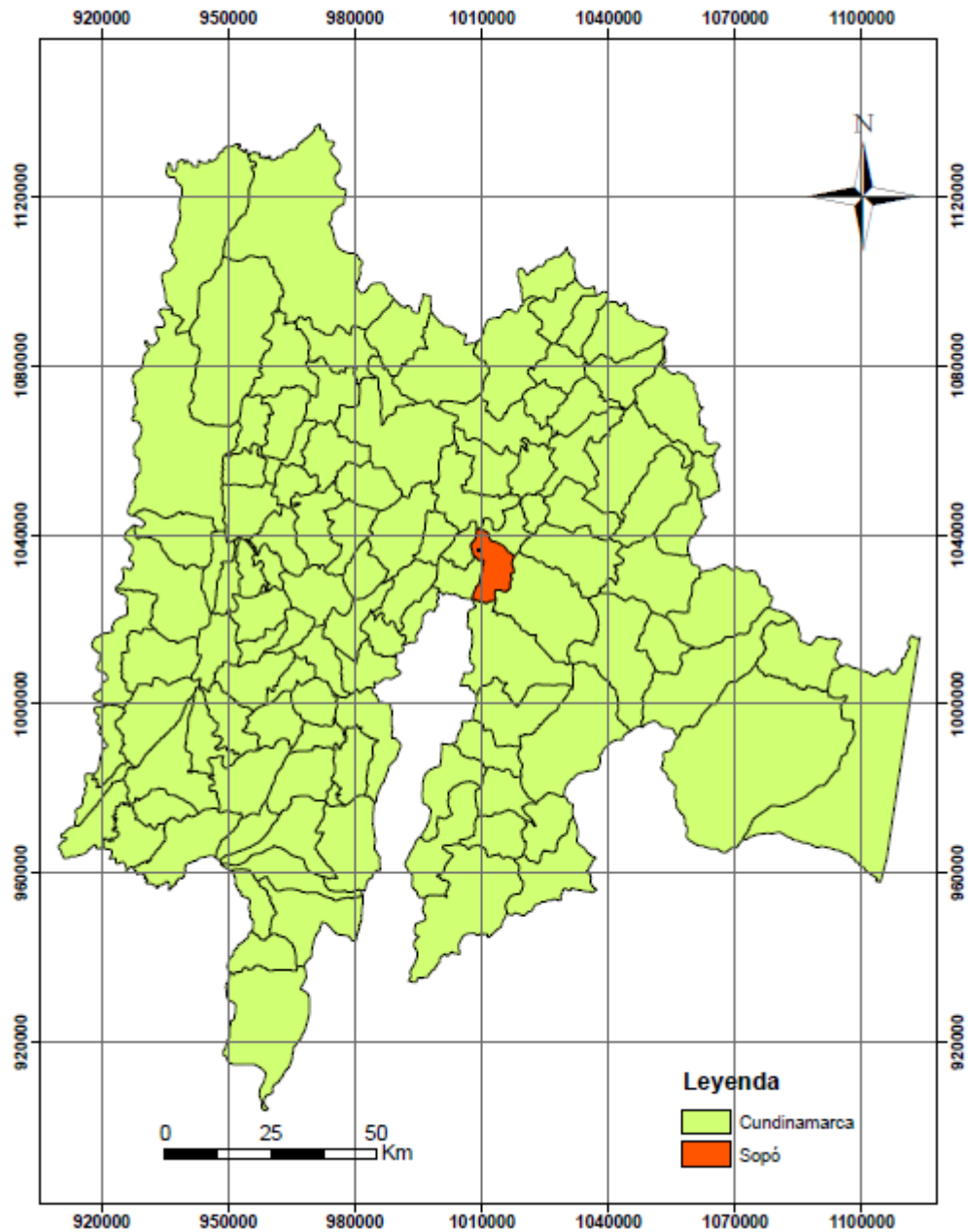
³⁰ ICDE. Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales. 2016. [En línea]. Disponible en: [<http://www.icde.org.co/>].

³¹ IGAC. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2016. [En línea]. Disponible en: [<http://www.igac.gov.co/>].

3. MARCO GEOGRÁFICO

El Municipio de Sopó se encuentra a 39.0 Km al norte de Bogotá y se localiza en el centro del Departamento de Cundinamarca, tiene una superficie total de 111.5 Km² y una altitud media de 2587 msnm.

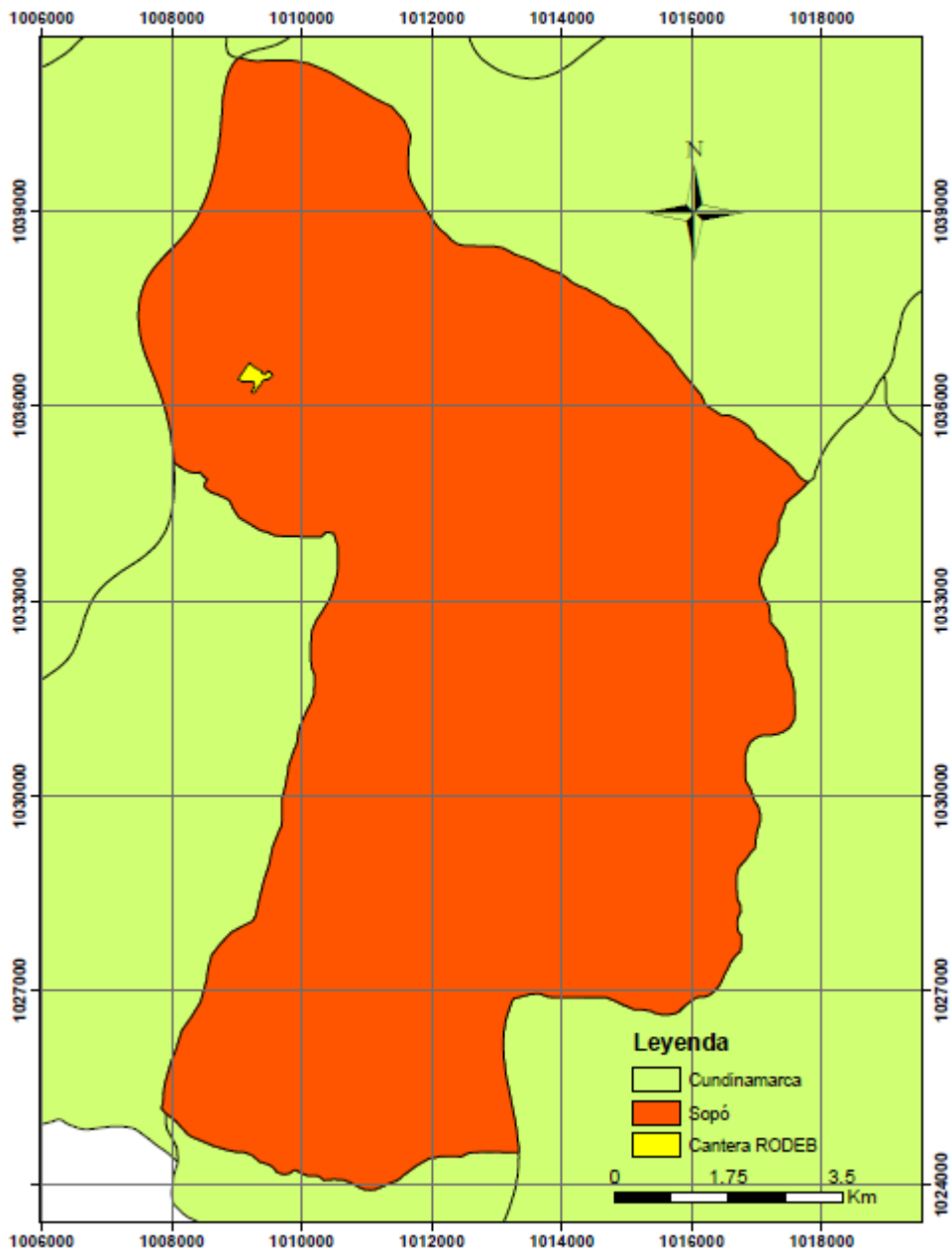
Ilustración 1: Mapa de Cundinamarca y el Municipio de Sopó



Fuente: Autor, tomado de ArcMap.

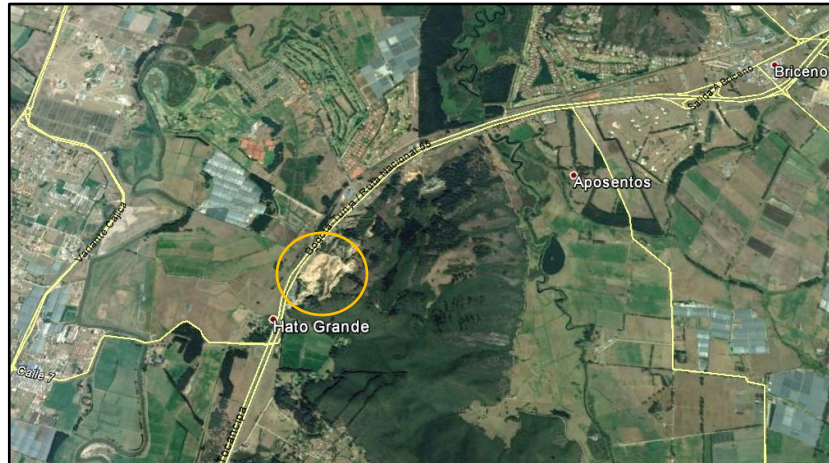
La cantera Rodeb se encuentra ubicada en la Ruta Nacional 55, vía Bogotá – Tunja, en el Municipio de Sopó, a la altura del sector Hato Grande, aproximadamente a 25 Km de Bogotá desde la Autopista Norte con calle 170.

Ilustración 2: Localización de la cantera Rodeb dentro del Municipio de Sopó



Fuente: Autor, tomado de ArcMap.

Ilustración 3: Ubicación de la zona de estudio. Vía Bogotá – Tunja



Fuente: Basado en Google Earth, 2015.

Según el Consorcio de estructuración vial³², en el sector afloran paquetes de arenisca de grano fino con estratificación plano paralelo continuo, en el techo se presentan niveles de arcillolitas de color amarillo, la explotación se realiza a cielo abierto, en un área aproximada de 97.000 m² y por la disposición de algunos estratos se puede estimar un volumen de material de 1.500.000 m³.

Además, se encuentra una licencia de explotación minera otorgada a los señores Manuel Francisco Rodríguez, Gustavo Rodríguez Mejía y José Mauricio Contreras Sánchez con fecha de radicado 20 de abril de 2010 para la explotación de minerales para la construcción³³.

Ilustración 4: Entrada vehicular de la cantera



Fuente: Ibíd.

³² CONSORCIO DE ESTRUCTURACIÓN VIAL. Informe de fuentes de materiales y botaderos. 2da Versión. 2015. [En línea]. Disponible en: [ftp://ftp.ani.gov.co/]. p. 20.

³³ Ibíd., p. 21.

4. INCORPORACIÓN DE LA TOPOGRAFÍA EN UN SIG

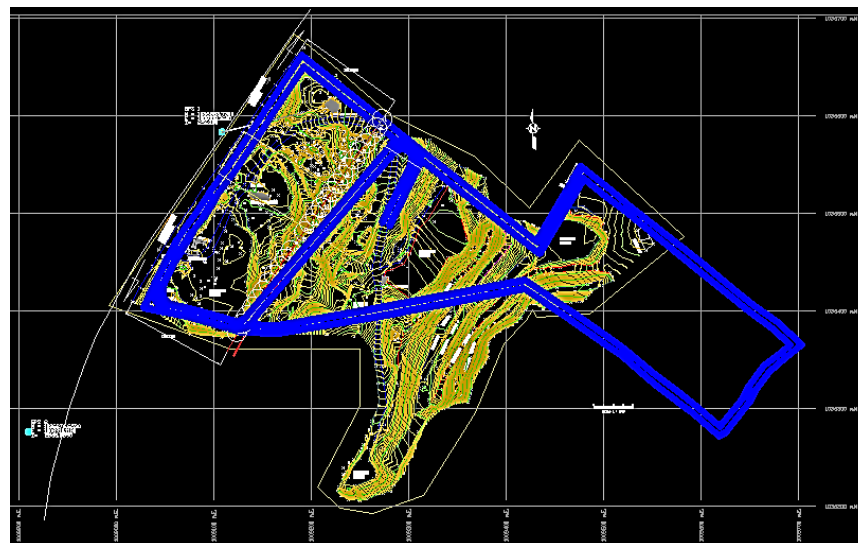
4.1 GEORREFERENCIACIÓN

Se realizó la búsqueda de la cartografía de la zona de estudio en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, sin embargo, la información allí suministrada no se encuentra lo suficientemente actualizada, ya que las planchas son del año 1978, por lo que se procedió a trabajar en gran medida con un plano digitalizado del año 2016.

A continuación se describe paso a paso el proceso de edición desde un formato *.dwg (AutoCAD), hasta su posterior incorporación en un sistema de información geográfica (ArcMap):

- El plano original contiene la topografía completa de la cantera, adicionalmente, se incluyen las zonas de acopio del material, los desarenadores, las terrazas, entre otros. Sin embargo, éste tiene información irrelevante para el estudio, por lo que se depuró la información para evitar una imagen saturada de datos.

Ilustración 5: Plano topográfico original de la cantera Rodeb



Fuente: Autor, tomado de AutoCAD.

- Por otro lado, en ArcMap se crea un “*File Geodatabase*” que contiene toda la información del proyecto, posteriormente se crean sub-carpetas o “*Feature Datasets*” que van a almacenar, por ejemplo, las capas de cada uno de los atributos del mapa topográfico o las diferentes tablas.

- Desde el marco de datos, se despliega un menú contextual con herramientas de navegación por datos, allí se selecciona la pestaña de “Propiedades” y se elige el sistema de coordenadas adecuado: MAGNA Colombia Bogotá.

El sistema de coordenadas es una de las propiedades más importantes porque define la proyección del mapa en el marco de datos. Por lo general, el sistema de coordenadas queda determinado por el sistema de coordenadas del primer Dataset que haya agregado al mapa. Todos los demás datasets se proyectarán sobre la marcha para ajustarse al sistema de coordenadas³⁴.

- Una vez corregido el plano topográfico, se procede a importar desde AutoCAD a ArcMap, para esto, se selecciona el símbolo “Add data” en las opciones de la barra de herramientas y se selecciona el archivo que contiene el plano topográfico, tal y como se muestra a continuación:

Ilustración 6: Plano topográfico corregido en ArcMap

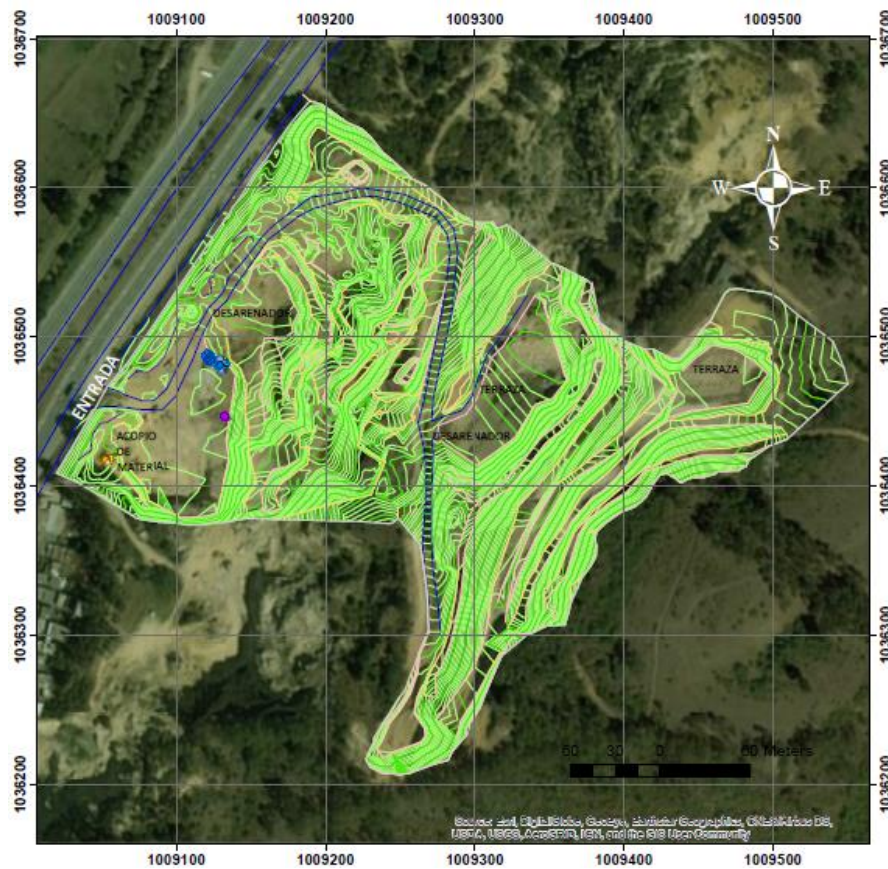


Fuente: Autor, tomado de ArcMap.

³⁴ ARCGIS FOR DESKTOP. ArcMap. 2016. [En línea]. Esri. Disponible en: [<http://desktop.arcgis.com>]

- Adicionalmente, se extrae desde *Google Earth* una imagen del sector donde se encuentra ubicada la cantera y se procede a georreferenciar para sobreponerla al plano topográfico existente, para ello se hace uso de las coordenadas del plano para asignar una ubicación espacial a la imagen:

Ilustración 7: Imagen georreferenciada de la ubicación de la cantera



Fuente: Autor, tomado de ArcMap.

- Finalmente, se utiliza el plano cartográfico que contiene los municipios aledaños a la cantera, suministrado por el IGAC y se georreferencia de la misma manera, con el fin de ubicar la zona de estudio dentro de un contexto geográfico más exacto:

Ilustración 8: Plano Cartográfico de los municipios de la zona



Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1978.

4.2 ESTRUCTURA DE LA BASE DE DATOS

- Inicialmente, se hace una selección por atributos de la capa denominada *Polilínea* que contiene toda la información gráfica del mapa topográfico para poder exportar cada uno de ellos en “*Shapes files*”.

Para realizar el proceso de exportación de los datos de manera correcta, es importante definir una ruta de guardado y se debe asignar un nombre a la capa que está siendo creada.

- De esta manera se crean los respectivos “*Feature Class*”, que conforman las características gráficas del mapa de manera individual y contienen información de acuerdo a la capa, tal y como se aprecia a continuación:

Ilustración 9: Feature Class del plano topográfico

- [-] Plano_topografico
 - [+] POLÍGONO CANTERA
 - [+] ÁREA DE CANTERA
 - [+] BORDE DE TALUD
 - [+] PATA DE TALUD
 - [+] JARILLONES
 - [+] VÍAS DE ACCESO
 - [+] CURVAS DE NIVEL PRINCIPAL
 - [+] CURVAS DE NIVEL INTERMEDIAS

Fuente: Autor, tomado de ArcMap.

Por ejemplo, el área en el caso del polígono de la cantera o la elevación del terreno en el caso de las curvas de nivel, tal y como se aprecia en la siguiente tabla de atributos:

Tabla 1: Atributos de algunas curvas de nivel intermedias

CURVAS DE NIVEL INTERMEDIAS						
OBJ	Entity	Layer	Color	Linetype	Elevation (m)	Shape Length (m)
1	2DPolylin	Curvas de nivel	42	Continuous	2561	71.957934
2	2DPolylin	Curvas de nivel	42	Continuous	2562	91.272523
3	2DPolylin	Curvas de nivel	42	Continuous	2562	59.635468
4	2DPolylin	Curvas de nivel	42	Continuous	2562	20.291354
5	2DPolylin	Curvas de nivel	42	Continuous	2563	172.72863

Fuente: Autor, tomado de ArcMap.

5. IMPORTACIÓN DE LAS TABLAS DE ATRIBUTOS

“Las tablas representan uno de los tres tipos de Dataset fundamentales en SIG, junto con las clases de entidad y los datasets de imágenes. Las tablas también son el mecanismo que se utiliza para almacenar clases de entidad y datasets ráster en cada Geodatabase”³⁵.

En ArcMap, una tabla tiene una serie de filas y columnas que se utilizan para almacenar información descriptiva. Cada fila tiene una serie de campos con valores. Cada columna tiene un tipo asociado, como un número entero, un campo de texto, un campo de fecha, un campo de forma o un campo binario similar, para mantener estructuras más sofisticadas como una geometría de entidad o imágenes, entre otros³⁶.

A continuación se describe a manera de ejemplo, el proceso de importación de una tabla de datos en formato *.xls (Excel) a un sistema de información geográfica (ArcMap):

- Los archivos de Excel se agregan a ArcMap como cualquier otro dato, a través del cuadro de diálogo “*Add Data*”. Al buscar un archivo de Excel se selecciona la tabla que se desea abrir.

En este caso, se tiene un Libro de Excel llamado “*Ensayos.xls*” que contiene varias hojas de cálculo (Caracterización Petrográfica, Granulometría arena de peña, etc.), cada una de estas hojas es una tabla separada en ArcGIS.

- Una vez seleccionada la tabla que se desea utilizar, se proceden a ingresar los datos de coordenadas en X e Y para agregarlos como una capa georreferenciada, de esta manera se puede ubicar correctamente en el mapa topográfico.
- Finalmente, se organiza dentro del “*File Geodatabase*” cada uno de los “*Feature Datasets*” que contienen las diferentes tablas de atributos, de acuerdo a la información de los ensayos realizados, tal y como se muestra a continuación:

³⁵ ARCGIS FOR DESKTOP. ArcMap. 2016. [En línea]. Esri. Disponible en: [<http://desktop.arcgis.com>]

³⁶ *Ibíd.*

Ilustración 10: File Geodatabase, Feature Dataset y Feature Class del proyecto

- [-] CANTERA_RODEB.gdb
 - [-] Arena_de_rio
 - DIFRACCIÓN DE RAYOS X ARENA DE RÍO
 - CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA ARENA DE RIO
 - GRANULOMETRÍA ARENA DE RÍO
 - TERRONES DE ARCILLA
 - [-] Arena_de_peña
 - CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA ARENA DE PEÑA
 - GRANULOMETRÍA ARENA DE PEÑA
 - DIFRACCIÓN DE RAYOS X ARENA DE PEÑA
 - [-] Triturados
 - GRANULOMETRÍA TRITURADO 3/4" SUBBASE
 - GRANULOMETRÍA TRITURADO 1" AFIRMADO
 - GRANULOMETRÍA TRITURADO 3/4" AFIRMADO
 - GRANULOMETRÍA TRITURADO 1" SUBBASE
 - GRANULOMETRÍA TRITURADO 1" BASE
 - GRANULOMETRÍA TRITURADO 3/4" BASE
 - CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA TRITURADOS
 - DIFRACCIÓN DE RAYOS X TRITURADOS
 - RESISTENCIA AL DESGASTE (MÁQUINA DE LOS ÁNGELES)
 - RESISTENCIA AL DESGASTE (MICRO DEVAL)

Fuente: Autor, tomado de ArcMap.

Por ejemplo, en la siguiente tabla, se aprecian los atributos del ensayo de difracción de rayos x, que consta tanto de los campos de resultados, como los campos de la ubicación espacial del ensayo:

Tabla 2: Atributos de uno de los ensayos realizados

DIFRACCIÓN DE RAYOS X ARENA DE RÍO					
OBJ	Mineral	Este	Norte	Porcentaje de Peso	Fórmula Química
1	Cuarzo	1009053.076	1036416.093	54.34	SiO ₂
2	Caolinita	1009053.076	1036416.093	5.74	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄
3	Ilita	1009053.076	1036416.093	4.94	(K,H ₃ O)(AL,Mg,Fe) ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀
4	Albita	1009053.076	1036416.093	34.98	NaAlSi ₃ O ₈

Fuente: SUÁREZ, Andrés y VERA, Jonathan. Caracterización físico mecánica y mineralógica de los agregados extraídos del depósito Acopios en Sopó Cundinamarca para su uso en pavimentos. Bogotá D.C.: Universidad Santo Tomás. Facultad de Ingeniería Civil, 2017. p. 129.

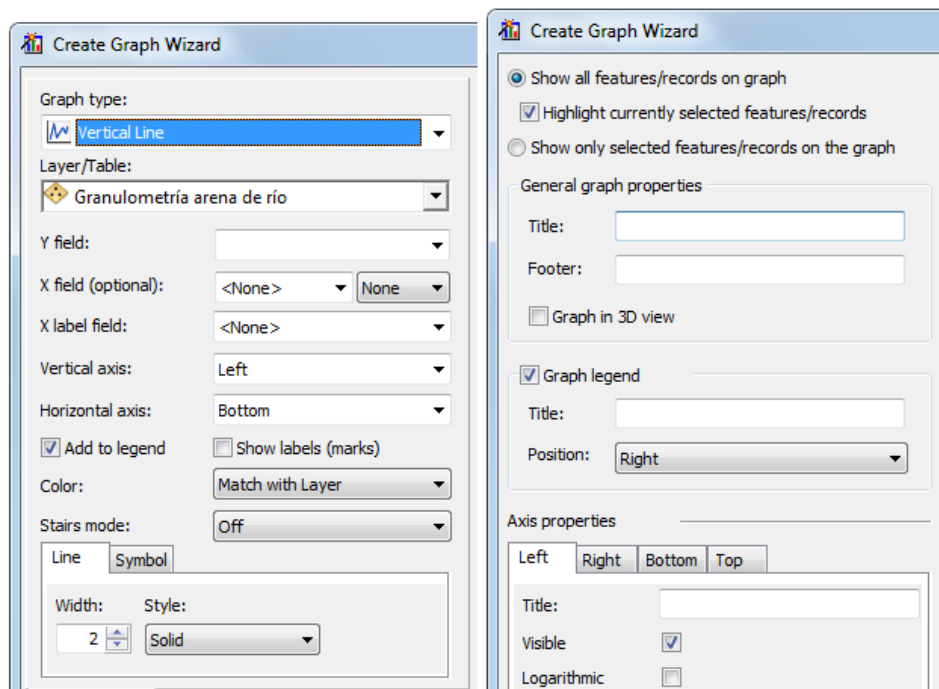
6. GENERACIÓN DE GRÁFICOS POR SELECCIÓN DE ATRIBUTOS

Según ArcGIS for Desktop³⁷, antes de diseñar y crear un gráfico, es importante determinar qué información se desea ofrecer; además, se debe decidir si se desean mostrar tendencias de datos, relaciones o distribuciones, entre otros. Se puede crear el gráfico para todas las entidades de un *Dataset* o solo para las seleccionadas, éstos pueden ser, una clase de entidad, una capa o un ráster entero.

Estos ayudan a presentar información sobre las características del mapa y la relación entre ellas de una manera visual, que de otro modo resultarían difíciles de ver. A continuación se describe a manera de ejemplo, el proceso de diseño y creación de un gráfico:

Se elaboran a partir de las tablas de atributos, al seleccionar el ícono “*Create graph*”. En la primera página se asignan valores tanto a las abscisas (eje x), como a las ordenadas (eje y) para generar la imagen deseada de acuerdo al tipo de gráfico seleccionado y se continua con algunas propiedades de estilo. Finalmente, en la segunda página se establecen las propiedades generales de mismo.

Ilustración 11: Diseño de un gráfico



Fuente: Autor, tomado de ArcMap.

³⁷ *Ibíd.*

7. ENSAYOS REALIZADOS

7.1 CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA Y PETROGRÁFICA

La Mineralogía es una rama de la Geología dedicada al estudio de los minerales, estos son sustancias inorgánicas de origen natural, con una composición química definida y de forma cristalina, además estudia específicamente, las propiedades físicas y químicas de todos los minerales, como también su origen, formación, y clasificación³⁸.

Las propiedades físicas de los minerales constituyen una importante ayuda a la hora de identificarlos y caracterizarlos. La mayor parte de las propiedades físicas pueden reconocerse a simple vista (utilizando elementos como la lupa, el martillo o una punta para rayar) o determinarse por medio de pruebas sencillas. Las propiedades más importantes incluyen el rayado, el color, la fractura, la dureza, la densidad relativa, entre otros³⁹.

Por otro lado, la petrografía se ocupa de la descripción y clasificación de las rocas, en especial en cuanto respecta a su aspecto, su composición mineralógica y su estructura, mediante la observación microscópica de secciones o láminas delgadas derivadas de las rocas en estudio, clasificándolas según su textura y composición mineralógica⁴⁰.

Un estudio petrográfico requiere, en primer lugar, un examen físico de la roca que nos brinde información sobre el aspecto, textura, color, tamaño de grano, etc. Cuando los constituyentes son tan pequeños que no son apreciados a simple vista se dice que la roca presenta textura *afanítica*, y cuando los cristales sí pueden ser apreciables a simple vista o con lupa se le denomina *fanerítica*⁴¹.

A continuación se describe el proceso de incorporación de los datos en un sistema de información geográfica, correspondiente al análisis mineralógico y petrográfico realizado bajo la lupa y microscopio a las muestras de mano denominadas “Triturado de 1 y $\frac{3}{4}$ de pulgada”, “arena de río” y “arena de peña”, teniendo en cuenta algunas propiedades físicas como:

³⁸ MINERALOGÍA. EcuRed. 2017. [En línea]. Disponible en: [<https://www.ecured.cu/Mineralogia>].

³⁹ *Ibíd.*

⁴⁰ SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO. Petrografía. 2013. [En línea]. Disponible en: [<http://portalweb.sgm.gob.mx/>].

⁴¹ *Ibíd.*

Forma. La morfología de los clastos se analiza según su redondez y esfericidad. Con fines didácticos y prácticos se utilizan escalas de comparación visual que permiten determinar valores de redondez (cantidad de aristas que presenta el clasto) y esfericidad (grado de semejanza con una esfera)⁴².

Esta es una característica determinante, ya que influye directamente en la trabazón de los agregados (puntos de contacto entre sí) generando una mayor resistencia mecánica al permitir una permeabilidad alta entre las partículas.

Color. El sistema de ordenación del color de Munsell es una forma precisa de especificar y mostrar las relaciones entre los colores⁴³.

Lustre. Describe la manera en que la luz interactúa con la superficie de un mineral y se refleja en él⁴⁴.

Dureza. El grado de resistencia que opone un mineral a la deformación mecánica. Es la resistencia que opone un material a dejarse rayar por otro⁴⁵.

Raya. Es el color característico que presenta un mineral cuando se pulveriza o se raya con un objeto punzante más duro que él. Tal color corresponde al que tendría el mineral sin alterarse por el contacto con la atmósfera, por lo tanto es un importante medio de diagnóstico⁴⁶.

Densidad. Es un valor absoluto que se refiere a la cantidad de masa de dicha sustancia que hay en una unidad de volumen de la misma. La unidad de volumen utilizada es el centímetro cúbico, y la masa viene dada en gramos⁴⁷.

Una vez importada toda la información, se proceden a organizar las tablas de atributos de acuerdo a la información necesaria, en este caso se muestran algunos datos relevantes y gracias a la clasificación de las muestras, es posible realizar filtros, accediendo a la “Selección por atributos” para que resalte sobre el mapa topográfico la cantidad de las mismas que presenten características en común.

⁴² MENDIBERRI, Julio. Rocas Orgánicas. *En:* Sedimentología. Hawái, School of Business and Economics, Atlantic International University.

⁴³ EL SISTEMA MUNSELL DE ESPECIFICACIÓN DEL COLOR. [En línea] Disponible en: [http://redgeomatica.rediris.es/carto2/arbolB/cartob/Bcap5/5_9_1.htm].

⁴⁴ LEXICOON. 2017. [En línea] Disponible en: [<http://lexicoon.org/es/lustre>].

⁴⁵ GRIEM, Wolfgang. Propiedades de los minerales. Chile, 2005. [En línea]. Disponible en: [<http://www.geovirtual2.cl/geologiageneral/ggcap02a.htm>].

⁴⁶ INTRODUCCIÓN A LA MINERALOGÍA. [En línea]. Disponible en: [<http://greco.fmc.cie.uva.es/mineralogia.html>].

⁴⁷ UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO. Densidad y peso específico de los minerales. Puno, 2011. p. 2.

Adicionalmente, al seleccionar alguna de las muestras resaltadas en el mapa con la herramienta “HTML pop-up”, se despliega una ventana en la que se puede apreciar la misma información contenida en la tabla de atributos, sin embargo, aquí se presenta de manera individual, además, permite ver imágenes cargadas previamente, tal y como se muestra a continuación:

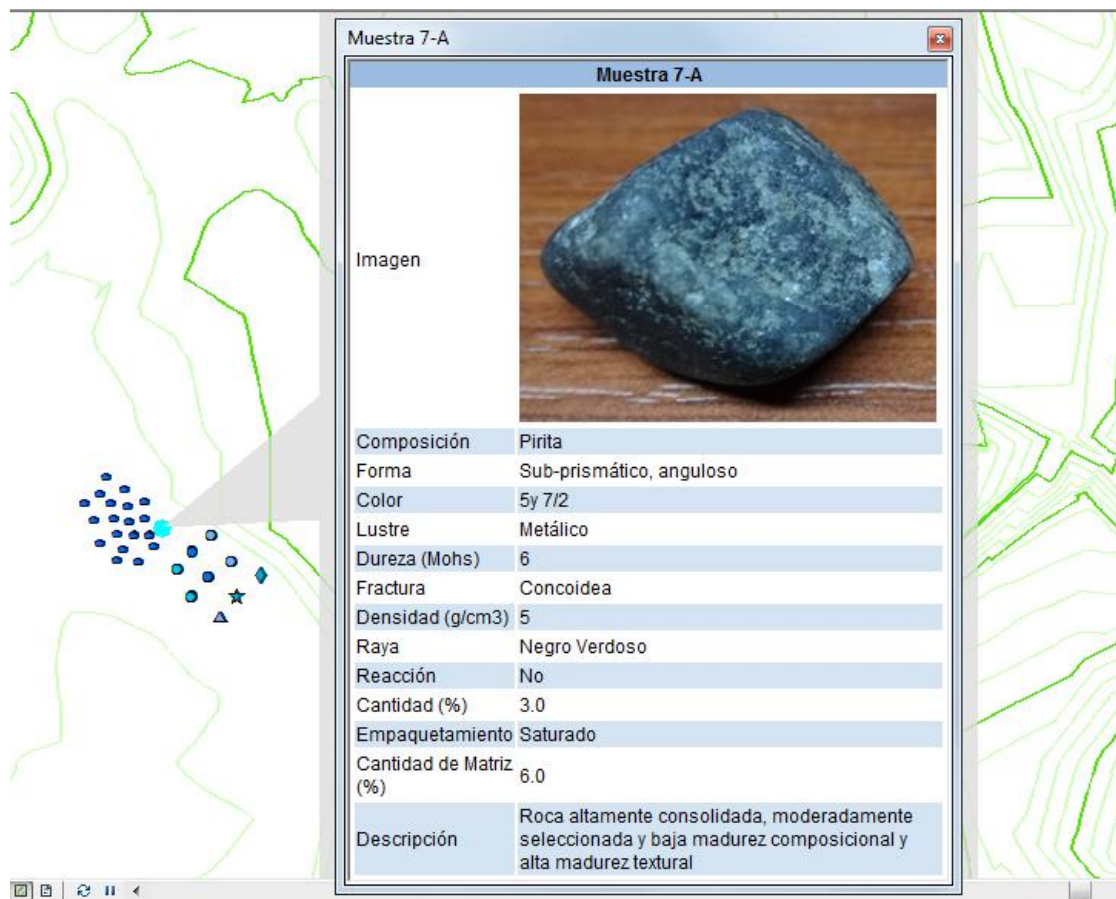
7.1.1 Caracterización mineralógica de los triturados.

Tabla 3: Atributos de la muestra siete

CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA TRITURADOS										
OBJ	Muestras	Composición	Forma	Color	Lustre	Dureza	Fractura	Densidad	Raya	
17	Muestra 7-A	Pirita	Sub-prismático, anguloso	5y 7/2	Metálico	6	Concoidea	5	Negro V	
18	Muestra 7-B	Cuarzo	Sub-prismático, anguloso	10yr 6/6	Vitreo	7	Concoidea	2.65	Blanca	
19	Muestra 7-C	Fragmento de Roca	Sub-prismático, anguloso	10yr 4/2	-	-	-	-	-	-

Fuente: SUÁREZ y VERA. Op. cit., p. 102.

Ilustración 12: Ventana emergente de la ubicación e información de la muestra



Fuente: Autor, tomado de ArcMap.

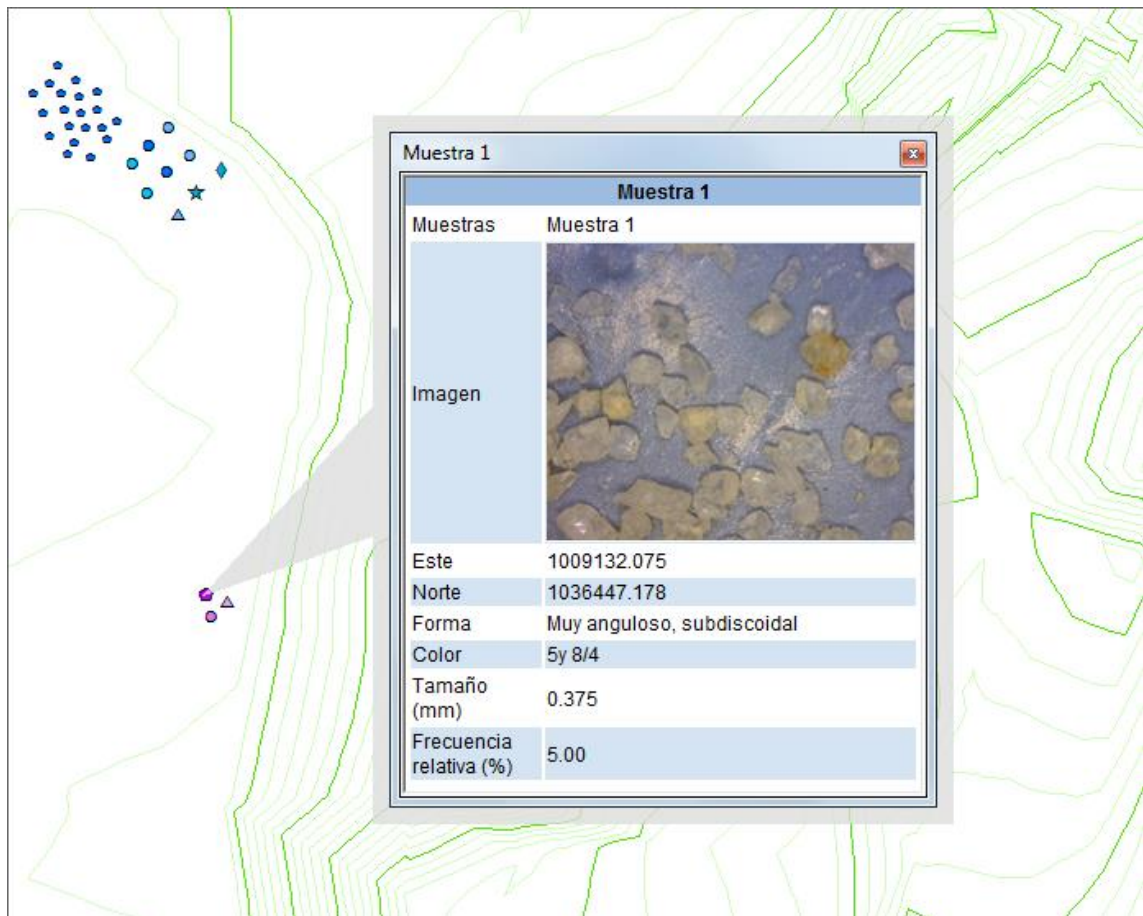
7.1.2 Caracterización mineralógica arena de peña.

Tabla 4: Atributos de las muestras uno a cinco

CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA ARENA DE PEÑA						
OBJ	Muestras	Forma	Color	Tamaño (mm)	Frecuencia relativa (%)	
1	Muestra 1	Muy anguloso, subdiscoidal	5y 8/4	0.375	5.00	
2	Muestra 2	Subredondeado, subprismático	5y 8/1	0.200	10.00	
3	Muestra 3	Redondeado, subdiscoidal	5y 8/4	0.200	10.00	
4	Muestra 4	Redondeado, subdiscoidal	10yr 8/2	0.175	5.00	
5	Muestra 5	Redondeado, esférico	5y 8/1	0.150	14.00	

Fuente: SUÁREZ y VERA. Op. cit., p. 113-115.

Ilustración 13: Ventana emergente de la ubicación e información de la muestra



Fuente: Autor, tomado de ArcMap.

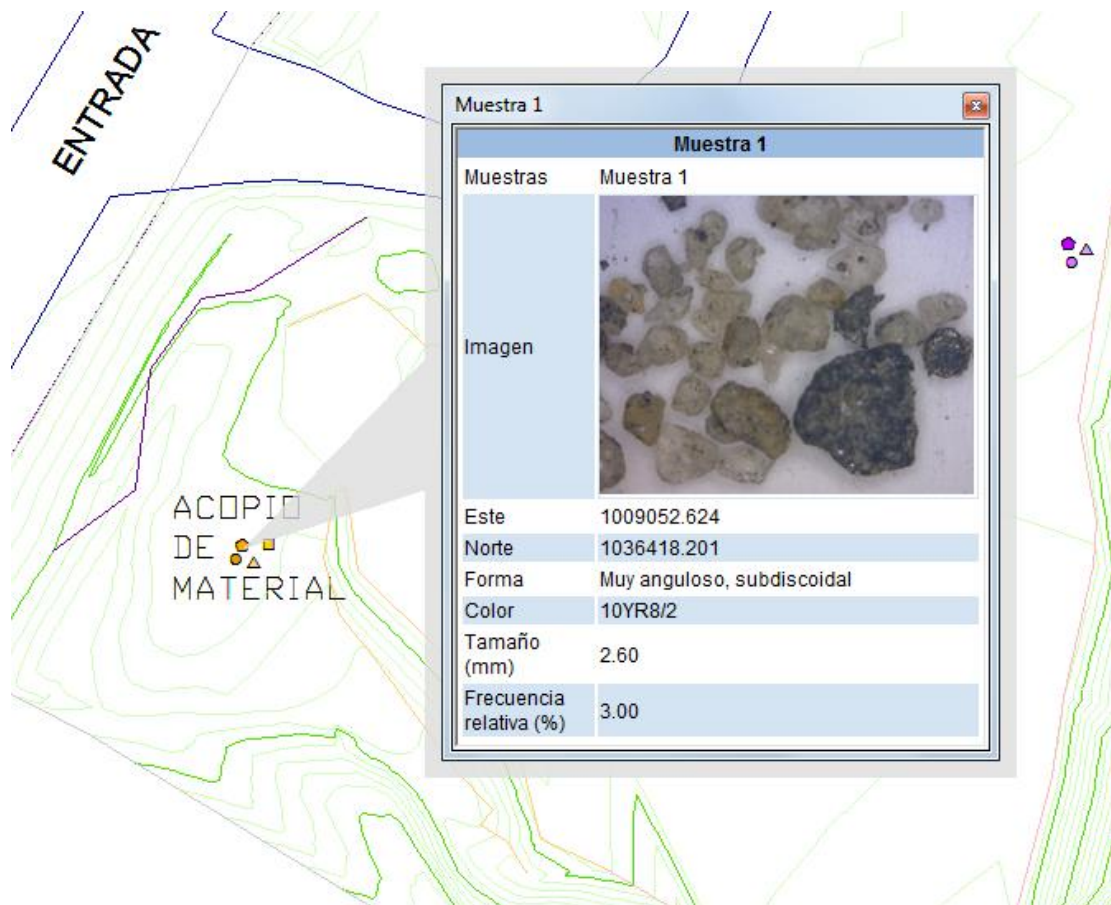
7.1.3 Caracterización mineralógica arena de río.

Tabla 5: Atributos de las muestras uno a cinco

CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA ARENA DE RIO						
OBJ	Muestras	Forma	Color	Tamaño (mm)	Frecuencia relativa (%)	
1	Muestra 1	Muy anguloso, subdiscoidal	10YR8/2	2.60	3.00	
2	Muestra 2	Subredondeado, subprismático	N1	2.20	3.00	
3	Muestra 3	Redondeado, subdiscoidal	5BG 6/6	2.00	3.00	
4	Muestra 4	Redondeado, subdiscoidal	5BG 6/7	1.60	8.00	
5	Muestra 5	Redondeado, esférico	5Y 4/4	1.60	8.00	

Fuente: SUÁREZ y VERA. Op. cit., p. 108-111.

Ilustración 14: Ventana emergente de la ubicación e información de la muestra



Fuente: Autor, tomado de ArcMap.

7.2 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (I.N.V. E – 213 – 07)

El análisis Granulométrico es un método de ensayo que tiene por objeto determinar cuantitativamente la distribución de los tamaños de las partículas de agregados gruesos y finos de un material, por medio de tamices de abertura cuadrada progresivamente decreciente⁴⁸.

Este método se usa principalmente para determinar la granulometría de los materiales propuestos que serán utilizados como agregados. Los resultados se emplean para determinar el cumplimiento de los requerimientos de las especificaciones que son aplicables y para suministrar los datos necesarios para la producción de diferentes agregados y mezclas que los contengan⁴⁹.

Para realizar este ensayo se utilizó una cantidad suficiente de material, determinada por el tamaño máximo nominal, como lo dispone la reglamentación del Instituto Nacional de Vías (INVIAS):

Tabla 6: Tamaño Máximo Nominal

Tamaño Máximo Nominal	in	3/8	1/2	3/4	1	1 1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	4	5
	mm	9.5	12.5	19.0	25	37.5	50	63	75	90	100	125
Masa Mínima para la Muestra	Kg	1	2	5	10	15	20	35	60	100	150	300

Fuente: Instituto Nacional de Vías. I.N.V. E – 213 – 07.

El material evaluado bajo las especificaciones del INVIAS, se sube al Sistema de Información Geográfica, dejando como resultado, tablas de atributos con la información de los tamices utilizados, los porcentajes de la cantidad del material que pasa y se retiene en estos tamices y el peso correspondiente para cada uno de ellos, así como algunos gráficos de acuerdo a consultas específicas.

⁴⁸ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos. I.N.V. E – 213 – 07. Bogotá D.C.: El Instituto, 2007. p. 1.

⁴⁹ *Ibíd.*, p. 1.

7.2.1 Granulometría para subbase.

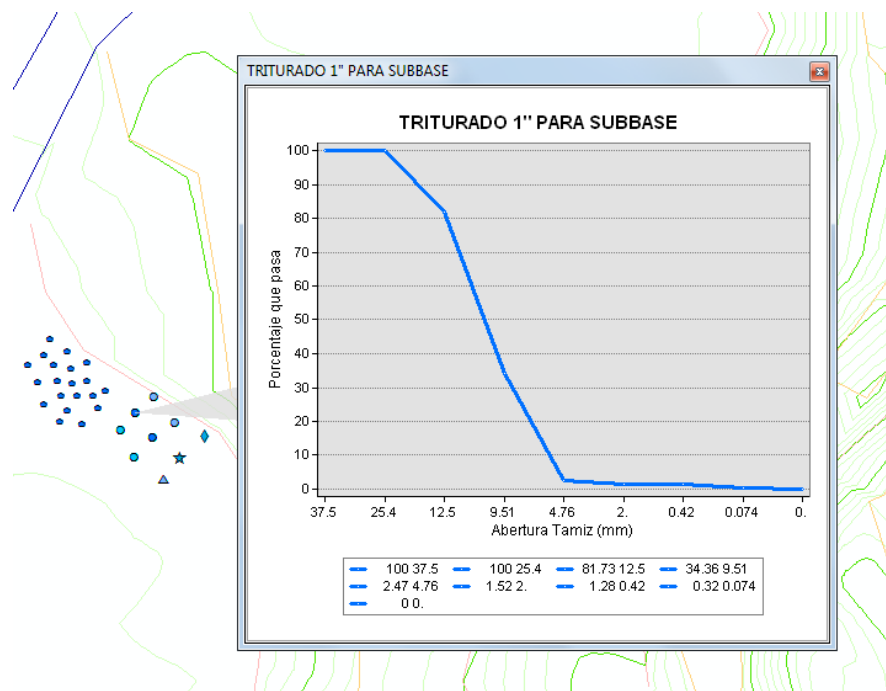
- Para el material denominado “Triturado de 1” para subbase”, se tomó una masa seca de 10.0 Kg (10,000 g) aproximadamente:

Tabla 7: Atributos de la Granulometría triturado 1” para subbase

GRANULOMETRÍA TRITURADO 1" SUBBASE						
	OBJ	Tamiz	Abertura (mm)	% Que pasa	Masa retenida (g)	% Retenido
▶	1	1 1/2"	37.50	100.00	0.00	0.00
	2	1"	25.40	100.00	0.00	0.00
	3	1/2"	12.50	81.73	1830.16	18.27
	4	3/8"	9.51	34.36	4746.40	47.38
	5	N° 4	4.76	2.47	3194.80	31.89
	6	N° 10	2.00	1.52	94.80	0.95
	7	N° 40	0.42	1.28	24.60	0.25
	8	N° 200	0.07	0.32	96.40	0.96
	9	Fondo	0.00	0.00	31.60	0.32

Fuente: SUÁREZ y VERA. Op. cit., p. 46.

Gráfico 1: Porcentaje que pasa Vs Abertura Tamiz (mm)



Fuente: Autor, tomado de ArcMap.

Por lo anterior, se concluye que el 97.7% del material es grava media y fina, ya que las partículas presentan un tamaño entre 12.0 y 4.0 mm y que tan sólo un 2.3% se refiere a arenas y finos, con tamaños iguales o menores a 2.0 mm.

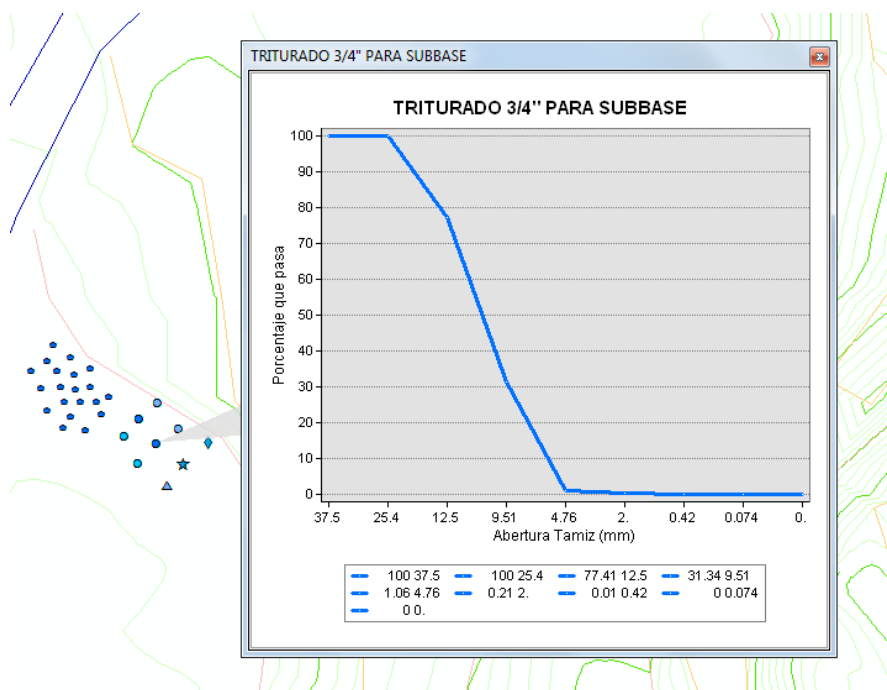
- El material denominado “Triturado de 3/4” para subbase”, se tomó una masa seca de 5.0 Kg (5,000 g) aproximadamente, para la realización del ensayo:

Tabla 8: Atributos de la Granulometría triturado 3/4” para subbase

GRANULOMETRÍA TRITURADO 3/4" SUBBASE						
	OBJ	Tamiz	Abertura (mm)	% Que pasa	Masa retenida (g)	% Retenido
▶	1	1 1/2"	37.50	100.00	0.00	0.00
	2	1"	25.40	100.00	0.00	0.00
	3	1/2"	12.50	77.41	1125.02	22.59
	4	3/8"	9.51	31.34	2294.64	46.07
	5	N° 4	4.76	1.06	1507.80	30.27
	6	N° 10	2.00	0.21	42.42	0.85
	7	N° 40	0.42	0.01	10.18	0.20
	8	N° 200	0.07	0.00	0.34	0.01
	9	Fondo	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: SUÁREZ y VERA. Op. cit., p. 47.

Gráfico 2: Porcentaje que pasa Vs Abertura Tamiz (mm)



Fuente: Autor, tomado de ArcMap.

Por lo anterior, se concluye que el 98.9% del material es grava media y fina, ya que las partículas presentan un tamaño entre 12.0 y 4.0 mm y que tan sólo un 1.1% se refiere a arenas y finos, con tamaños iguales o menores a 2.0 mm.

7.2.2 Granulometría para base.

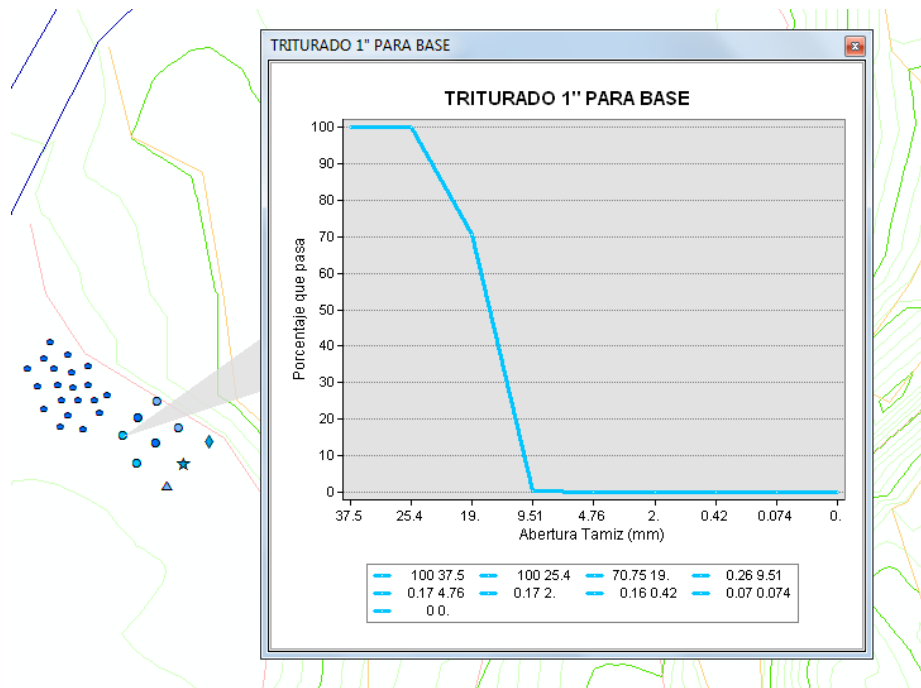
- Para el material denominado “Triturado de 1” para base”, se tomó una masa seca de 10.0 Kg (10,000 g) aproximadamente:

Tabla 9: Atributos de la Granulometría triturado 1” para base

GRANULOMETRÍA TRITURADO 1" BASE						
OBJ	Tamiz	Abertura (mm)	% Que pasa	Masa retenida (g)	% Retenido	
1	1 1/2"	37.50	100.00	0.00	0.00	
2	1"	25.40	100.00	0.00	0.00	
3	3/4"	19.00	70.75	2926.64	29.25	
4	3/8"	9.51	0.26	7052.08	70.49	
5	N° 4	4.76	0.17	8.51	0.09	
6	N° 10	2.00	0.17	0.00	0.00	
7	N° 40	0.42	0.16	1.25	0.01	
8	N° 200	0.07	0.07	8.76	0.09	
9	Fondo	0.00	0.00	3.00	0.03	

Fuente: SUÁREZ y VERA. Op. cit., p. 53.

Gráfico 3: Porcentaje que pasa Vs Abertura Tamiz (mm)



Fuente: Autor, tomado de ArcMap.

Por lo anterior, se concluye que casi el 99.8% del material es grava media, ya que las partículas presentan un tamaño entre 19.0 y 9.5 mm y que tan sólo un 0.2% se refiere a gravas finas, arenas y finos, con tamaños iguales o menores a 4.0 mm.

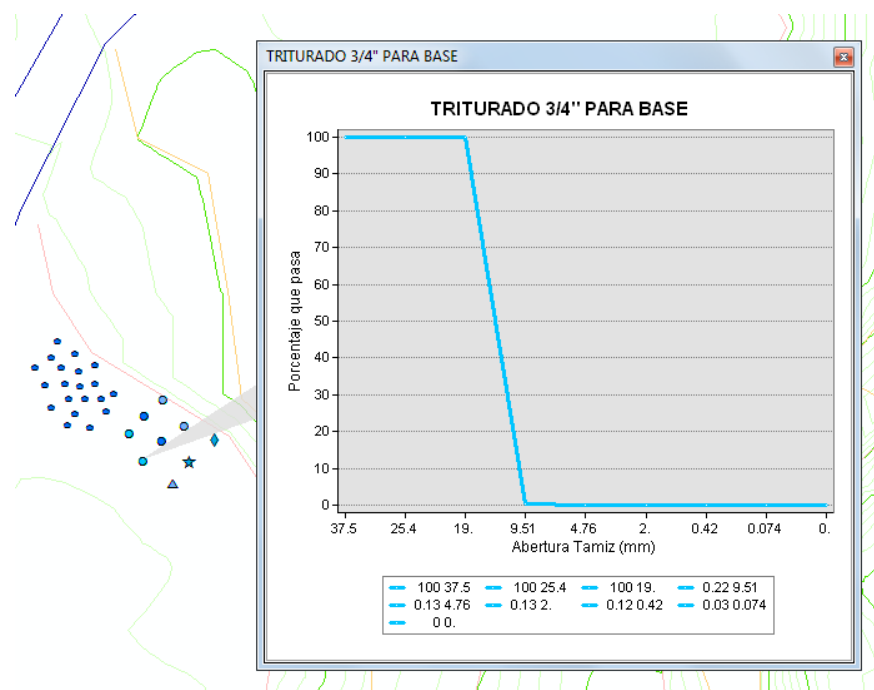
- El material denominado “Triturado de 3/4” para base”, se tomó una masa seca de 5.0 Kg (5,000 g) aproximadamente, para la realización del ensayo:

Tabla 10: Atributos de la Granulometría triturado 3/4” para base

GRANULOMETRÍA TRITURADO 3/4" BASE						
OBJ	Tamiz	Abertura (mm)	% Que pasa	Masa retenida (g)	% Retenido	
1	1 1/2"	37.50	100.00	0.00	0.00	
2	1"	25.40	100.00	0.00	0.00	
3	3/4"	19.00	100.00	0.00	0.00	
4	3/8"	9.51	0.22	4987.24	99.78	
5	N° 4	4.76	0.13	4.25	0.09	
6	N° 10	2.00	0.13	0.00	0.00	
7	N° 40	0.42	0.12	0.63	0.01	
8	N° 200	0.07	0.03	4.38	0.09	
9	Fondo	0.00	0.00	1.50	0.03	

Fuente: SUÁREZ y VERA. Op. cit., p. 54.

Gráfico 4: Porcentaje que pasa Vs Abertura Tamiz (mm)



Fuente: Autor, tomado de ArcMap.

Por lo anterior, se concluye que el 99.7% del material es grava media, ya que las partículas presentan un tamaño superior a 9.5 y que tan sólo un 0.3% se refiere a gravas finas, arenas y finos, con tamaños iguales o menores a 4.0 mm.

7.2.3 Granulometría para afirmado.

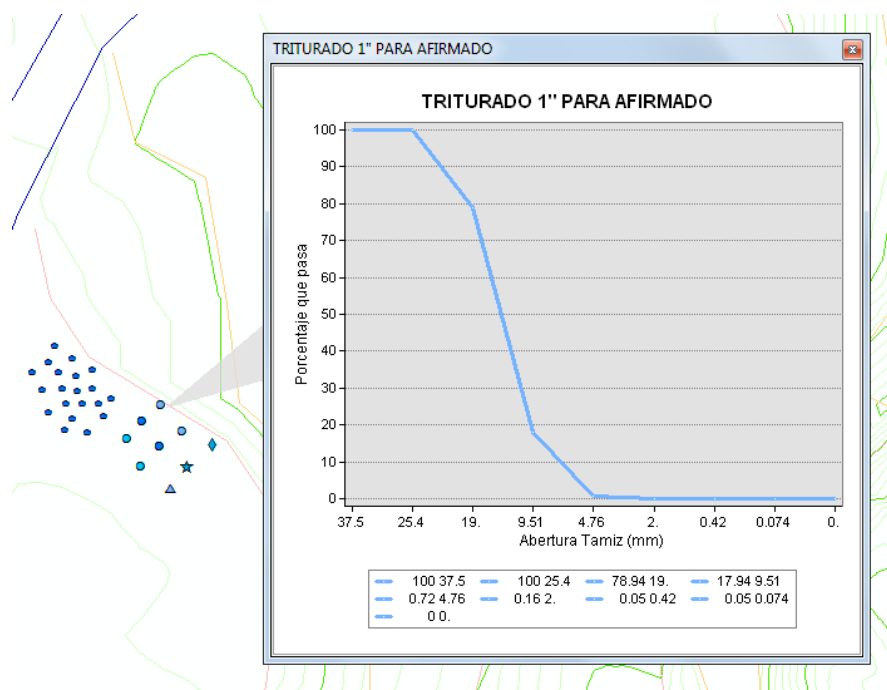
- Para el material denominado “Triturado de 1” para afirmado”, se tomó una masa seca de 10.0 Kg (10,000 g) aproximadamente:

Tabla 11: Atributos de la Granulometría triturado 1” para afirmado

GRANULOMETRÍA TRITURADO 1" AFIRMADO						
	OBJ	Tamiz	Abertura (mm)	% Que pasa	Masa retenida (g)	% Retenido
▶	1	1 1/2"	37.50	100.00	0.00	0.00
	2	1"	25.40	100.00	0.00	0.00
	3	3/4"	19.00	78.94	2106.35	21.06
	4	3/8"	9.51	17.94	6099.34	60.99
	5	N° 4	4.76	0.72	1722.67	17.23
	6	N° 10	2.00	0.16	55.65	0.56
	7	N° 40	0.42	0.05	10.80	0.11
	8	N° 200	0.07	0.05	0.53	0.01
	9	Fondo	0.00	0.00	4.20	0.04

Fuente: SUÁREZ y VERA. Op. cit., p. 59.

Gráfico 5: Porcentaje que pasa Vs Abertura Tamiz (mm)



Fuente: Autor, tomado de ArcMap.

Por lo anterior, se concluye que el 98.9% del material es grava media y fina, ya que las partículas presentan un tamaño entre 12.0 y 4.0 mm y que tan sólo un 1.1% se refiere a arenas y finos, con tamaños iguales o menores a 2.0 mm.

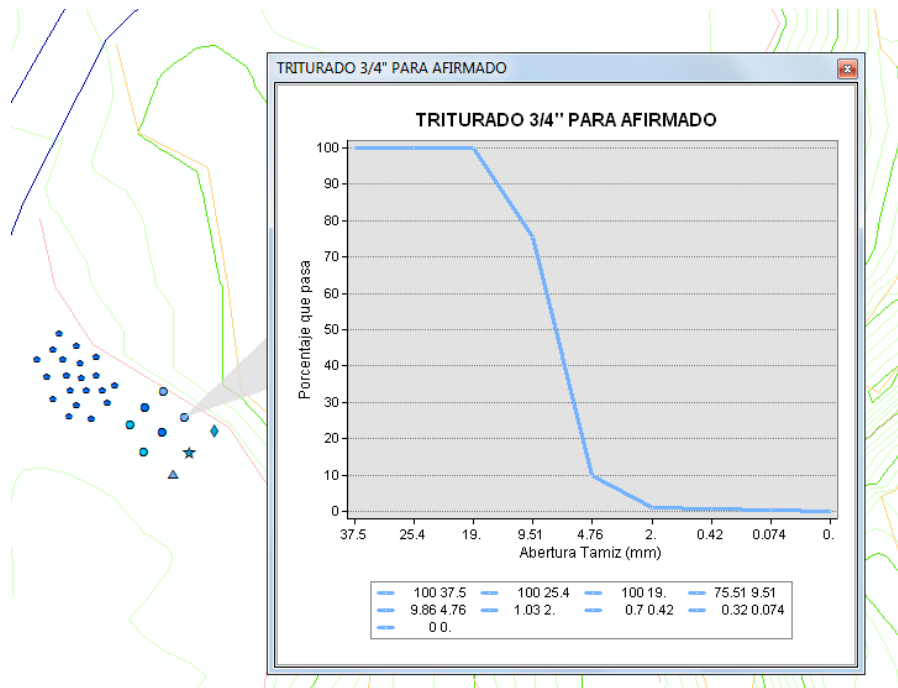
- El material denominado “Triturado de 3/4” para afirmado”, se tomó una masa seca de 2.0 Kg (2,000 g) aproximadamente, para la realización del ensayo, ya que el material disponible no permitía tomar una cantidad mayor:

Tabla 12: Atributos de la Granulometría triturado 3/4” para afirmado

GRANULOMETRÍA TRITURADO 3/4" AFIRMADO						
	OBJ	Tamiz	Abertura (mm)	% Que pasa	Masa retenida (g)	% Retenido
▶	1	1 1/2"	37.50	100.00	0.00	0.00
	2	1"	25.40	100.00	0.00	0.00
	3	3/4"	19.00	100.00	0.00	0.00
	4	3/8"	9.51	75.51	489.07	24.49
	5	N° 4	4.76	9.86	1310.96	65.65
	6	N° 10	2.00	1.03	176.40	8.83
	7	N° 40	0.42	0.70	6.66	0.33
	8	N° 200	0.07	0.32	7.53	0.38
	9	Fondo	0.00	0.00	6.71	0.32

Fuente: SUÁREZ y VERA. Op. cit., p. 59.

Gráfico 6: Porcentaje que pasa Vs Abertura Tamiz (mm)



Fuente: Autor, tomado de ArcMap.

Por lo anterior, se concluye que más del 98.9% del material es grava media y fina, ya que las partículas presentan un tamaño superior a 2.0 mm y que tan sólo un 1.1% se refiere a arenas y finos, con tamaños iguales o menores a 2.0 mm.

7.2.4 Granulometría de arenas.

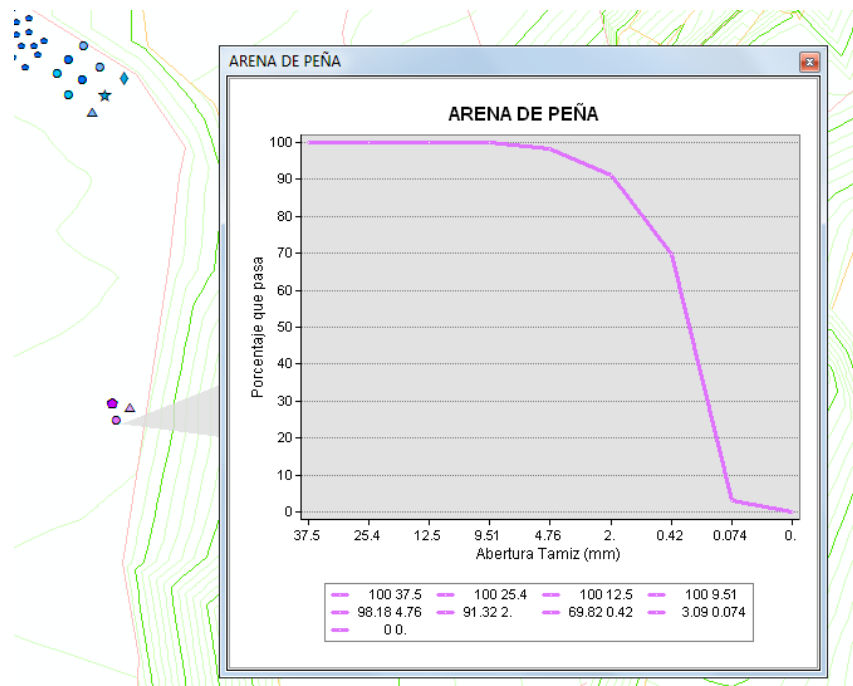
- El material denominado “arena de peña”, se tomó una masa seca de 2.0 Kg (2,000 g) aproximadamente, ya que el material disponible no permitía tomar una cantidad mayor:

Tabla 13: Atributos de la Granulometría de arena de peña

GRANULOMETRÍA ARENA DE PEÑA						
OBJ	Tamiz	Abertura (mm)	% Que pasa	Masa retenida (g)	% Retenido	
1	1 1/2"	37.50	100.00	0.00	0.00	
2	1"	25.40	100.00	0.00	0.00	
3	1/2"	12.50	100.00	0.00	0.00	
4	3/8"	9.51	100.00	0.00	0.00	
5	N° 4	4.76	98.18	36.49	1.82	
6	N° 10	2.00	91.32	137.08	6.86	
7	N° 40	0.42	69.82	429.38	21.50	
8	N° 200	0.07	3.09	1332.67	66.73	
9	Fondo	0.00	0.00	61.63	3.09	

Fuente: SUÁREZ y VERA. Op. cit., p. 47.

Gráfico 7: Porcentaje que pasa Vs Abertura Tamiz (mm)



Fuente: Autor, tomado de ArcMap.

Por lo anterior, se concluye que más del 91.3% del material es arena y finos, ya que las partículas presentan un tamaño inferior a 2.0 mm y que tan sólo un 8.6% se refiere a grava fina, con tamaños entre a 2.0 y 4.0 mm

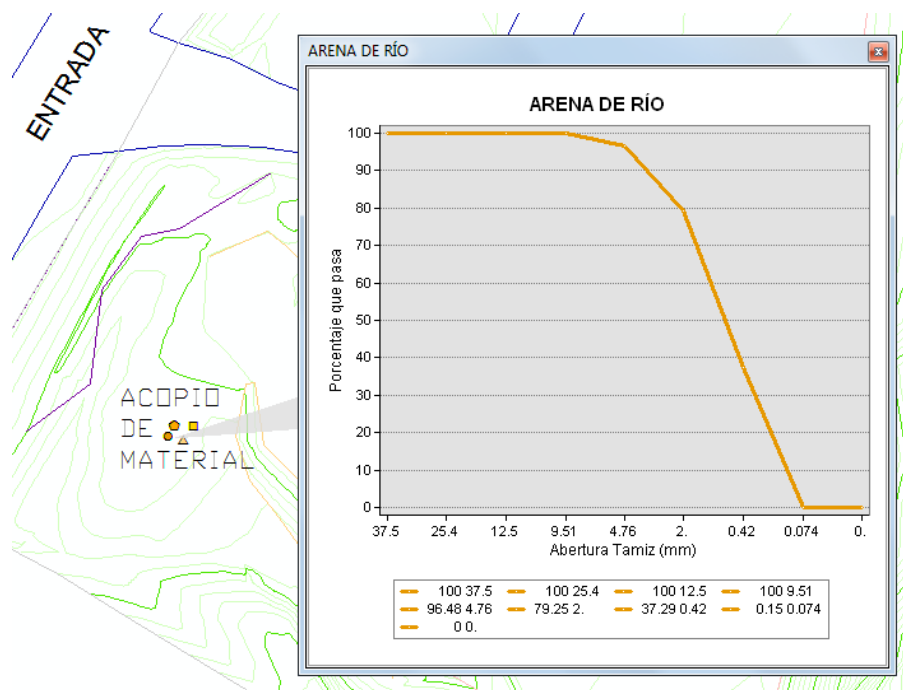
- El material denominado “arena de río”, se tomó una masa seca de 1.0 Kg (1,000 g) aproximadamente, para la realización del ensayo, ya que el material disponible no permitía tomar una cantidad mayor:

Tabla 14: Atributos de la Granulometría de arena de río

GRANULOMETRÍA ARENA DE RÍO						
OBJ	Tamiz	Abertura (mm)	% Que pasa	Masa retenida (g)	% Retenido	
1	1 1/2"	37.50	100.00	0.00	0.00	
2	1"	25.40	100.00	0.00	0.00	
3	1/2"	12.50	100.00	0.00	0.00	
4	3/8"	9.51	100.00	0.00	0.00	
5	N° 4	4.76	96.48	35.15	3.52	
6	N° 10	2.00	79.25	172.16	17.23	
7	N° 40	0.42	37.29	419.15	41.96	
8	N° 200	0.07	0.15	371.00	37.14	
9	Fondo	0.00	0.00	1.63	0.15	

Fuente: SUÁREZ y VERA. Op. cit., p. 48.

Gráfico 8: Porcentaje que pasa Vs Abertura Tamiz (mm)



Fuente: Autor, tomado de ArcMap.

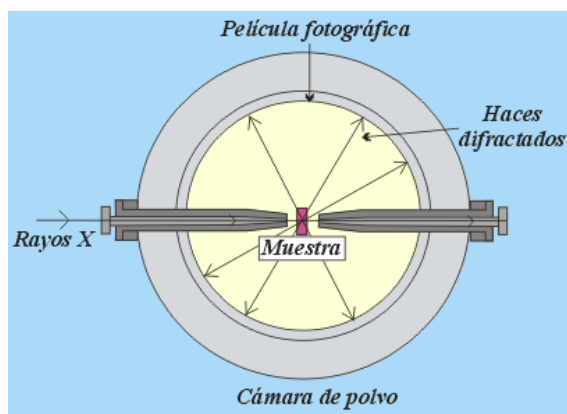
Por lo anterior, se concluye que más del 79.2% del material es arena y finos, ya que las partículas presentan un tamaño inferior a 2.0 mm y que tan sólo un 20.7% se refiere a grava fina, con tamaños entre a 2.0 y 4.0 mm.

7.3 IDENTIFICACIÓN DE MINERALES POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X

La técnica de difracción de Rayos X ha sido ampliamente utilizada en la caracterización de materiales, que cumplen con la condición de tener una estructura cristalográfica definida, pues la información obtenida de la interacción entre los rayos X y los cristales se basa en la difracción producida por un conjunto de átomos en un arreglo ordenado⁵⁰.

La difracción de los Rayos X por materiales cristalinos es, esencialmente, un proceso de dispersión coherente. Esta radiación coherente se origina por el choque de los fotones incidentes contra los electrones firmemente ligados a los átomos. Cada átomo irradiado del material dispersa de manera individual en todas las direcciones⁵¹.

Ilustración 15: Haces difractados durante el ensayo



Fuente: http://www2.uned.es/cristamine/cristal/drx_met.htm.

A continuación se muestran los resultados obtenidos en el análisis de difracción de Rayos X, por el método de polvos, como son: el porcentaje en peso de cada uno de los minerales encontrados y su composición química, realizado a las muestras de mano denominadas “arena de río” y “triturado de $\frac{3}{4}$ de pulgada”.

⁵⁰ BETANCOURTH, Diana, *et al.* Análisis por difracción de Rayos X de rocas provenientes de Región Esmeraldífera. En: *Scientia et Technica*. 2010. No. 44. p. 257.

⁵¹ *Ibíd.*, p. 257-258

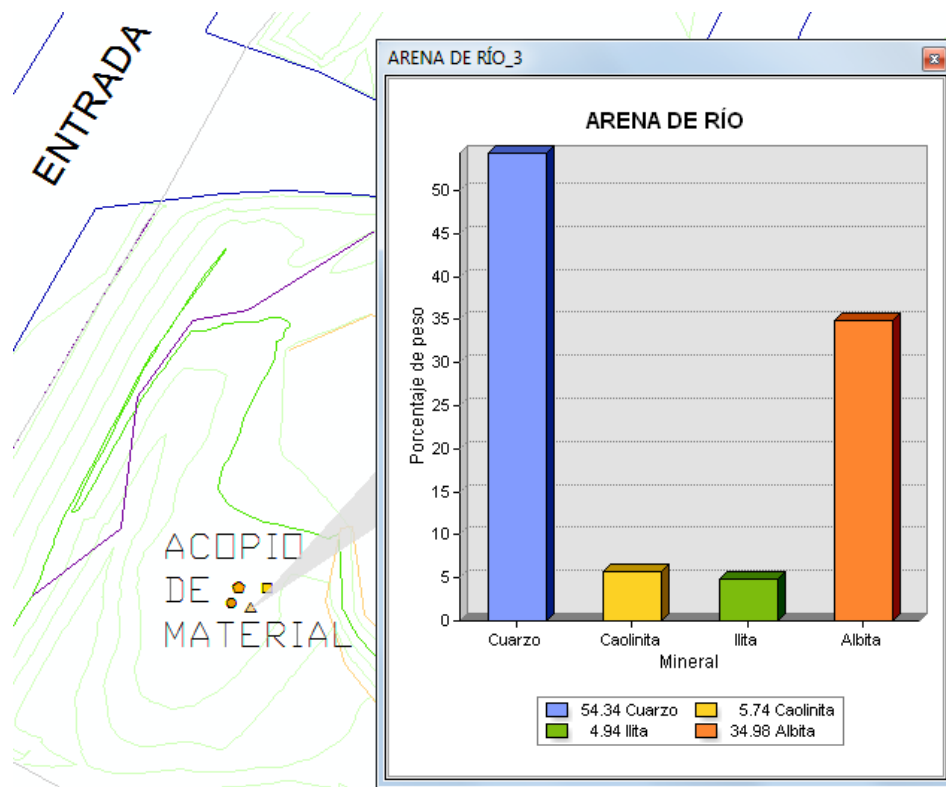
7.3.1 Difracción de Rayos X, arena de río.

Tabla 15: Tabla de atributos arena de río

DIFRACCIÓN DE RAYOS X ARENA DE RÍO				
OBJ	Mineral	Porcentaje de Peso	Fórmula Química	
1	Cuarzo	54.34	SiO ₂	
2	Caolinita	5.74	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	
3	Ilita	4.94	(K,H ₃ O)(AL,Mg,Fe) ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀	
4	Albita	34.98	NaAlSi ₃ O ₈	

Fuente: SUÁREZ y VERA. Op. cit., p. 129.

Gráfico 9: Porcentaje de peso de minerales, arena de río



Fuente: Autor, tomado de ArcMap.

Por lo anterior, se concluye que más de 89.30% de esta arena río está compuesta por cuarzo y albita (minerales del grupo de los silicatos) y que tan solo el 10.68% de la misma, está compuesta por caolinita e illita que aunque son minerales tipo silicato, son arcillosos.

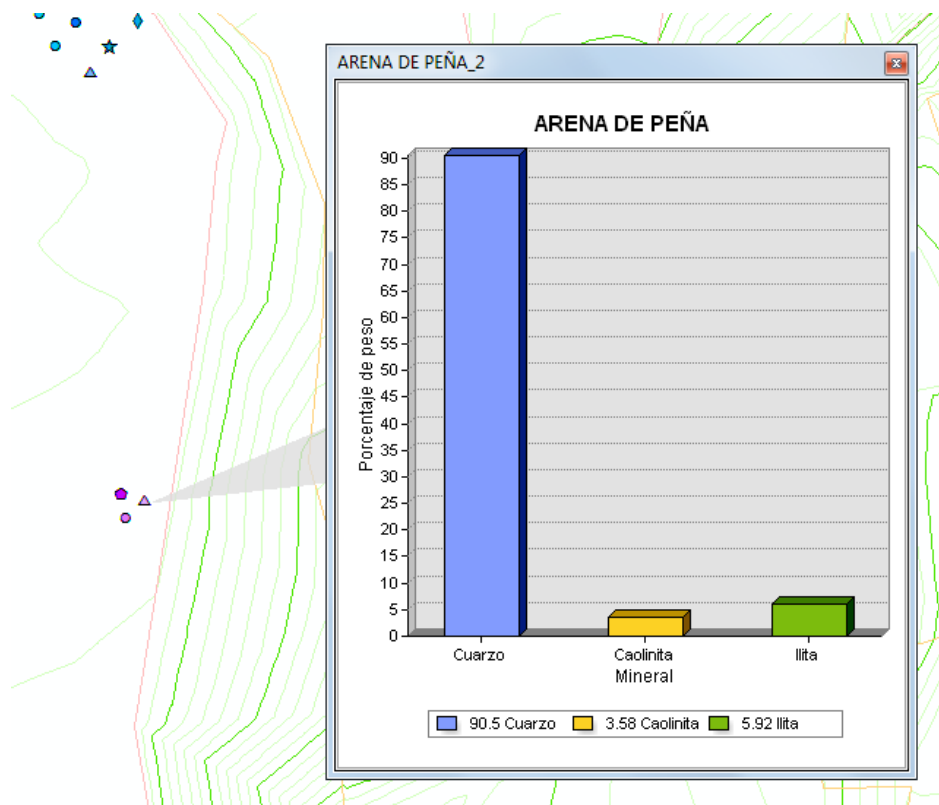
7.3.2 Difracción de Rayos X, arena de peña.

Tabla 16: Tabla de atributos arena de peña

DIFRACCIÓN DE RAYOS X ARENA DE PEÑA				
OBJ	Mineral	Porcentaje de Peso	Fórmula Química	
1	Cuarzo	90.50	SiO ₂	
2	Caolinita	3.58	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	
3	lilita	5.92	(K,H ₃ O)(AL,Mg,Fe) ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀	

Fuente: SUÁREZ y VERA. Op. cit., p. 130.

Gráfico 10: Porcentaje de peso de minerales, arena de peña



Fuente: Autor, tomado de ArcMap.

Por lo anterior, se concluye que más de 90.5% de esta arena de peña está compuesta por cuarzo (mineral del grupo de los silicatos) y que tan solo el 9.5% de la misma, está compuesta por caolinita e illita que aunque son minerales tipo silicato, son arcillosos.

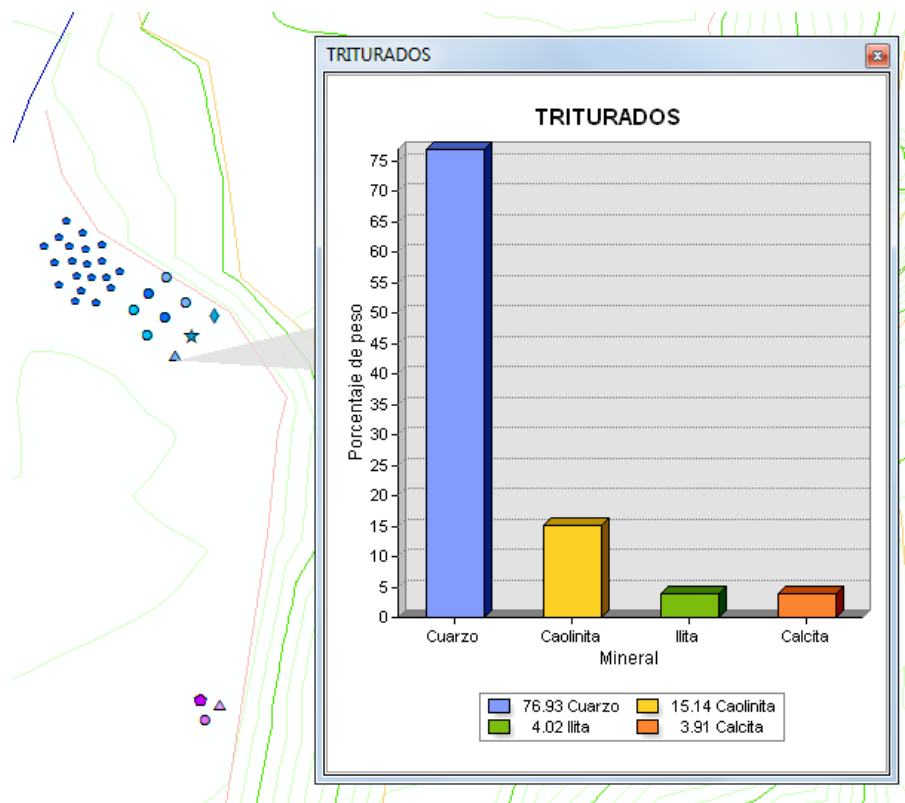
7.3.3 Difracción de Rayos X, triturado.

Tabla 17: Tabla de atributos triturado

DIFRACCIÓN DE RAYOS X TRITURADOS			
OBJ	Mineral	Porcentaje de Peso	Fórmula Química
1	Cuarzo	76.93	SiO ₂
2	Caolinita	15.14	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄
3	Illita	4.02	(K,H ₃ O)(AL,Mg,Fe) ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀
4	Calcita	3.91	CaCO ₃

Fuente: SUÁREZ y VERA. Op. cit., p. 130.

Gráfico 11: Porcentaje de peso de minerales, triturado



Fuente: Autor, tomado de ArcMap.

Por lo anterior, se concluye que el 76.93% de este material está compuesto por cuarzo (mineral del grupo de los silicatos), el 19.16% del mismo está compuesto por caolinita e illita y tan solo el 3.91% se refiere a calcita (mineral carbonato).

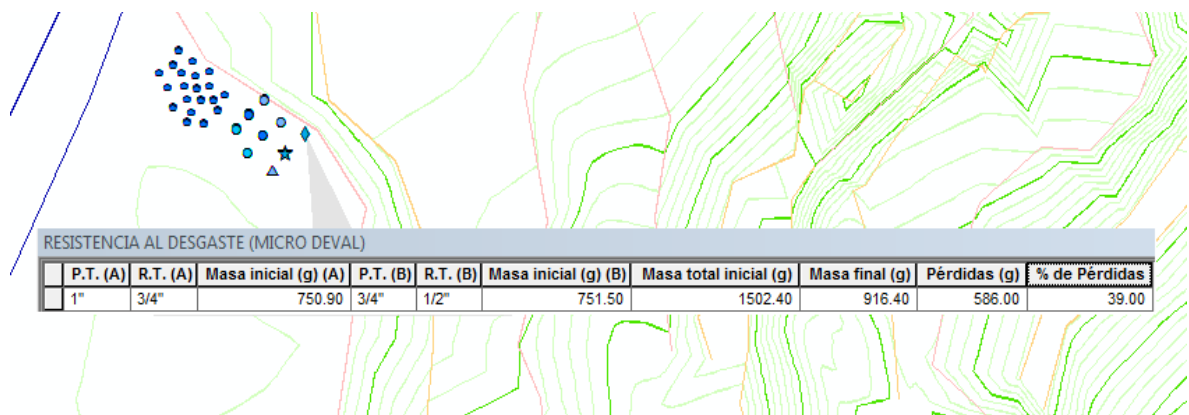
7.4 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL AGREGADO GRUESO AL DESGASTE POR ABRASIÓN UTILIZANDO EL APARATO MICRO-DEVAL (I.N.V. E – 238 – 07)

El ensayo Micro-Deval, en agregados gruesos, es una medida de la resistencia a la abrasión y durabilidad de agregados pétreos que han sido sometidos a la acción combinada de abrasión y molienda con bolas de acero en presencia de agua, además, se sabe que muchos agregados son más débiles en estado húmedo que secos y el uso del agua en este ensayo mide esta reducción de resistencia en contraste con otros ensayos que se realizan con agregados secos solamente⁵².

Ya que la distribución granulométrica del agregado a evaluar depende del tamaño máximo nominal, se dispuso el material denominado “triturado de 1 pulgada” y “triturado de ¾ de pulgada”, por lo que se hace necesario cumplir la especificación de la norma de acuerdo al tamaño establecido por el Instituto Nacional de Vías.

A continuación se muestran los resultados obtenidos del ensayo de determinación de la resistencia del agregado grueso al desgaste por abrasión, donde se pueden apreciar los tamices utilizados para pasar y retener el material, el peso inicial y final de las muestras y el porcentaje de pérdidas de los mismos:

Ilustración 16: Resultados del ensayo del aparato Micro Deval



Fuente: SUÁREZ y VERA. Op. cit., p. 90

⁵² INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Determinación de la resistencia del agregado grueso al desgaste por abrasión utilizando el aparato micro-deval. I.N.V. E – 238 – 07. Bogotá D.C.: El Instituto, 2007. p. 1.

7.5 RESISTENCIA AL DESGASTE POR MEDIO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES (I.N.V. E – 218 – 07)

Este ensayo ha sido ampliamente usado como un indicador de la calidad relativa o la competencia de diferentes fuentes de agregados pétreos de similares composiciones mineralógicas. Los resultados no brindan automáticamente comparaciones válidas entre fuentes marcadamente diferentes en origen, composición o estructura⁵³.

El ensayo en la máquina de Los Ángeles es una medida del desgaste de los agregados minerales de gradación normalizada resultante de la combinación de acciones que incluyen abrasión o desgaste, impacto, y trituración en un tambor rotatorio de acero que contiene un número especificado de esferas de acero; el número de esferas depende de la gradación de la muestra de ensayo⁵⁴.

Para la realización del mismo, se dispone el material denominado “triturado de 1 pulgada” y “triturado de ¾ de pulgada”, por lo que se hace necesario cumplir la especificación de la norma de acuerdo al tamaño, tal y como se describe a continuación:

Tabla 18: Granulometría necesaria para el ensayo

Pasa Tamiz	Retiene Tamiz	Masa de las fracciones (g)
19.0mm (3/4")	12.5mm (1/2")	2500 ± 10
25.40mm (1")	19.0mm (3/4")	2500 ± 10
TOTAL		5000 ± 10

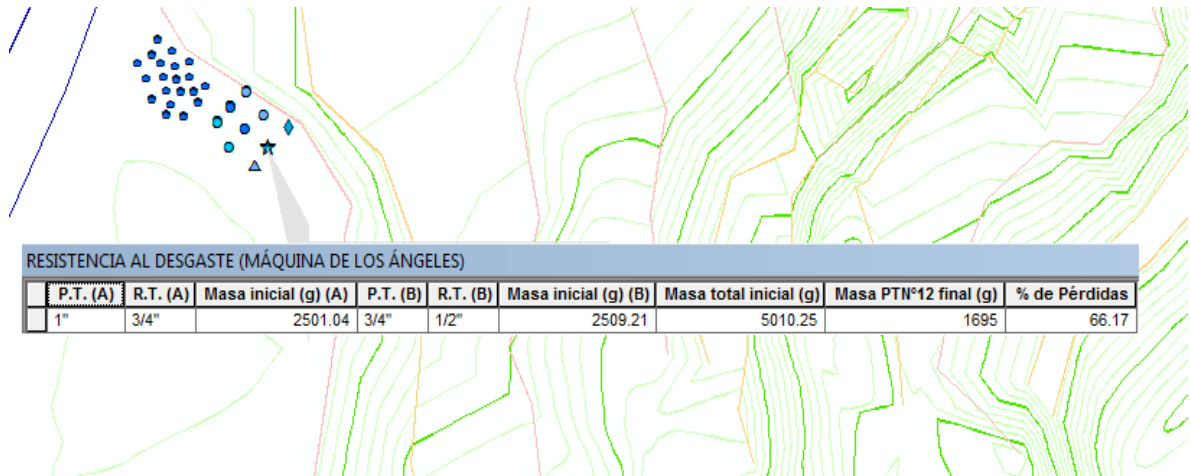
Fuente: Instituto Nacional de Vías. I.N.V. E – 218 – 07.

A continuación se muestran los resultados obtenidos del ensayo de determinación de la resistencia al desgaste, donde se pueden apreciar los tamices utilizados para pasar y retener el material, el peso inicial y final de las muestras y el porcentaje de pérdidas de los mismos:

⁵³ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Resistencia al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1½") por medio de la máquina de Los Ángeles. I.N.V. E – 218 – 07. Bogotá D.C.: El Instituto, 2007. p. 1.

⁵⁴ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Determinación de la resistencia al desgaste de los agregados gruesos mayores de 19 mm, utilizando la máquina de los ángeles. NTC 93. Bogotá D.C.: El Instituto, 1995. p. 2.

Ilustración 17: Resultados del ensayo de la Máquina de Los Ángeles



Fuente: SUÁREZ y VERA. Op. cit., p. 93-94.

7.6 DETERMINACIÓN DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS DELEZNABLES EN LOS AGREGADOS (I.N.V. E – 211 – 07)

Este método se refiere a la determinación aproximada de los terrones de arcilla y de las partículas deleznable (que puede quebrarse o destrozarse con facilidad) en los agregados, además, es de importancia fundamental para aceptar el empleo de agregados destinados a la elaboración de concretos de cemento Pórtland⁵⁵.

Ilustración 18: Terrón de arcilla

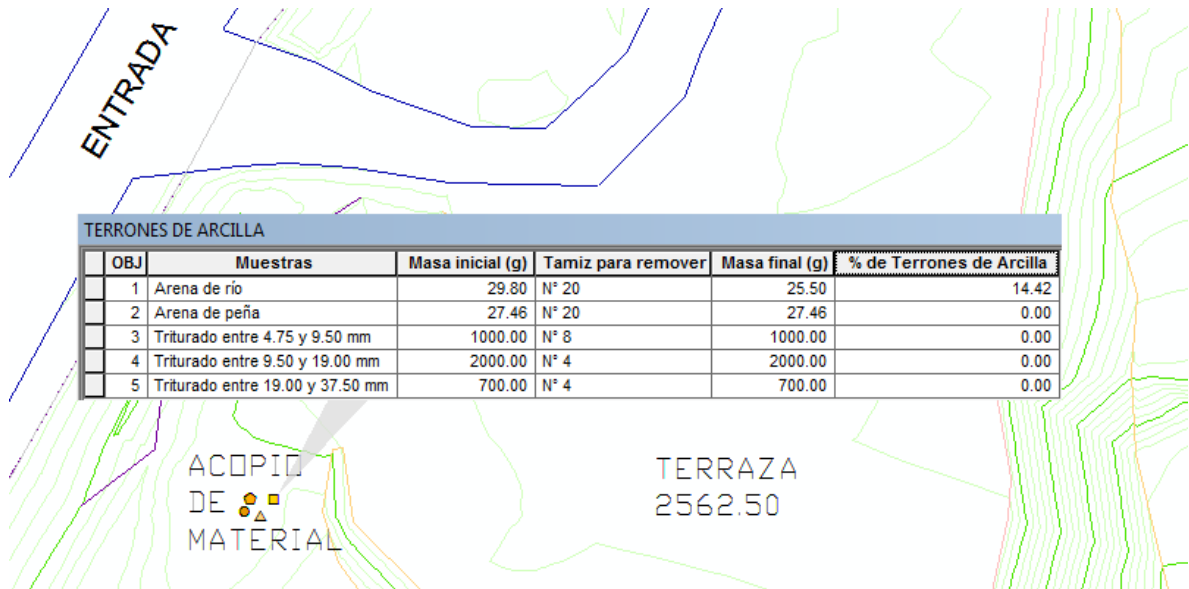


Fuente: <https://gabrieltobar.wordpress.com/2014/01/26/greda-de-la-mutty/>

⁵⁵ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Determinación de terrones de arcilla y partículas deleznable en los agregados. I.N.V. E – 211 – 07. Bogotá D.C.: El Instituto, 2007. p. 1.

A continuación se muestran los resultados obtenidos del ensayo de determinación de terrones de arcilla y partículas deleznables, donde se pueden apreciar los diferentes tipos de muestras utilizadas, las cantidades de cada una de ellas y el porcentaje de pérdidas obtenido después del remojo y posterior tamizado húmedo:

Tabla 19: Tabla de atributos terrones de arcilla



Fuente: SUÁREZ y VERA. Op. cit., p. 76-80.

7.7 LÍMITES DE CONSISTENCIA (I.N.V. E – 125 Y 126 – 07)

La consistencia hace referencia al grado de firmeza y en los suelos coherentes varía desde un estado sólido cuando están secos, a un estado líquido viscoso cuando su contenido de agua aumenta considerablemente. Los límites de Atterberg no son estrictamente absolutos, sino fronteras aproximadas para la clasificación de los suelos cohesivos y resultan muy útiles en la mecánica de suelos para poder identificar las arcillas según su consistencia y comportamiento⁵⁶.

Algunos suelos finos y arenosos pueden, en apariencia, ser similares a las arcillas, pero al tratar de determinar su límite plástico se nota la imposibilidad de formar los rollitos, revelándose así la falta de plasticidad del material; en estos suelos el límite líquido resulta prácticamente igual al plástico y aún menor, resultando entonces un

⁵⁶ FRATELLI, María. Características de los suelos. En: Suelos, fundaciones y muros, M.G. Fratelli, 1993, p. 12.

índice plástico negativo; las determinaciones de plasticidad no conducen a ningún resultado de interés y los límites líquido y plástico carecen de sentido físico⁵⁷.

La importancia del ensayo radica en determinar en gran medida la cohesión del suelo, lo que permite predecir la capacidad portante y las posibles expansiones o asentamientos bajo contenidos de humedad variables, además, presenta una relación con la cantidad de agua que un material puede absorber y con sus características físicas y mecánicas.

Para determinar estos límites, se trabaja con todo el material PTN°40 (0.42 mm). Esto quiere decir que no solo se trabaja con la parte fina del suelo (PTN°200), sino que se incluye igualmente la fracción de arena fina.

La primera parte del ensayo tiene como objetivo determinar el límite líquido, definido como el contenido de humedad del suelo secado al horno, cuando éste se halla en el límite entre el estado líquido y el estado plástico.

En este caso, los materiales dispuestos para el ensayo fueron las denominadas “arena de río” y “arena de peña”, de las cuales se tomaron aproximadamente 100g de una porción de material completamente mezclado que pasó el tamiz N°40, de acuerdo con el método descrito en las normas INV E-106 e INV E-107.

Posteriormente se puso cada muestra en una vasija de evaporación y se mezcló inicialmente con 15 ml de agua destilada con incrementos adicionales de agua de 1 a 3 ml, hasta que se formó una pasta uniforme de consistencia dura. Se colocó una cantidad de la muestra en la cazuela y con una pasada del ranurador hasta el fondo de la misma, se dividió la muestra en dos.

Sin embargo, al golpear la cazuela girando la manija a una velocidad de dos revoluciones por segundo, la ranura se cerró casi por completo al completar 4 golpes en el caso de la arena de peña y tan solo 3 golpes para la arena de río, esto indica la poca presencia de arcillas en los materiales, por lo cual, se concluyó que el límite líquido y el límite plástico no se pueden determinar debido a que no se cumple con las propiedades características en este tipo de muestra.

⁵⁷ JUÁREZ, Eulalio y RICO, Alfonso. Plasticidad. En: Mecánica de suelos. México: Editorial Limusa, 2005. p. 134.

8. CONCLUSIONES

- Uno de los beneficios principales de esta plataforma, es el avance en la recopilación y estructura de la información obtenida de las características físico-mecánicas, petrográficas y mineralógicas de los agregados pétreos y la facilidad para realizar consultas de manera gráfica o a través de tablas de atributos, por medio de la generación de capas de información (*Shapes*) y la superposición de las mismas.
- Desde el punto de vista medioambiental, el desarrollo de este estudio permite plantear una alternativa de aprovechamiento de los agregados como materiales de construcción, con la intención de minimizar el impacto antropogénico generado por las emisiones de polvo al ambiente, ya que se identifican los puntos exactos de extracción de cada tipo de material, evitando explotación innecesaria del macizo rocoso.

De igual manera, la plataforma proporciona una alternativa clave para la disminución del impacto generado sobre la sinergia de los ecosistemas en el área de estudio, ya que su uso a gran escala disminuiría notablemente la erosión de suelos en zonas en las cuales no se extendería una explotación a cielo abierto.

- Desde el punto de vista económico, la plataforma de consulta permite la disminución de costos en obras de infraestructura, ya que una vez identificadas las características físico-mecánicas, petrográficas y mineralógicas que definen el uso del material, será mínima la inversión por mantenimiento, rehabilitación y conservación.
- Este sistema de información geográfica se transforma en una herramienta útil en el ámbito de la ingeniería, ya que se pueden añadir no sólo campos para nuevos resultados de ensayos, relacionados con la caracterización de los materiales de construcción, sino además, la incorporación geográfica de otros puntos de extracción de materiales.

9. RECOMENDACIONES

- Se recomienda incrementar la cantidad de ensayos del material extraído de la cantera con el fin de mejorar la base de datos, para obtener consultas más especializadas.
- La aplicación de esta misma metodología de caracterización de los materiales de construcción en diferentes canteras serviría para enriquecer la base de datos y de esta manera obtener mapas temáticos que constituyan una herramienta clave para la toma de decisiones en cuanto a la optimización de los materiales en las obras civiles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMSTRONG, James y MENON, Raji. Minas y Canteras. En: Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. Madrid, 1998. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. p. 21.
- BETANCOURTH, Diana, *et al.* Análisis por difracción de Rayos X de rocas provenientes de Región Esmeraldífera. En: Scientia et Technica. 2010. No. 44. p. 257.
- CONASFALTOS S.A. Cartilla de Agregados. Medellín, 2014. p. 3.
- FRATELLI, María. Características de los suelos. En: Suelos, fundaciones y muros, M.G. Fratelli, 1993, p. 12.
- GARZÓN, E., *et al.* Aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) de interés en Cerámica y Vidrio. En: Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio. 2009. no. 5. p. 39-40.
- HUXHOLD, W. E. An Introduction to Urban Geographic Information Systems. New York: Oxford University Press, 1991.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Determinación de la resistencia al desgaste de los agregados gruesos mayores de 19 mm, utilizando la máquina de los ángeles. NTC 93. Bogotá D.C.: El Instituto, 1995. p. 2.
- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos. I.N.V. E – 213 – 07. Bogotá D.C.: El Instituto, 2007. p. 1.
- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Determinación de la resistencia del agregado grueso al desgaste por abrasión utilizando el aparato micro-deval. I.N.V. E – 238 – 07. Bogotá D.C.: El Instituto, 2007. p. 1.
- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Determinación de terrones de arcilla y partículas deleznable en los agregados. I.N.V. E – 211 – 07. Bogotá D.C.: El Instituto, 2007. p. 1.

- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Resistencia al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1½") por medio de la máquina de Los Ángeles. I.N.V. E – 218 – 07. Bogotá D.C.: El Instituto, 2007. p. 1.
- JUÁREZ, Eulalio y RICO, Alfonso. Plasticidad. En: Mecánica de suelos. México: Editorial Limusa, 2005. p. 134.
- LÓPEZ K., Jesús, et al. Caracterización medioambiental de 12 canteras en explotación para materiales de construcción ubicadas en las provincias de La Habana, Artemisa y Mayabeque. En: Ciencias de la Tierra y el Espacio. 2015. Vol. 16, no. 1. p. 40–52.
- MENDIBERRI, Julio. Rocas Orgánicas. En: Sedimentología. Hawái, School of Business and Economics, Atlantic International University.
- ROBINSON, Arthur, *et al.* Elementos de Cartografía. 5 ed. Barcelona. Ed. Omega, 1987. p. 4.
- ROMERO DÍAZ, A, *et al.* Aplicación de técnicas SIG en el estudio de evaluación de degradación de suelos. Mazarrón (Murcia). En: Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos. 2010. p. 1.074-1.078.
- SUÁREZ, Andrés y VERA, Jonathan. Caracterización físico mecánica y mineralógica de los agregados extraídos del depósito Acopios en Sopó Cundinamarca para su uso en pavimentos. Bogotá D.C.: Universidad Santo Tomás. Facultad de Ingeniería Civil, 2017. 140 p.
- STAR, Jeffrey y ESTES, John. Geographic Information Systems: an introduction. New Jersey, Prentice-Hall, 1990.
- UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO. Densidad y peso específico de los minerales. Puno, 2011. p. 2.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

- ANLA. Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. 2015. Disponible en: [<http://www.anla.gov.co/>].
- ARCGIS. Georreferenciación y sistemas de coordenadas. 2016. Esri. 2016. Disponible en: [<http://resources.arcgis.com/>].
- ARCGIS FOR DESKTOP. ArcMap. 2016. Esri. Disponible en: [<http://desktop.arcgis.com/>].
- CONFEDERACIÓN DE EMPRESARIOS DE ANDALUCÍA. Sistemas de información geográfica, tipos y aplicaciones empresariales. 2014. Disponible en: <http://www.sig.cea.es/>.
- CONSORCIO DE ESTRUCTURACIÓN VIAL. Informe de fuentes de materiales y botaderos. 2da Versión. 2015. Disponible en: [<ftp://ftp.ani.gov.co/>].p. 20.
- CONSTRUDATA. Historia de los agregados. Disponible en: [<http://www.construdata.com/VitrinaComercial.htm>].
- EL SISTEMA MUNSELL DE ESPECIFICACIÓN DEL COLOR. Disponible en: [http://redgeomatica.rediris.es/cartto2/arb0lB/carttoB/Bcap5/5_9_1.htm].
- GRIEM, Wolfgang. Propiedades de los minerales. Chile, 2005. Disponible en: [<http://www.geovirtual2.cl/geologiageneral/ggcap02a.htm>].
- ICDE. Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales. 2016. Disponible en: [<http://www.icde.org.co/>].
- IGAC. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2016. Disponible en: [<http://www.igac.gov.co/>].
- INTRODUCCIÓN A LA MINERALOGÍA. Disponible en: [<http://greco.fmc.cie.uva.es/mineralogia.html>].
- LEXICOON. 2017. Disponible en: [<http://lexicoon.org/es/lustre>].

- MINERALOGÍA. EcuRed. 2017. Disponible en:
[<https://www.ecured.cu/Mineralogia>].
- SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO. Petrografía. 2013. Disponible en:
[<http://portalweb.sgm.gob.mx/>].

ANEXOS

- Anexo A: Plano Topográfico Cantera RODEB