

**MODELAMIENTO DE UN YACIMIENTO DE MATERIALES CALCAREOS Y
AGREGADOS PARA CEMENTO Y CONCRETO REALIZADO POR LA
EMPRESA SOLUCIONES EN GEOLOGIA Y MINERÍA S.A.S**

LEIDY KATHERINE LUNA CABEZA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2015

**MODELAMIENTO DE UN YACIMIENTO DE MATERIALES CALCAREOS Y
AGREGADOS PARA CEMENTO Y CONCRETO REALIZADO POR LA
EMPRESA SOLUCIONES EN GEOLOGIA Y MINERÍA S.A.S**

LEIDY KATHERINE LUNA CABEZA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de Geología

DIRECTOR:

CARLOS ALBERTO GARCÍA RAMIREZ

Geólogo, PhD en Geología

TUTOR:

RAFAEL ANTONIO SAAVEDRA

Ing. Geólogo

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2015

DEDICATORIA

Principalmente a Dios

*A mi padre Rodolfo Luna por el apoyo que me brindó a lo largo de
mi formación como profesional.*

*A mi Anita, madre, tía y a mi pato por ser las mujeres que siempre
me han brindado amor, apoyo y comprensión.*

A mi sobrino Mathías Marín

A Jorge Osorio por su comprensión y apoyo.

*A Alejandra, Blanca, Tatiana, Karina y a Lorena por la amistad
desinteresada e incondicionalidad.*

*A mis chicos RBD por motivarme y animarme cada vez que he
decaído, en particular, por la energía y la forma de ver la vida que
siempre les caracteriza*

*A mi chompí por tolerar mis momentos de mal genio y testarudez,
por ser siempre paciente, honesto y por su incondicionalidad, en
definitiva por ser un gran amigo y un excelente ser humano. Y a
todos mis amigos cercanos por los momentos vividos, por el cariño y
apoyo que siempre me han brindado*

*A cada persona que decide sonreír día a día a pesar de las
adversidades.*

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Industrial de Santander y a la escuela de Geología por mi proceso de formación como profesional.

A mi director de proyecto, el profesor Carlos Alberto García, por los aportes realizados a lo largo de mi práctica y posterior elaboración del trabajo.

A la empresa Soluciones en Geología y Minería S.A.S por permitirme realizar mi práctica empresarial y ser parte de un admirable grupo de trabajo caracterizado por su compañerismo.

Al Ingeniero Leandro Esteban Rendón por su guía, apoyo y dirección en todas las etapas realizadas durante mi aprendizaje en la empresa, además de su amistad.

A Diana Serrano y a Julio Rodríguez por los aportes realizados en mi sustentación y en la entrega presente del libro.

A Jorge Coronado por todo su apoyo y colaboración durante todo mi proyecto.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	19
1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	20
2 OBJETIVOS.....	21
2.1 OBJETIVO GENERAL	21
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
3 GENERALIDADES.....	22
3.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	22
3.2 VÍAS DE ACCESO.....	23
3.3 FISIOGRAFÍA	24
3.4 CLIMA.....	25
3.5 HIDROGRAFÍA.....	25
3.6 ANTECEDENTES.....	25
3.7 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	26
3.7.1 Geología Regional:	26
3.7.2 Marco Tectónico:	27
4 METODOLOGÍA DE TRABAJO	28
5 MARCO TEORICO	30
5.1 MODELAMIENTO.....	31
5.1.1 Modelo Estructural:	31
5.1.2 Modelo Estratigráfico:	31
5.1.3 Información requerida para realizar los modelos estructurales y estratigráficos:.....	32

5.1.4 Definición agregados pétreos:	34
5.1.5 La Industria del Cemento:	36
6 TOMA DE INFORMACIÓN GEOLÓGICA LOCAL	40
6.1 CARTOGRAFIA GEOLÓGICA.....	40
6.1.1 Formación Vijes:	40
6.1.2 Grupo Diabásico:	42
6.2 ESTUDIO ESTRATIGRÁFICO.....	46
7 FOTOGEOLOGÍA	48
8 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	51
8.1 ELABORACIÓN MAPA GEOLÓGICO	51
8.2 ELABORACIÓN DE PERFILES GEOLÓGICOS Y COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS	56
8.3 CONSTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN DE LA BASE DE DATOS.....	59
8.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	65
9 METODOLOGÍA MODELO GEOLÓGICO	73
9.1 MODELO ESTRUCTURAL	75
9.2 MODELO ESTRATIGRÁFICO	77
9.3 MODELO DE BLOQUES	82
9.3.1 Creación De Atributos para el modelo de bloques:.....	85
9.3.2 Generación de Constraints:	87
9.3.3 Asignar valores a un atributo:	89
9.4 MODELO DE CALIDAD	91
9.4.1 Estimación de la Información:	92
9.4.2 Categorización de Recursos:	97

9.4.3 Reporte Categorización de Recursos:	105
10 RESULTADOS DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA	107
11 CONCLUSIONES	109
12 RECOMENDACIONES	111
BIBLIOGRAFÍA	112

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica de la zona de estudio	23
Figura 2. Vías de acceso Sector Portachuelo	24
Figura 3. Geotectónica Valle del Cauca.....	27
Figura 4. Metodología de trabajo	29
Figura 5. Información requerida para elaborar los modelos Estructural y Estratigráfico	33
Figura 6. Agregados Pétreos	35
Figura 7. Proceso de fabricación del cemento	37
Figura 8. Mapa geológico de campo preliminar del Sector Portachuelo.	45
Figura 9. Principales lineamientos identificados mediante estudio fotogeológico ..	50
Figura 10. Tabla de Atributos del Software Arcgis.	51
Figura 11. Tratamiento de la información desde Arcgis.....	52
Figura 12. Inconsistencias litológicas mapa geológico Sector Portachuelo.	53
Figura 13. Corrección inconsistencias litológicas mapa geológico Sector Portachuelo.....	54
Figura 14. Mapa geológico Sector Portachuelo	55
Figura 15. Perfiles geológicos Sector Portachuelo.	56
Figura 16. Columna generalizada exploración cartográfica del Sector Portachuelo	57
Figura 17. Columna generalizada estudio estratigráfico del Sector Portachuelo ...	58
Figura 18. Tabla “Collar”.....	60
Figura 19. Tabla “Survey”	60
Figura 20. Tabla “Geology”	61
Figura 21. Tabla “Sample”	61
Figura 22. Plataforma Acces para almacenar información de base de datos	63
Figura 23. Tablas contenidas en la base de datos de la plataforma Acces	63
Figura 24. Mapear base de datos en Surpac.....	64
Figura 25. Auditar base de datos	64

Figura 26. Validación base de datos.....	65
Figura 27. Estadística descriptiva para generar un compósito	66
Figura 28. Elaboración del compósito para las muestras químicas pertenecientes al estudio Estratigráfico.....	67
Figura 29. Elaboración del compósito para las muestras químicas pertenecientes al estudio Estratigráfico.....	67
Figura 30. Ejemplo de compósito.....	68
Figura 31. Análisis estadístico de la información	69
Figura 32. Análisis estadístico de la información	70
Figura 33. Análisis estadístico realizado en muestras con análisis químicos	71
Figura 34. Análisis estadístico realizado en muestras de calizas	72
Figura 35. Elaboración modelo geológico tridimensional.....	74
Figura 36. Fallas de mayor importancia en la elaboración del Modelo Estructural	75
Figura 37. Bloques Estructurales del Modelo Estructural en el Sector Portachuelo	76
Figura 38. Líneas de perfil empleadas en el modelamiento Geológico del sector Portachuelo.....	78
Figura 39. Líneas de perfil correspondientes a los bloques estructurales 3 y 4.....	79
Figura 40. Superficies de las unidades presentes en el bloque estructural 3	79
Figura 41. Intercepción sólidos proyectados entre los basaltos y calizas presentes en el bloque 3	80
Figura 42. Modelo geológico tridimensional del bloque tres y cuatro en el Sector Portachuelo.....	80
Figura 43. Modelo Geológico Tridimensional Sector Portachuelo	82
Figura 44. Interpretación esquemática del modelo de bloques.....	83
Figura 45. Generación modelo de bloques	83
Figura 46. Modelo de bloques Sector Portachuelo.	85
Figura 47. Creación de atributos para modelo de bloques	86
Figura 48. Atributos de interés en el modelo de bloques	86
Figura 49. Elaboración de un constraint	87

Figura 50. Restringir el cuerpo de caliza en los ocho bloques estructurales	88
Figura 51. Generar constraint de caliza gráficamente en los ocho bloques estructurales	88
Figura 52. Constraint Caliza	89
Figura 53. Estimación de la información para cuerpo de caliza	90
Figura 54. Estimación para único valor: Seleccionar el atributo de interés y asignar el valor de densidad para caliza.....	90
Figura 55. Selección del constraint de caliza para asignar la información	91
Figura 56. Estimación de la información para el cuerpo de arenas mediante el método de interpolación del inverso de la distancia.....	93
Figura 57. Especificación de los atributos a los que se les desea asignar información y archivo de origen en el cual se encuentra la información	93
Figura 58. Valores para parámetros de búsqueda del elipsoide	94
Figura 59. Centroide geométrico.....	95
Figura 60. Reporte del inverso de distancia.....	96
Figura 61. Selección del constraint para asignar información.....	96
Figura 62. Cuerpo de basaltos representando atributo de sanidad	97
Figura 63. Generación Categoría de Recursos Medidos	99
Figura 64. Restricción de la información estimada del CaO para categorizar Recursos Medidos	99
Figura 65. Recursos Medidos Sector Portachuelo.....	100
Figura 66. Restricción de la información estimada del CaO para Recursos Indicados	101
Figura 67. Recursos Indicados Sector Portachuelo	101
Figura 68. Restricción de la información estimada del CaO para Recursos Inferidos	102
Figura 69. Recursos Inferidos Sector Portachuelo.....	103
Figura 70. Categorización de recursos Sector Portachuelo.....	104
Figura 71. Modelo geológico tridimensional del sector portachuelo representando la categorización de recursos	104

Figura 72. Generación de reportes 105

Figura 73. Nombre del reporte 105

Figura 74. Parámetros para el reporte con la información de los atributos deseados
..... 106

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de la norma ASTM para el uso de materiales como agregados en concreto	35
Tabla 2. Familias de diaclasas encontradas en los basaltos del Sector Portachuelo	43
Tabla 3. Muestras tomadas en el Sector Portachuelo durante la cartografía	44
Tabla 4. Facies determinadas por el estudio estratigráfico en el Sector Portachuelo	46
Tabla 5. Muestras totales obtenidas durante el estudio geológico realizado en el Sector Portachuelo	47
Tabla 6. Fotografías aéreas para estudio fotointerpretativo	48
Tabla 7. Estructura de la Base de Datos	59
Tabla 8. Reporte generado por el Software Surpac para la categorización de recursos	107

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Estructura plegada en el Sector Portachuelo: A) Fotografía Panorámica de la zona de estudio. B) Fotografía de detalle del área de interés, se observan intercalaciones de conglomerados y areniscas.....	41
Fotografía 2. Fósiles encontrados en el Sector Portachuelo: A) Fósil de corales coloniales. B) Fósil gasterópodos	42

RESUMEN

TÍTULO: MODELAMIENTO DE UN YACIMIENTO DE MATERIALES CALCAREOS Y AGREGADOS PARA CEMENTO Y CONCRETO REALIZADO POR SOLUCIONES EN GEOLOGIA Y MINERÍA S.A.S ¹

AUTOR: LEIDY KATHERINE LUNA CABEZA ²

PALABRAS CLAVE: Metodología, yacimiento, modelo, tridimensional, estratigráfico, estructural, bloques, calidad, estimación, categorización, recursos, Surpac.

DESCRIPCIÓN:

El modelo geológico aplicado al estudio de los yacimientos minerales es la representación bidimensional o tridimensional de un volumen de roca, para el cual se puede representar su litología, mineralización, tipo de alteración u otra característica geológica de interés que presente el macizo rocoso modelado.

Para generar un modelo geológico es necesario integrar tanto la información superficial como toda aquella información que se tenga del subsuelo, esto con el fin de determinar la continuidad de los cuerpos a modelar tanto en superficie como en el subsuelo, adicional a esto, se debe integrar toda la información referente a muestras que se hayan recolectado con el fin de determinar la composición de las diferentes litologías que componen el yacimiento y establecer su potencial.

Mediante este trabajo se busca mostrar una metodología versátil empleada por la empresa Soluciones en Geología y Minería S.A.S, para la elaboración de modelos geológicos tridimensionales de yacimientos minerales, los cuales permiten conocer información de interés para poder evaluar y concluir si un depósito es o no económicamente viable para ser explotado. En el presente caso este análisis hace referencia a la categorización de recursos presentes en el Sector Portachuelo.

Este modelo geológico se realiza empleando el Software Surpac, buscando mostrar las herramientas esenciales en su ejecución. Es necesario recordar que la elaboración de cualquier modelo depende en gran medida de la interpretación del geólogo a cargo.

¹Proyecto de Grado, Modalidad: Práctica Empresaria

² Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Geología. Director, Geólogo, PhD en Geología Carlos Alberto García Ramirez, Tutor, Geólogo Rafael Antonio Saavedra, Soluciones en Geología y

² Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Geología. Director, Geólogo, PhD en Geología Carlos Alberto García Ramirez, Tutor, Geólogo Rafael Antonio Saavedra, Soluciones en Geología y Minería S.A.S

ABSTRACT

TITLE: MODELING OF A RESERVOIR OF CALCAREOUS MATERIALS AND AGGREGATES FOR CEMENT AND CONCRETE MADE BY SOLUCIONES EN GEOLOGIA Y MINERÍA S.A.S ³

AUTHOR: LEIDY KATHERINE LUNA CABEZA ⁴

KEYWORD: Methodology, reservoir, model, three dimensional, stratigraphic, structural, blocks, quality, assessment, categorization, resources, Surpac.

DESCRIPTION:

The geological model applied to the study of mineral deposits is the representation two-dimensional or three-dimensional of a volume of rock, for which it can be represented its lithology, mineralization, alteration type or another geological feature of interest that presents the modeling rock mass.

To generate a geological model is necessary to integrate both surface information as all the information that can be obtained of the subsoil, this in order to determine the continuity of the bodies to model, both surface and underground, in addition to this, it must be integrated the information regarding all samples that have been collected to determine the composition of the different lithologies that are part of the deposit and to establish its potential.

Through this work we seek to demonstrate a versatile methodology employed by the company Soluciones en Geología y Minería S.A.S, for the development of three-dimensional geological models of mineral deposits, which provide information of interest to evaluate and conclude whether or not a deposit is economically feasible to be exploited. In the present case this analysis refers to the categorization of resources in the Portachuelo Sector.

This geological model is made using the Surpac Software, seeking to show the essential tools in their execution. We must remember that the development of any model depends largely on the interpretation of the geologist in charge.

³ Degree Draft, Modality: Business Practice

⁴ Faculty of Physicochemical Engineering, School of Geology. Director, Geologist, PhD in Geology Carlos Alberto Garcia Ramirez, Tutor, Rafael Antonio Saavedra Geologist, Soluciones en Geología y Minería S.A.S

INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

TÍTULO

MODELAMIENTO DE UN YACIMIENTO DE MATERIALES CALCAREOS Y AGREGADOS PARA CEMENTO Y CONCRETO REALIZADO POR SOLUCIONES EN GEOLOGIA Y MINERÍA S.A.S

DIRECTOR:

Nombre: Carlos Alberto García Ramirez, Ph.D

TUTOR:

Nombre: Geol. Rafael Antonio Saavedra

Empresa: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

Cargo: Gerente

AUTORES

Nombre: Leidy Katherine Luna Cabeza

Código: 2061966

Carrera: Geología

ENTIDADES INTERESADAS EN EL PROYECTO

- Universidad industrial de Santander
- Soluciones en Geología y Minería S.A.S

DIRECTOR DE ESCUELA

Nombre: Msc. Geol. Juan Diego Colegial

Institución: Universidad Industrial de Santander.

Cargo: Director de Escuela de Geología.

INTRODUCCIÓN

Durante el desarrollo de la práctica empresarial se realizó un modelo 3D para un yacimiento de calizas y arenas calcáreas destinadas a la fabricación de cemento y el uso de rocas de origen volcánico utilizadas como agregados para concreto o como materiales para la construcción, localizado en el departamento del Valle del Cauca, en un sector conocido como Portachuelo. Para poder llevar a cabo su elaboración fue necesario hacer una exploración cartográfica a escala 1:10.000 en la zona con el objetivo de obtener la información requerida en su ejecución, la cual fue manipulada mediante los Software Autocad, Arcgis y Surpac.

El modelo tridimensional fue realizado empleando el Software Gemcom Surpac, ya que este software representa una herramienta muy versátil en la elaboración de modelos geológicos tridimensionales permitiendo tomar decisiones más confiables en el momento de la explotación de un yacimiento, debido a que la información que suministra tiene un mayor nivel de confiabilidad, además de facilitar un conocimiento más preciso del yacimiento, permitiendo comprender el comportamiento del entorno geológico.

Este modelo se realiza con el objetivo de mostrar la metodología empleada durante su elaboración, para ello es necesario realizar un modelo estructural-estratigráfico, el cual luego de asignar la información necesaria mediante un modelo de bloques es convertido en un modelo de calidad, con el que se realiza la categorización de los recursos (Medidos, Indicados e Inferidos) para el Sector Portachuelo obtenida al final.

1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El éxito de una operación minera está fuertemente relacionado al conocimiento geológico que se tenga del yacimiento como son la geometría de los cuerpos, la disposición, las estructuras y fallas presentes, además de si son cuerpos intercalados, masivos o estratificados, por lo tanto, se buscan herramientas que permitan facilitar la comprensión del entorno geológico de un lugar.

El fin de este trabajo es mostrar una metodología sencilla y práctica usada para realizar modelamientos geológicos para yacimientos estratificados, mediante el empleo de diferentes programas como son Autocad, Arcgis y Surpac.

La metodología y el software son empleados por la empresa Soluciones en Geología y Minería S.A.S en la búsqueda de soluciones a los desafíos que plantea la industria minera. Durante la realización de la práctica empresarial se realizó el modelado de un yacimiento de materiales calcáreos (yacimiento estratificado), más concretamente calizas y arenas calcáreas destinadas a la fabricación de cemento y el uso de rocas de origen volcánico utilizadas como agregados para concreto o como materiales para la construcción.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Implementar una de las metodologías utilizadas por la empresa Soluciones en Geología y Minería S.A.S, en estudios geológicos aplicados a la evaluación geológica de yacimientos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

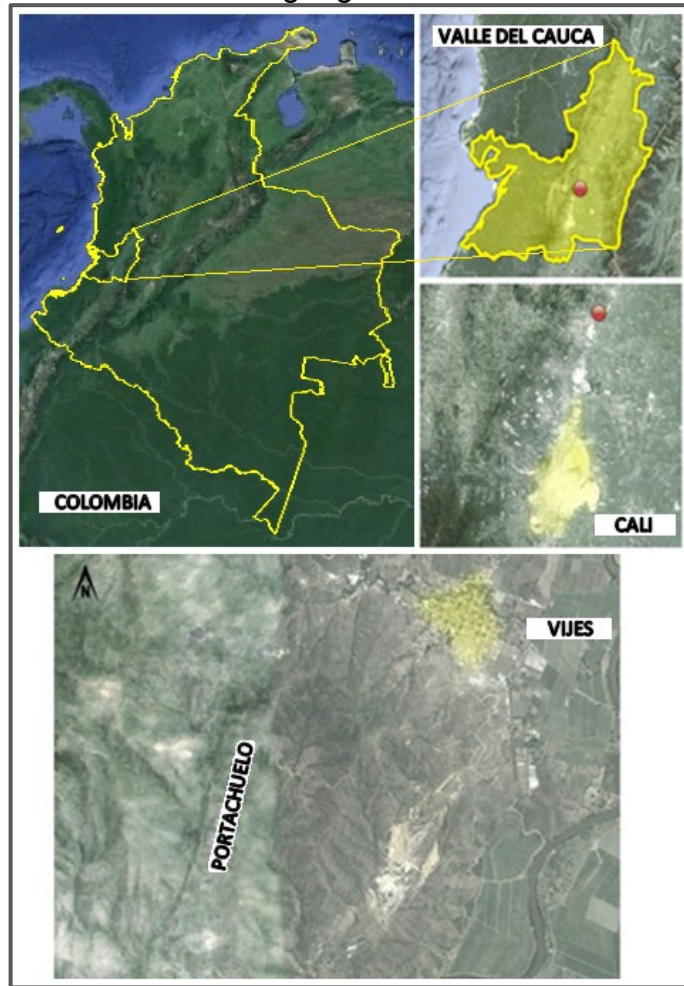
- Aplicar una Metodología eficaz para realizar modelamientos geológicos, aplicados a la evaluación de yacimientos estratificados.
- Recolectar y analizar la información litológica y estructural del yacimiento.
- Realizar Modelo Estructural del Sector Portachuelo.
- Realizar Modelo Estratigráfico con las unidades presentes en la zona de interés
- Realizar Modelo de Calidad para datos químicos existentes
- Realizar análisis Estadístico para todos los datos involucrados en el modelo.
- Obtener el modelo geológico para un yacimiento de materiales calcáreos y agregados aplicando los Software Surpac, Autocad y ArcGis.

3 GENERALIDADES

3.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio corresponde al sector Portachuelo, localizado en la Cordillera Occidental, en el departamento del Valle del Cauca, en cercanías al casco urbano del Municipio de Vijes. Ver Figura 1

Figura 1. Localización geográfica de la zona de estudio

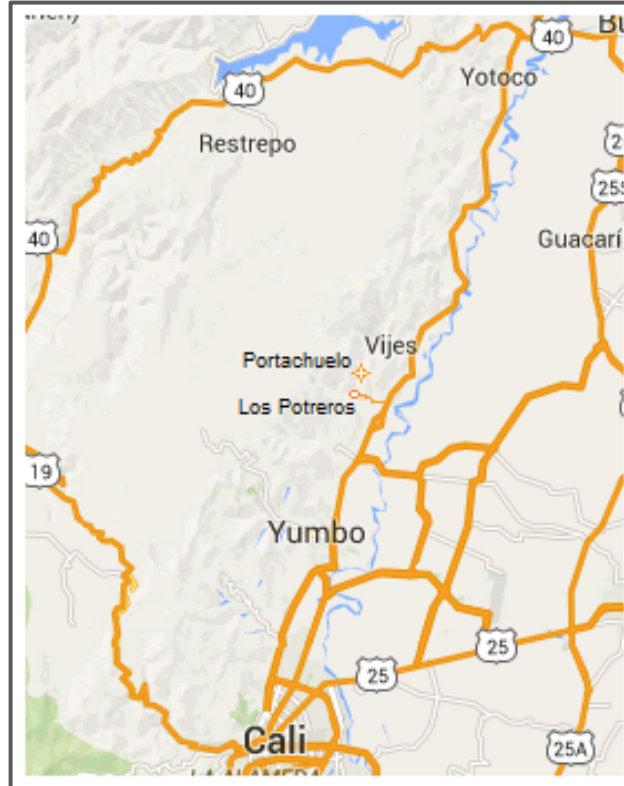


Tomado de: Google Earth, año 2015

3.2 VÍAS DE ACCESO

Al área de estudio se puede acceder por medio de la vía Panorama, corredor vial secundario del Departamento del Valle del Cauca, que comunica a Yotoco-Vijos-Yumbo-Cali. En el sector Vijos-Yumbo, se encuentra un carreteable al margen derecho de la carretera, el cual conduce a la finca los potreros, localizada tres kilómetros al sur de la zona de estudio. Ver Figura 2

Figura 2. Vías de acceso Sector Portachuelo



Tomado de: Google Maps, año 2015

3.3 FISIOGRAFÍA

El sector Portachuelo, hace parte de la estribación Este de la Cordillera Occidental, en donde principalmente se observan colinas con tendencia Norte-Sur, al Occidente del Municipio de Vijos, se encuentran zonas montañosas onduladas en las proximidades del Río Cauca y planas hacia la cabecera municipal, con una altura promedio de 400 metros con respecto al valle del Río Cauca. (Nivia A.2001)

3.4 CLIMA

En este lugar se presentan dos periodos secos y dos periodos de lluvia en el año. Los periodos de lluvia ocurren generalmente de marzo a junio y de septiembre a noviembre, y los de época seca se manifiestan de diciembre a febrero y de julio a septiembre. (Nivia A.2001)

3.5 HIDROGRAFÍA

Los principales afluentes en la zona corresponden al Río Cauca y a las quebradas de San Marcos y Vijes, además de algunos drenajes de menor importancia como las quebradas Carbonero, Potrerito, El porvenir, Milo, La Merced, Cachimbal, El Tambor, entre otras. (Nivia A.2001)

3.6 ANTECEDENTES

La zona de interés es conocida por la explotación de recursos calcáreos, allí existen diferentes empresas que aprovechan los recursos del sector. En el área se han realizado dos campañas de cartografía superficial en los años 2004 y 2012:

La cartografía superficial del año 2004 fue realizada por la empresa Cementos del Valle S.A con el objetivo de delimitar los sectores calcáreos con potencial minero. Para conocer el comportamiento estructural de los cuerpos calcáreos se realizaron perfiles transversales a las principales estructuras; El espesor promedio de estos cuerpos es definido en 30 metros.

La exploración cartográfica del año 2012 realizada por la empresa Soluciones en Geología y Minería S.A.S a escala 1:10.000 tenía como fin determinar las rocas volcánicas que presentaban potencial para su uso como agregados.

3.7 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

3.7.1 Geología Regional: Esta región está conformada por las unidades propias de la Provincia Litosférica Oceánica Cretácica Occidental, las cuales se describen a continuación:

➤ Formación Volcánica (Kv)

Representa la porción occidental del Grupo Diabásico (*sensu* Nelson, 1957) y por lo tanto se correlaciona con las vulcanitas básicas cartografiadas con este nombre en el sur y centro de la PLOCO (Murcia & Cepeda, 1991a, 1991b; Caballero *et al.*1984). Consideraciones geoquímicas, estructurales y cronoestratigráficas han permitido correlacionar también estas unidades con diferentes afloramientos de basaltos cretácicos tentativamente relacionados con la corteza del Mar Caribe. (Nivia A.2001)

➤ Complejo Estructural Dagua (Kc, Ke)

Dada a la alta deformación presente del complejo estructural Dagua, en estas rocas no es posible la definición de unidades litoestratigráficas formales en la PLOCO, Nivia *et al.*(1997) proponen considerar todas las rocas sedimentarias como una unidad litodémica (North American Commission on Stratigraphic Nomenclature,1983) a la que asignan el nombre de Complejo Estructural Dagua. Bajo esta denominación agrupan las rocas acumuladas por procesos sedimentarios tales como lodolitas, wacas, arenitas, cherts, tobas, aglomerados y calizas. (Nivia A.2001)

➤ Unidades Cenozoicas

Están relacionadas con la acumulación en dos cuencas principales desarrolladas sobre la PLOCO: la Llanura Costera del Pacífico y la depresión del Graben Interandino Cauca-Patía - GICP (Acosta, 1970). En la primera se reconocen dos unidades neógenas interdigitadas: una oriental esencialmente transicional marino-continental, la Formación

Raposo y otra occidental de origen marino, la Formación Mayorquín (Aspden & Nivia, 1985). En la segunda, constituida por rocas acumuladas desde el Eoceno y deformadas, las clasificaciones estratigráficas son más complejas y sugieren al menos dos depocentros separados por un paleoalto localizado aproximadamente entre las latitudes de Vijes y Guacarí. (Nivia A.2001)

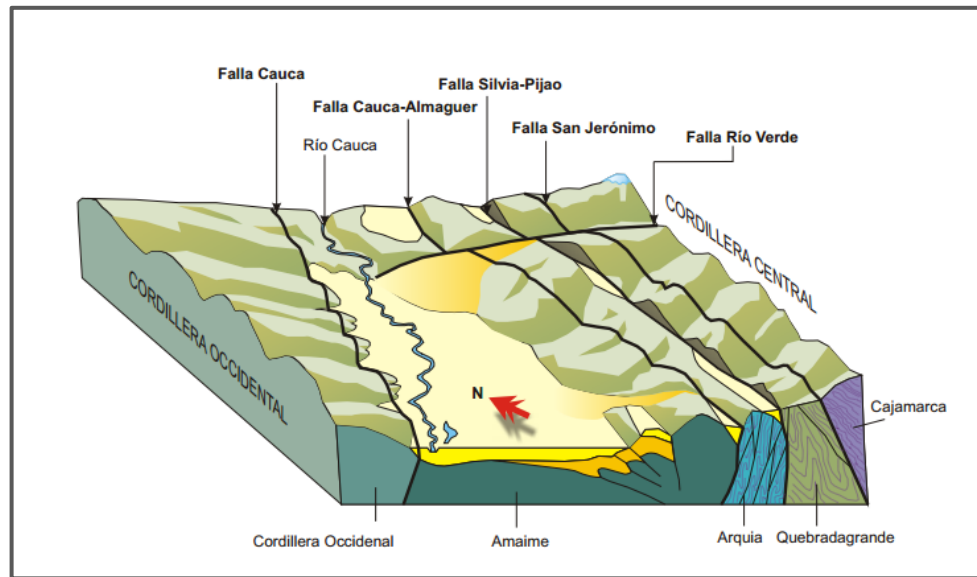
➤ Depósitos Recientes

Corresponde a los diversos sedimentos de relleno del valle del río Cauca constituidos por conos de deyección, depósitos de piedemonte o taludes, terrazas y limos de las vegas de inundación. (Nivia A.2001)

3.7.2 Marco Tectónico: Según Nelsón (1959) la cordillera Occidental está constituida, principalmente, por rocas volcánicas básicas, conocidas como Grupo Diabásico, y por rocas sedimentarias marinas, pertenecientes al Grupo Dagua. (Aguirre L.1989).

Esta zona se encuentra ampliamente deformada debido a la convergencia de la placas tectónicas, Nazca, Suramérica y Caribe, además se evidencian dos provincias corticales, la oriental de afinidad continental, llamada el “Oriente Colombiano” (Nivia 2001); y la occidental de afinidad oceánica “Provincia Litosférica Oceánica Cretácica Occidental (PLOCO)” (Nivia *et al* 1997). Ambas provincias son separadas por la falla Cauca-Almaguer (Aguirre L.1989) (Ver Figura 3).

Figura 3. Geotectónica Valle del Cauca

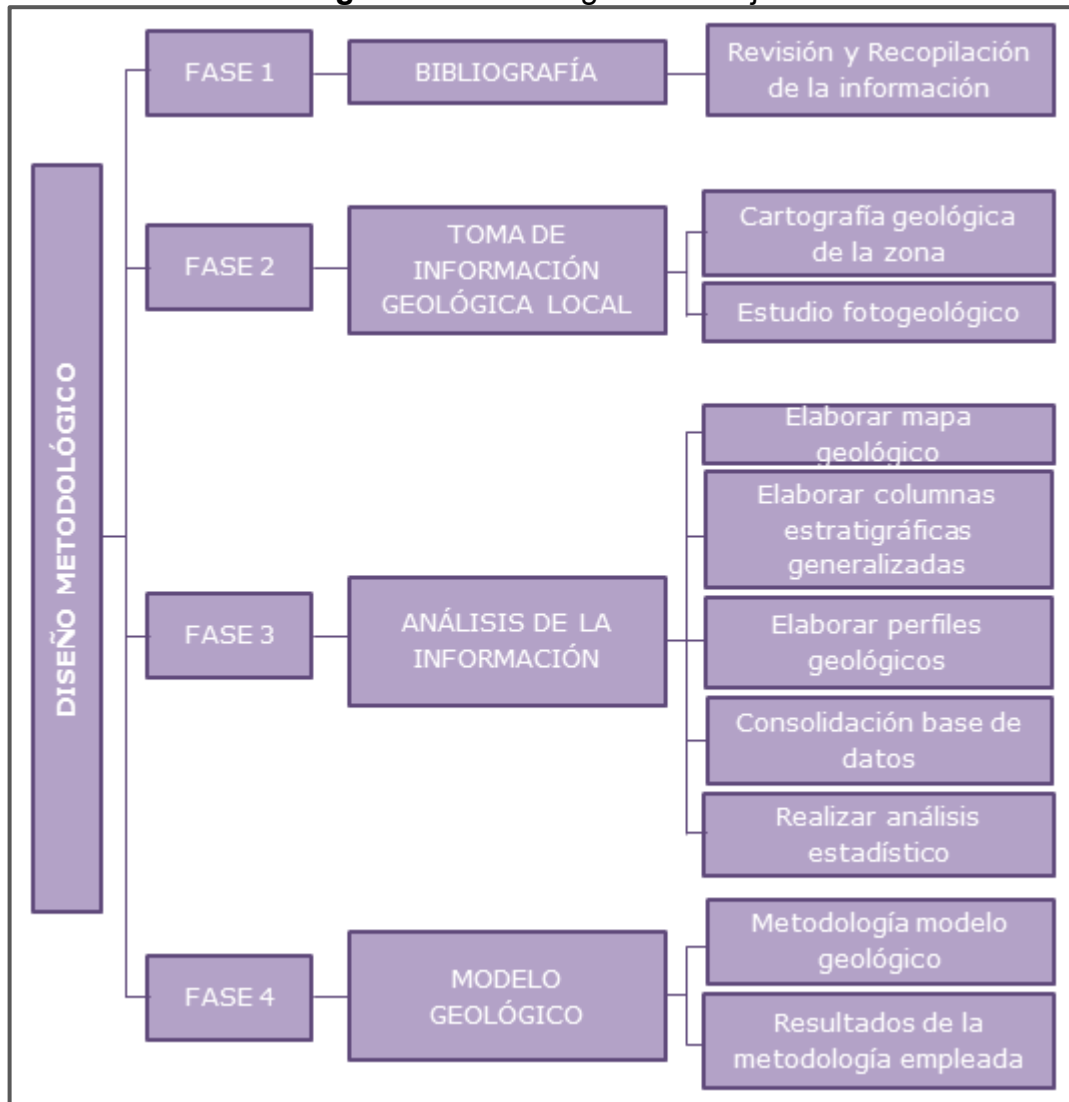


Fuente: Lopez, M. 2006

4 METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para la elaboración del presente trabajo resultado de la práctica empresarial, se ha propuesto desarrollar las actividades en el orden que muestra la Figura 4

Figura 4. Metodología de trabajo



- FASE 1: Para la primera fase se realizó una búsqueda y revisión bibliográfica sobre los temas vinculados y mencionados en la descripción del trabajo en mención. La información fue ampliada debido a la finalidad del proyecto, teniendo en cuenta que el principal interés es mostrar la metodología empleada en la elaboración del modelamiento geológico.

- FASE 2: Se define como “Toma de información geológica local”, a la información base necesaria en el inicio de todas las actividades a ejecutar. Siendo reducida al periodo de trabajo en campo, en donde el primer aspecto mencionado es la delimitación del área de interés, seguido de la cartografía geológica de la zona y de un estudio fotogeológico, con lo cual se obtuvo la información conveniente para entender de manera más sencilla las unidades geológicas presentes y el comportamiento estructural. En esta fase se obtiene muestras superficiales adquiridas durante las estaciones de estudio, a las cuales se les realizó análisis químico y físico.

- FASE 3: Se describe como “Análisis de la Información”, al trabajo realizado en oficina, en donde se consolida la información obtenida al finalizar la cartografía, generando el mapa geológico de la zona, los perfiles, las columnas estratigráficas generalizadas, la base de datos y el análisis estadístico de los resultados del laboratorio de las muestras recogidas en campo, siendo los dos últimos elementales en la construcción del modelo geológico.

- FASE 4: Establecida como “Modelo Geológico”, para el cual se debe integrar toda la información anteriormente mencionada, ya que toda ésta ayuda a tener una idea más precisa del área de estudio, facilitando la interpretación del comportamiento estructural y de los cuerpos presentes.

5 MARCO TEORICO

- El desarrollo del presente trabajo requiere de conceptos básicos de modelamiento.

5.1 MODELAMIENTO

El primer paso en la elaboración de un modelo geológico es caracterizar correctamente el lugar de interés y definir qué unidades comparten rasgos texturales, composicionales y un comportamiento estructural similar. A través de esta información los geólogos pueden desarrollar un modelo geológico conceptual (Fookes, 1997) que resulte de gran utilidad para los proyectos desarrollados sobre el terreno. (Tomás, R. *et al* 2004)

Para obtener un modelo geológico, es necesario realizar con anterioridad un modelo estructural y un modelo estratigráfico. A continuación se presentan las pautas que se deben tener en cuenta para realizar dichos modelos.

5.1.1 Modelo Estructural: Es una representación geométrica tridimensional de las estructuras geológicas en el subsuelo. Se designa como la mejor interpretación del estilo de deformación que tiene en cuenta el marco tectónico regional del área en estudio. Lo cual permite construir mapas y secciones estructurales con el fin de definir bloques estructurales donde las diferentes unidades geológicas presenten comportamientos geomecánicos similares. (Mesa, C. 2014.)

5.1.2 Modelo Estratigráfico: El objetivo del Modelo Estratigráfico es generar una representación geométrica espacial de un yacimiento, para poder organizarlo como unidades mapeables, estableciendo su distribución y las relaciones entre los diferentes cuerpos que permiten determinar las características del yacimiento. (Mesa, C. 2014.)

Los aspectos a tener en cuenta durante el estudio estratigráfico se mencionan a continuación:

- Cronoestratigrafía:

Estudia la disposición y organización de los estratos, agrupándolos en unidades basadas en su edad (unidades cronológicas), que presentan una relación entre sí. (Blandón A.2009)

➤ **Unidades Cronoestratigráficas:**

Son cuerpos de rocas estratificados o no estratificados, que se formaron durante un intervalo específico de tiempo geológico. Sirve como material de referencia para todas las rocas formadas durante el mismo espacio de tiempo. Una unidad cronoestratigráfica siempre se basa en algún material de la unidad de referencia o estratotipo, esto es en una sección de roca real. Esta se puede basar en el espacio de tiempo de unidades bioestratigráficas, liticas, de polaridad magnética o cualquier otro rasgo del registro de la roca que abarca un rango de tiempo. (Blandón A.2009)

➤ **Clasificación Cronoestratigráfica:**

Organización de las rocas en unidades con base en su edad o tiempo de origen. El propósito de la clasificación cronoestratigráfica es organizar sistemáticamente las rocas que forman la corteza de la tierra dentro de unidades nombradas (unidades cronoestratigráficas) correspondientes a intervalos de tiempo geológico (unidades geocronológicas) para que sirvan como base en la correlación de tiempo y un sistema de referencia para registrar eventos de la historia de la tierra. (Blandón A.2009)

5.1.3 Información requerida para realizar los modelos estructurales y estratigráficos:

➤ **Información geológica del subsuelo:**

Comprende la recopilación, carga y validación de la información geológica del subsuelo existente. La calidad de los datos de pozo dependerá entre otras cosas de las condiciones de los pozos, la calidad de los mismos, el método de

perforación, la tecnología empleada y de la cantidad de registros obtenidos. (Mesa, C. 2014.)

➤ Información geológica de superficie:

Comprende la recopilación, carga y validación de la información geológica de superficie existente para tener un conocimiento general del estilo estructural, la cronoestratigrafía del área de estudio y áreas adyacentes. (Mesa, C. 2014.)

➤ Información modelos estructurales regionales:

Hace referencia a la información sobre los rasgos geológicos estructurales que se encuentren afectando una zona, su impacto en escala local o regional y cómo influye en el área de interés a modelar.

➤ Información modelos estratigráficos:

Hace referencia a la información sobre las unidades geológicas que se encuentran en una región, su continuidad, estructuras, cronoestratigrafía e información sobre los posibles ambientes de depósito. A partir de la información disponible se procede a identificar unidades estratigráficas con el fin de determinar, acotar y correlacionar los intervalos de interés. Ver Figura 5

Figura 5. Información requerida para elaborar los modelos Estructural y Estratigráfico



Tomado y modificado de: Mesa, C. 2014. Modelado de Yacimiento

5.1.4 Definición agregados pétreos: Los agregados son materiales granulares que se utilizan como materia prima en la industria de la construcción principalmente (Ver Figura 6), muchos de los sedimentos y rocas de diversos tipos presentes en la superficie terrestre, proporcionan materiales susceptibles de ser utilizados como agregados. Sin embargo, esta amplia disponibilidad no asegura que los requerimientos exigidos sean siempre cumplidos por el material disponible, por esta razón es importante contar con las competencias apropiadas para determinar cuál material es adecuado para su uso como agregados. (Conasfaltos.2010)

Figura 6. Agregados Pétreos



Tomado de: Conasfaltos, año 2010

En función del origen de los agregados, estos pueden ser de origen ígneo, sedimentario o metamórfico, sin embargo, en la naturaleza es común encontrar yacimientos en donde se combinan más de un origen. Además de esto, pueden ser: Naturales, son el grupo más abundante; artificiales, agregados ligeros con una densidad menor de 2000 Kg./m³; o reciclados, formados por los materiales de obras civiles. (Conasfaltos.2010)

El posible uso como material para construcción de las rocas volcánicas, es determinado por las normas ASTM, en donde los valores para sanidad, desgaste y densidad están establecidos como muestra la Tabla 1

Tabla 1. Valores de la norma ASTM para el uso de materiales como agregados en concreto

Propiedad	Valor aceptable
Densidad	2.4 - 2.8 g/cm ³
Sanidad	<27%
Desgaste	<40%

Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

La densidad se entiende como la relación entre la masa del material y el volumen que ocupa excluyendo todos los poros (saturables y no saturables). Y se determina con base en lo establecido en la norma ASTM C 127-07 “Método de ensayo estándar para la densidad, densidad relativa (gravedad específica), absorción de agregados gruesos”. (ASTM International, Norma C 127 – 07)

La sanidad hace referencia a la característica de los agregados para resistir la acción del medio ambiente. Es hallada a partir de la Norma ASTM C 88-05 “Método de ensayo estándar para la sanidad de agregados por el uso de sulfato de sodio o sulfato de magnesio”. (ASTM International, Norma C 88 – 05)

El desgaste de un agregado es la resistencia a la abrasión de los materiales. Depende de las características de la roca madre, por esta razón, entre menor sea el porcentaje de desgaste de los agregados mayor será la resistencia del concreto. Es evaluado a partir de la norma ASTM C 539-09 “Método de ensayo estándar para determinar la resistencia a la degradación de agregados gruesos de gran tamaño por abrasión e impacto en la máquina de los ángeles”. (ASTM International, Norma C 539 – 09)

5.1.5 La Industria del Cemento: El cemento es una mezcla de piedra caliza y arcilla, triturada y calcinada hasta el punto fundente, convertida en una escoria granulada llamada clínker que se muele con una pequeña proporción de yeso (sulfato de calcio) hasta quedar finamente pulverizada. (Campos J, *et al.* 2011)

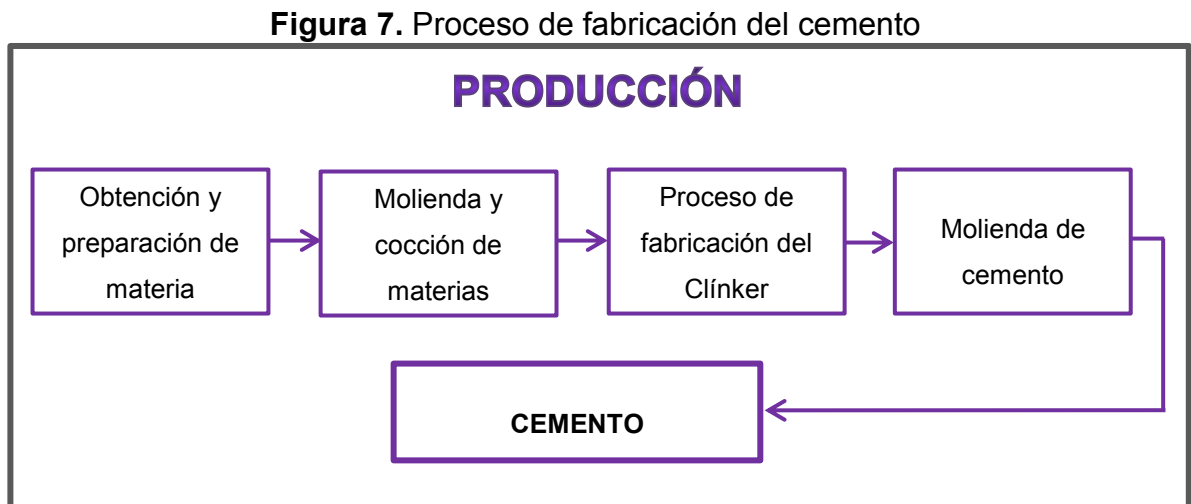
En la actualidad para la producción de cemento se utilizan:

- Calcio en forma de óxido de calcio (CaO).
- Silicio en forma de óxido de silicio (SiO₂).
- Aluminio en forma de óxido de aluminio (Al₂O₃).
- Hierro en forma de óxido de hierro (Fe₂O₃). (Campos J, *et al.* 2011)

Estos elementos se hallan en forma más o menos pura en estado natural, y sus proporciones se logran con distintos tipos de caliza y arcillas, aunque a veces es

necesario añadir algún elemento faltante incorporando arenas de un alto contenido en sílice o tierras con alto contenido de hierro. (Campos J, et al.2011)

La Figura 7 muestra las etapas que comprende el proceso de fabricación del cemento.



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

1. Obtención y preparación de materias primas

Las materias primas de mayor importancia son las siguientes:

- Calizas: Están compuestas en un alto porcentaje (más de 60%) de carbonato de calcio o calcita (CaCO_3). Cuando se calcina da lugar a óxido de calcio (CaO), e impurezas tales como arcillas, Sílice y dolomita, entre otras. Las cantidades de magnesio no deben ser muy grandes para su empleo en la producción del cemento. (Navarro, S. 2008)
- Pizarra: Se les llama "pizarra" a las arcillas constituidas principalmente por óxidos de silicio de un 45 a 65%, por óxidos de aluminio de 10 a 15%, por óxidos de fierro de 6 a 12% y por cantidades variables de óxido de calcio de 4 a 10%. (Navarro, S. 2008)
- Arcilla: El tipo de arcilla que se emplea para la producción de cemento, está constituida por un silicato hidratado complejo de aluminio, con porcentajes

menores de hierro y otros elementos. Aporta al proceso los óxidos de sílice (SiO_2), hierro (Fe_2O_3) y aluminio (Al_2O_3). (Navarro, S. 2008)

➤ Yeso: Producto regulador del fraguado, que es un proceso de endurecimiento del cemento, su función es retardar este efecto. Se agrega al final del proceso de producción. (Navarro, S. 2008)

El material extraído es transportado en camiones y llevados a la fábrica de cemento en espera de la trituración. (Navarro, S. 2008)

2. Molienda y cocción de materias primas:

Ésta etapa comprende la molienda de materias primas, con lo que se busca reducir el tamaño de las partículas para que las reacciones químicas de cocción en el horno puedan realizarse de forma adecuada. El molino muele y pulveriza los materiales hasta un tamaño medio de 0.05 mm. (Navarro, S. 2008)

3. Proceso de fabricación del Clíinker:

Clinker es el material sintético granular, resultante de la cocción a una temperatura de 1,400 °C, de materias primas de naturaleza calcárea y arcilla ferruginosa, previamente triturada, proporcionadas, mezcladas, pulverizadas y homogeneizadas. Esencialmente el clíinker está constituido por silicatos, aluminatos y aluminoferritos de calcio. (Navarro, S. 2008)

La composición química del Clíinker es de 62-67% CaO , 18-24% SiO_2 , 4-8% Al_2O_3 y 1.5-4.5% Fe_2O_3 , teniendo en cuenta solamente a sus cuatro óxidos principales, cae dentro del sistema cuaternario $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$, siendo el óxido mayoritario el CaO , disminuyendo después en el orden $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$. Esto nos indica que los componentes de las materias primas deben de ser predominantemente calcáreos con cantidades sucesivas más pequeñas de constituyentes silíceos, aluminosos y ferruginosos. (Blanco, F. 2009)

El óxido mayoritario (CaO) se obtiene normalmente de la calizas (CaCO_3), la cual puede representar sobre el 70-99% dependiendo de su calidad (Normalmente el 75-80 %) en peso de las materias primas a mezclar (Componente principal de las materias primas). Aunque la caliza (componente calcáreo), en general,

contiene cantidades de los otros óxidos del sistema cuaternario mencionado, no los tiene en las proporciones deseadas, por lo que es necesaria una segunda materia prima para ajustar la proporción adecuada de óxidos. Esta segunda materia prima usualmente son las arcillas o las margas (componente arcilloso) (Componente secundario o aditivo). Finalmente, es necesario la adición de algunos elementos correctores, principalmente, el hierro. (Blanco, F. 2009)

4. Molienda de cemento:

El proceso de fabricación de cemento termina con la molienda conjunta de clínker, yeso y otros materiales denominados "adiciones". (Navarro, S. 2008)

Los materiales utilizables, que están normalizados como adiciones, son entre otros: (Navarro, S. 2008)

- Escorias de horno alto
- Humo de sílice
- Puzolanas naturales
- Cenizas volantes
- Caliza

Una vez obtenido el cemento se almacena en silos para ser ensacado o cargado a granel. (Navarro, S. 2008)

6 TOMA DE INFORMACIÓN GEOLÓGICA LOCAL

Para determinar la geología del Sector portachuelo se llevaron a cabo dos estudios: el primero consiste en una cartografía de un área aproximada de 3 km² realizada a escala 1:10.000 y el segundo está asociado a un estudio estratigráfico. Los principales aspectos asociados a estos estudios se mencionan a continuación:

6.1 CARTOGRAFIA GEOLÓGICA

En la campaña de la geología superficial se determinaron las siguientes unidades geológicas:

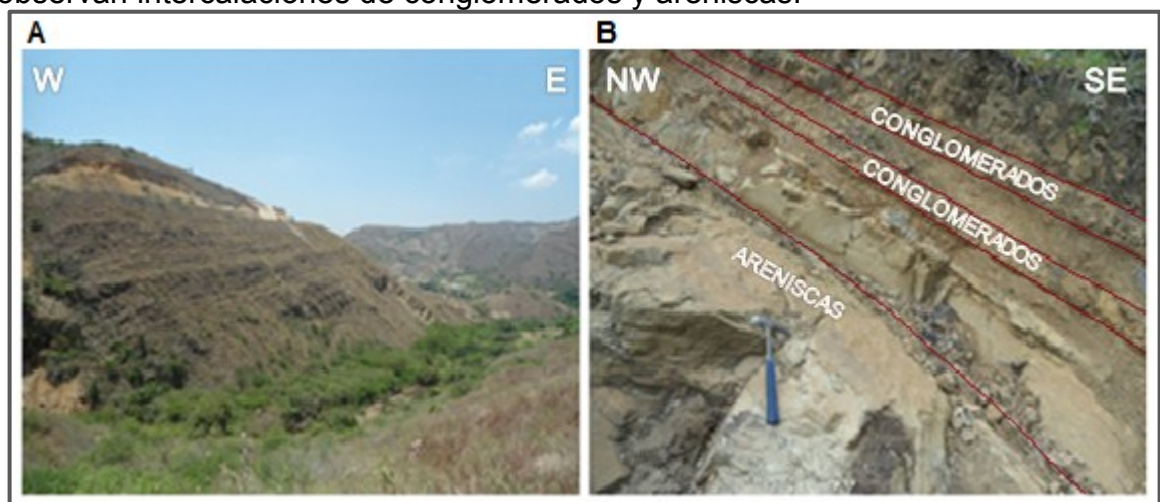
6.1.1 Formación Vijes: La Formación Vijes fue descrita inicialmente por Stutzer (1934) y subsecuentemente por Nelson (1957) quien se refirió a ellas como las Calizas de Vijes. Schwin (1969) propuso denominarlas Formación Vijes. Éstas suprayacen discordantemente sobre lavas submarinas y sedimentitas del Grupo Diabásico (Turoniano-Santoniano), que constituyen el basamento de gran parte de la Cuenca del Valle del Cauca, y está recubierta parcialmente por materiales cuaternarios. La Formación Vijes tiene un espesor aproximado de 180 m y está compuesta por cuatro conjuntos litológicos principales: A) Uno basal, de conglomerados polimícticos con intercalaciones locales de limolitas con restos de plantas, y espesor variable entre 0 y 20 m. B) Uno de calizas con abundantes restos de bivalvos, algas calcáreas, foraminíferos robustos, corales solitarios y coloniales, gasterópodos y equinodermos, acumuladas en subambientes de arrecifes. C) Uno, integrado por una alternancia de limolitas oscuras y arenitas finogranulares calcáreas, ricas en microfósiles, bivalvos, gasterópodos y restos de crustáceos, D) El superior esencialmente cuarzoarenoso que ocasionalmente contiene restos de plantas. (Nivia A.2001)

En el área de estudio, esta formación se observa como una secuencia de calizas y areniscas que reposan discordantemente sobre unidades litológicas del Grupo Volcánico. Las principales litologías de la formación Vijes corresponden a: areniscas, areniscas calcáreas, arenitas cuarzosas, brechas y calizas. Debido a que el paquete de las calizas es el de mayor interés, a continuación se describen sus principales características observadas durante la exploración cartográfica:

- Calizas de Vijes:

Son calizas de origen marino que varían de micritas a biomicritas. En las cuales se presentan intercalaciones de cuerpos siliciclásticos calcáreos como areniscas, conglomerados, limolitas y margas. Esta unidad se encuentra intensamente plegada, gran parte de su geometría está definida por sinclinales en ocasiones volcados. Ver Fotografía 1

Fotografía 1. Estructura plegada en el Sector Portachuelo: A) Fotografía Panorámica de la zona de estudio. B) Fotografía de detalle del área de interés, se observan intercalaciones de conglomerados y areniscas.

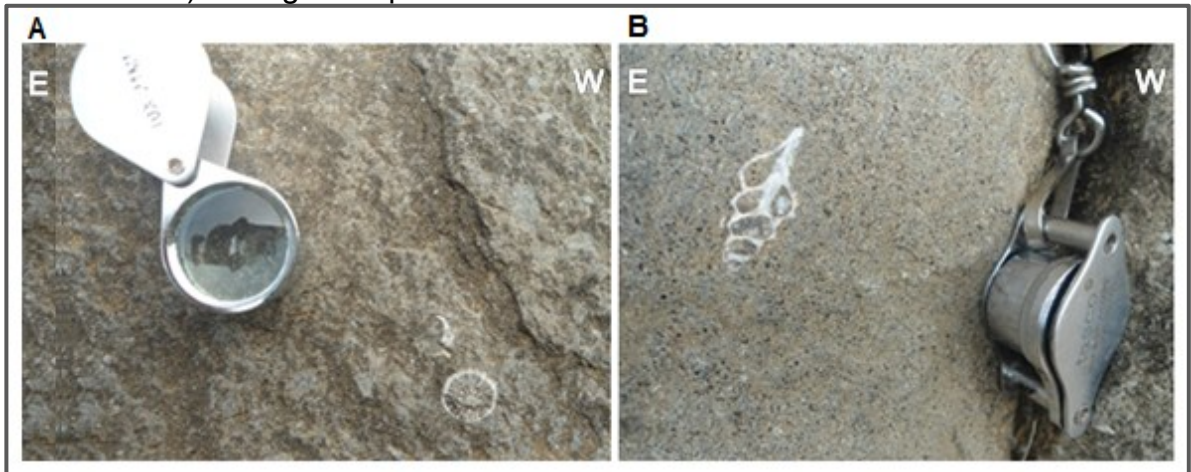


Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

La secuencia calcárea siliciclástica está compuesta por un conglomerado basal polimíctico con intercalaciones de arenas y limolitas, suprayacido por un paquete de calizas con presencia de fósiles como bivalvos, gasterópodos, corales

coloniales y algas Ver Fotografía 2; sobre las calizas se encuentra un paquete intercalado de margas y areniscas calcáreas, esta intercalación es suprayacida por un paquete de areniscas cuarzosas que representa el eje del sinclinal volcado observado en la Quebrada Portachuelo.

Fotografía 2. Fósiles encontrados en el Sector Portachuelo: A) Fósil de corales coloniales. B) Fósil gasterópodos



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

A lo largo de las estaciones de estudio se recolectaron 193 muestras de la Formación Vijes con el objetivo de realizar análisis químicos para determinar si su composición cumple con los parámetros de calidad exigidos por las normas ASTM para su uso como agregado en la elaboración de concretos o como material para la construcción.

6.1.2 Grupo Diabásico: Esta unidad es la de mayor presencia en el área de interés, compuesta principalmente por basaltos y diabasas de color gris, gris verdoso, verde y azul grisáceo, con un tamaño de grano fino a muy fino que forman ciertas franjas con dirección NE y presentan una meteorización esferoidal muy marcada.

La disposición estructural de esta unidad hace que ésta se encuentre en contacto fallado en algunas zonas y en contacto discordante en otras, con las rocas sedimentarias de caliza y el miembro siliciclastico de la secuencia sedimentaria de la Formación Vijes.

Los contactos de esta unidad con las demás litologías son generalmente fallados, sin embargo en algunas zonas se encuentra la Formación Vijes descansando discordantemente sobre ella.


En esta unidad se reconocen diferencias composicionales y texturales. A continuación se hace una leve descripción de estas rocas volcánicas.

- Basaltos:

Son de color gris, con variaciones de azul grisáceo a gris verdoso y presentan un tamaño de grano muy fino. Muestran un diaclasamiento de densidad moderada, la disposición de las familias de diaclasas identificadas se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Familias de diaclasas encontradas en los basaltos del Sector Portachuelo

Familia	Buzamiento (DIP)	Dirección del Buzamiento (DIP direction)
1	40	140
2	55	350
3	75	225
4	80	130



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

En algunos sectores se encuentran rocas volcánicas finogranulares de textura afanítica holocristalina e hipidiomórfica, de color verde a verde azulado y en otros

sectores rocas con textura porfídica en las cuales se pueden observar algunos cristales de piroxenos y plagioclasas.

- Diabasas:

En la zona de interés se presentan como rocas masivas de color verde, de grano fino, con plagioclasa, epidota, augita, etc. Estas rocas presentan cantidades bajas de zeolitas; además presentan venas de cuarzo lechoso y venillas de carbonatos que con frecuencia rellenan las fracturas. En algunas zonas se observan pequeñas cantidades de piritita diseminada.

Según las características macroscópicas de las rocas volcánicas, se puede decir que estas presentan un gran potencial para ser empleadas como agregados. Para ello se tomaron 58 muestras a las cuales se les realizó análisis físico (sanidad, desgaste y densidad) para determinar si sus valores cumplen con los estipulados por las normas ASTM y considerar su posible uso como material para la construcción.

La Tabla 3 muestra el resumen de las muestras obtenidas de las unidades presentes en el sector, tomadas durante la fase de campo.

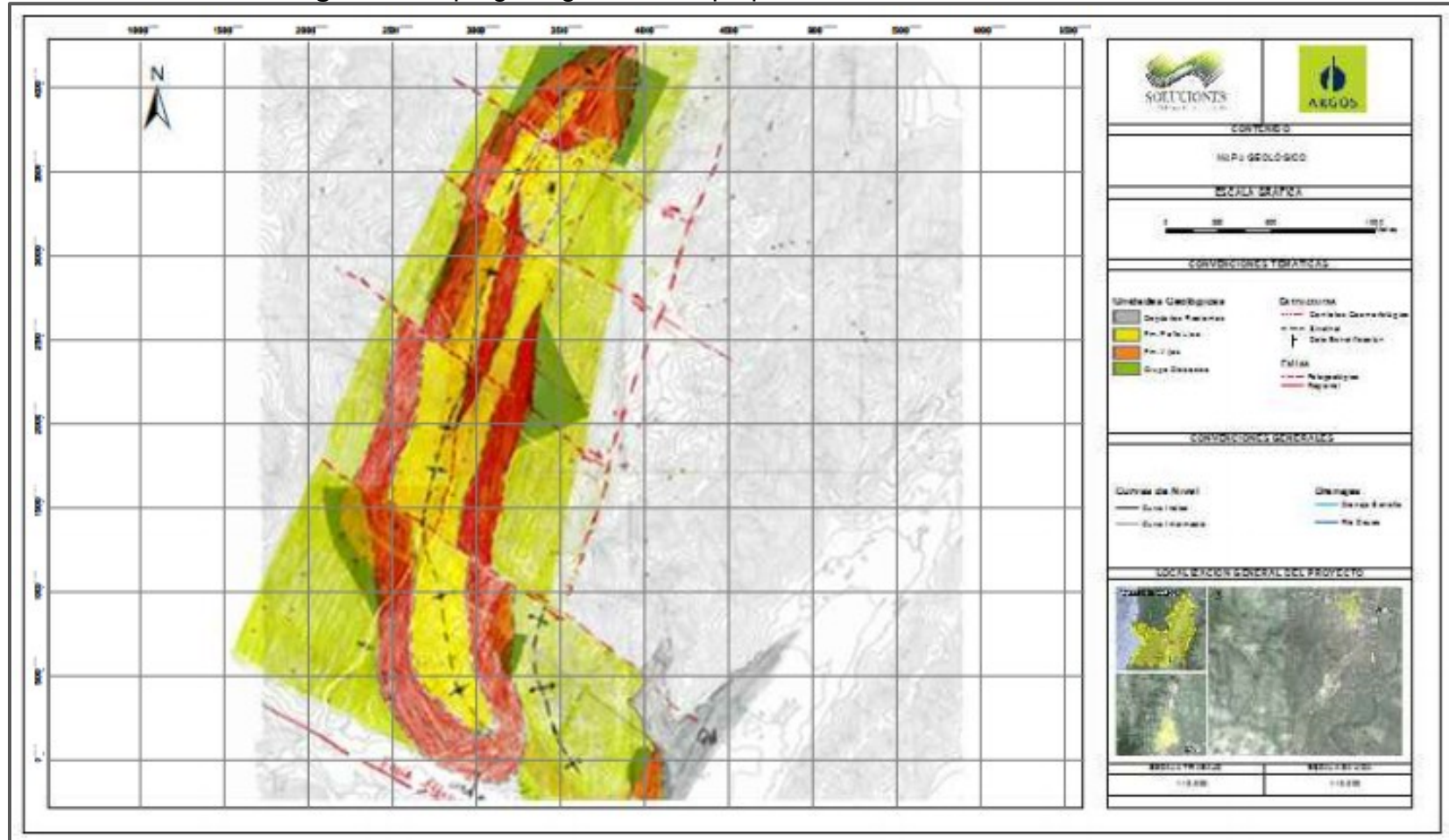
Tabla 3. Muestras tomadas en el Sector Portachuelo durante la cartografía

UNIDAD	LITOLOGÍA	TIPO DE ANÁLISIS	NÚMERO DE MUESTRAS	TOTAL DE MUESTRAS
Grupo Diabásico	Basaltos	Físico	30	58
	Diabásicos	Físico	28	
Formación Vijes	Areniscas	Químico	33	193
	Arenas Calcáreas	Químico	35	
	Caliza	Químico	125	

Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

El mapa geológico que muestra todas las observaciones y descripciones realizadas sobre el sector Portachuelo durante la exploración cartográfica se observa en la Figura 8.

Figura 8. Mapa geológico de campo preliminar del Sector Portachuelo.



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

6.2 ESTUDIO ESTRATIGRÁFICO

Las calizas presentes en el sector Portachuelo y correspondientes a la Formación Vijes descrita anteriormente, son de gran interés, debido a esto se realizó un estudio estratigráfico para determinar si todos los cuerpos de calizas son correlacionables entre sí. Para esto se llevó a cabo el levantamiento de columnas estratigráficas en el área de estudio donde los afloramientos lo permitieran, siendo en estos sectores el espesor máximo descrito de 50m.

A lo largo del levantamiento y descripción de las columnas se observa que el pronunciado cambio de litología de calizas a arenas, dificulta la interpretación del estudio de facies, razón por la cual el cuerpo de calizas se divide en dos miembros, uno superficial de composición más arenosa (Miembro Superior) y uno basal más calcáreo (Formación Vijes).

Al finalizar la descripción e interpretación de la información de las columnas estratigráficas se establece la presencia de diferentes facies en la zona de interés, definidas a partir de las características litológicas y paleontológicas, en donde se observó variedad en el contenido fosilífero y variaciones texturales; entre los principales fósiles hallados se encuentran bivalvos, corales, foraminíferos (planctónicos y bentónicos), etc; y las texturas observadas corresponden a Mudstone, Wackestone, Packstone y Grainstone. La Tabla 4 muestra la descripción de las facies presentes en el lugar.

Tabla 4. Facies determinadas por el estudio estratigráfico en el Sector Portachuelo

FACIES	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
1	Rocas volcanoclásticas y diabasas	Grupo Diabásico
2	Calizas de textura wackestone con terrígenos volcánicos y conchas desarticuladas de bivalvos y ostreidos	Fm. Vijes
3	Calizas de textura packstone con rodolitos (fragmentos y completos), bivalvos, oncolitos, pellets y peloides	Fm. Vijes

FACIES	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
4	Calizas de textura wackestone localmente bafflestone, con corales (en fragmentos y solitarios enteros)	Fm. Vijes
5	Calizas de textura packstone con terrigenos y rodolitos (fragmentos y completos), oncolitos, bivalvos, foraminíferos bentónicos y glauconita.	Fm. Vijes
6	Areniscas calcáreas con glauconita, conchas de bivalvos y ostreidos desarticuladas	M. Superior

Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

Dentro de la información suministrada durante el levantamiento de las columnas estratigráficas se obtuvo un total de 107 muestras a las cuales se les realizó análisis químico para determinar su composición en término de los óxidos principales.

En total 358 muestras fueron recolectadas durante la fase realizada en campo, de las cuales, 300 muestras corresponden a calizas y areniscas de la Formación Vijes y son dispuestas para análisis químico; y las otras 58 destinadas para análisis físico, pertenecen a Basaltos y Diabasas correspondientes al Grupo Diabásico. Ver Tabla 5

Tabla 5. Muestras totales obtenidas durante el estudio geológico realizado en el Sector Portachuelo

UNIDAD	TIPO DE ANÁLISIS	NUMERO TOTAL DE MUESTRAS
Grupo Diabásico	Físico	58
Formación Vijes	Químico	300

Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

7 FOTOGEOLOGÍA

Toda la información recopilada en la fase de exploración cartográfica es estudiada con el objetivo de tener una mejor comprensión geológica de la zona. Durante su interpretación se hace necesario un estudio fotogeológico en el sector Portachuelo, debido a que no se tiene clara la configuración tectónica y garantizar una mayor certeza sobre los aspectos tenidos en cuenta durante la construcción del mapa geológico de campo. La Tabla 6 contiene las fotografías aéreas con las que se realizó la fotogeología.

Tabla 6. Fotografías aéreas para estudio fotointerpretativo

VUELO VIJES FAL-508		
LÍNEA DE VUELO	SECTOR	FOTOS
1	Occidental	4574 a 4579; 4688 a 4698.
2	Central	4582 a 4598.
3	Oriental	4668 a 4674.

Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

En la descripción de la fotointerpretación se encuentra que la zona está siendo controlada por diversos lineamientos identificados a partir de las geoformas producidas por la sobreimposición tectónica en las unidades litológicas; dentro de estas geoformas se encuentran silletas, hombreras de fallas, facetas triangulares, procesos erosivos, etc. Estas observaciones se pudieron realizar a pesar de que en algunos sectores se dificultó el estudio a causa de la espesa vegetación presente.

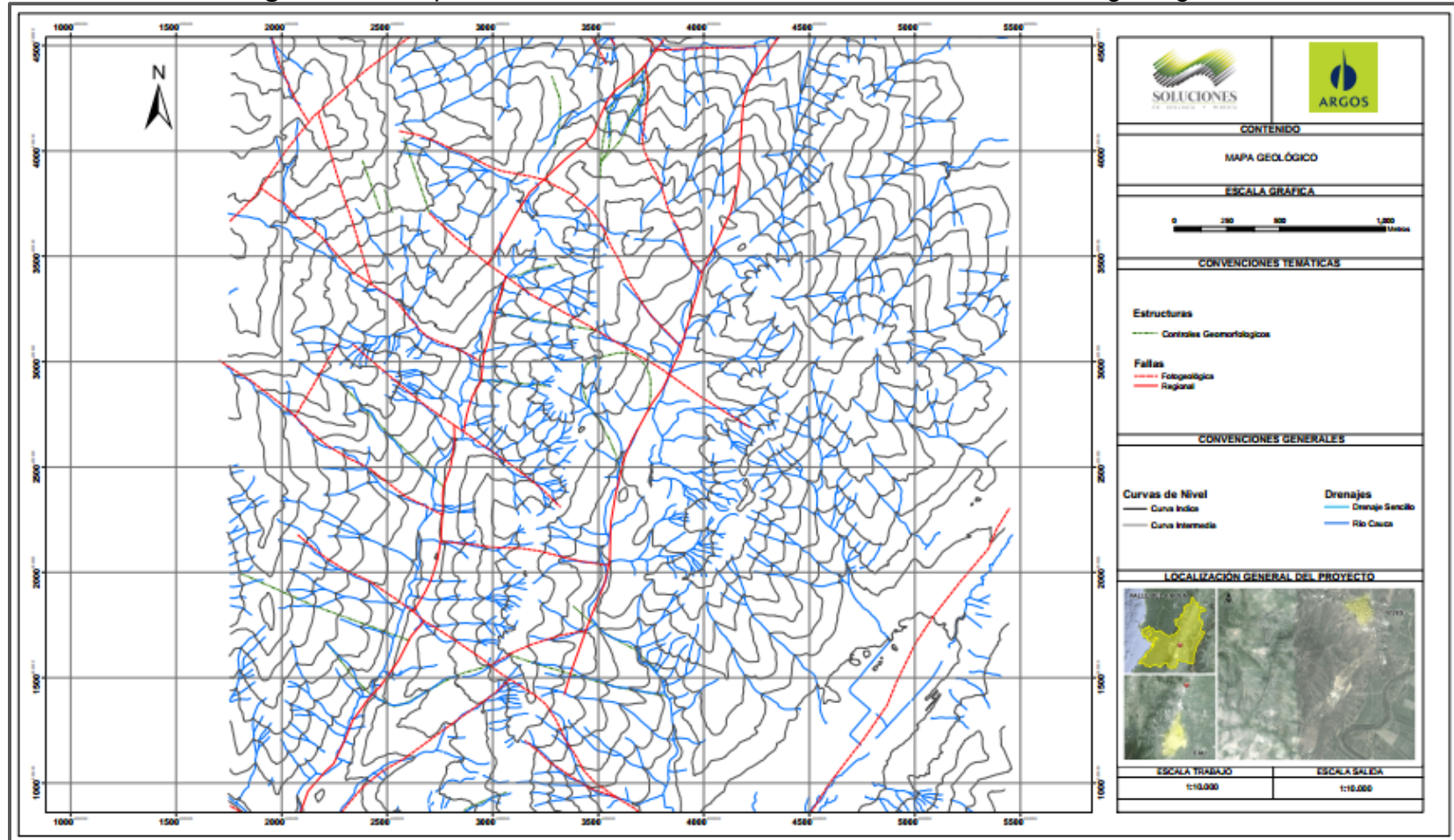
Entre los principales lineamientos contemplados, se definen tres sistemas de control estructural (Ver Figura 9):

- N25E: Asociado al control estructural regional.
- N55E: Sistema encontrado en las zonas aledañas.

- N60W: Sistema con tendencia perpendicular al control estructural regional.

De acuerdo a las observaciones, se infiere una reactivación del sistema N25E posterior a los desplazamientos sobre el sistema N60W, además de una configuración tectónica en “cola de Caballo” hacia el norte de la zona de estudio, involucrando una configuración litoestratigráfica similar a un melange o milonita (interdigitación de paquetes litológicos).

Figura 9. Principales lineamientos identificados mediante estudio fotogeológico



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

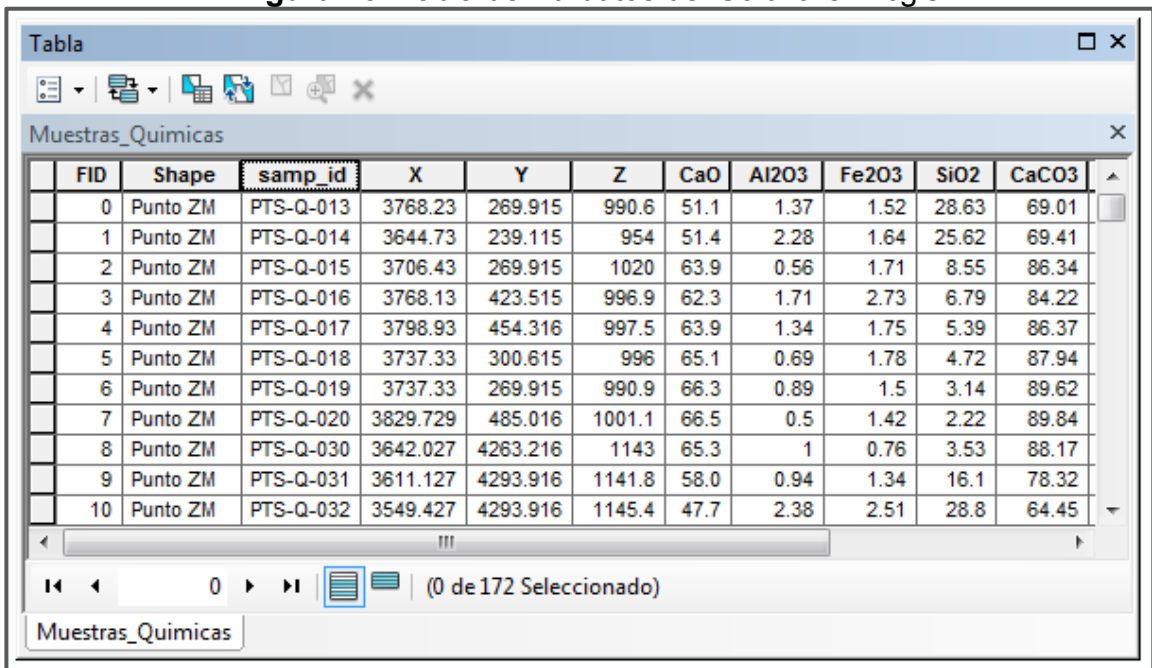
8 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

8.1 ELABORACIÓN MAPA GEOLÓGICO

La información de campo y los estudios geológicos del sector Portachuelo representan una buena herramienta en la digitalización y corrección del mapa geológico elaborado durante el estudio cartográfico (Ver Figura 8)

Los ajustes del mapa preliminar de campo, se realizan empleando el Software Arcgis, considerando los atributos referentes a la información de las muestras, como datos químicos, físicos, litologías, ubicación, etc. Esta información se debe convertir en un shape (archivo base del Software) debido a que solo permite su análisis mediante este tipo de archivo, y puede ser visible y manipulada a través de una tabla de atributos (Ver Figura 10) o de la tabla de propiedades de la capa para lograr una edición más sencilla.

Figura 10. Tabla de Atributos del Software Arcgis.



FID	Shape	samp_id	X	Y	Z	CaO	Al2O3	Fe2O3	SiO2	CaCO3
0	Punto ZM	PTS-Q-013	3768.23	269.915	990.6	51.1	1.37	1.52	28.63	69.01
1	Punto ZM	PTS-Q-014	3644.73	239.115	954	51.4	2.28	1.64	25.62	69.41
2	Punto ZM	PTS-Q-015	3706.43	269.915	1020	63.9	0.56	1.71	8.55	86.34
3	Punto ZM	PTS-Q-016	3768.13	423.515	996.9	62.3	1.71	2.73	6.79	84.22
4	Punto ZM	PTS-Q-017	3798.93	454.316	997.5	63.9	1.34	1.75	5.39	86.37
5	Punto ZM	PTS-Q-018	3737.33	300.615	996	65.1	0.69	1.78	4.72	87.94
6	Punto ZM	PTS-Q-019	3737.33	269.915	990.9	66.3	0.89	1.5	3.14	89.62
7	Punto ZM	PTS-Q-020	3829.729	485.016	1001.1	66.5	0.5	1.42	2.22	89.84
8	Punto ZM	PTS-Q-030	3642.027	4263.216	1143	65.3	1	0.76	3.53	88.17
9	Punto ZM	PTS-Q-031	3611.127	4293.916	1141.8	58.0	0.94	1.34	16.1	78.32
10	Punto ZM	PTS-Q-032	3549.427	4293.916	1145.4	47.7	2.38	2.51	28.8	64.45

Con el fin de corroborar la clasificación litológica dada en campo para cada una de las muestras, se tuvo en cuenta la información química, con la cual se ajustó la litología identificando cuales muestras correspondían a calizas, areniscas calcáreas y areniscas dependiendo el contenido de CaCO_3 .

Para esto, la empresa Soluciones en Geología y Minería S.A.S realiza un filtro con los datos del CaCO_3 según los siguientes intervalos, clasificando desde la tabla de atributos (Ver Figura 11).

- 0-30%: Arenas
- <30-65%: Arenas Calcáreas
- >65%: Calizas

Figura 11. Tratamiento de la información desde Arcgis

The screenshot shows the ArcMap interface with the 'Selección por atributos' dialog box open. The dialog box contains the following text:

Introducir una cláusula WHERE para seleccionar los registros en la ventana de tabla.

Método:

Attributes list: "Al2O3", "Fe2O3", "SiO2", "CaCO3", "Litología"

Operators: =, <>, Como, >, >=, Y, <, <=, O, %, (), No, Es

Obtener valores únicos Ir a:

SQL Query: SELECT * FROM Muestras_Quimicas WHERE: "CaCO3" <30

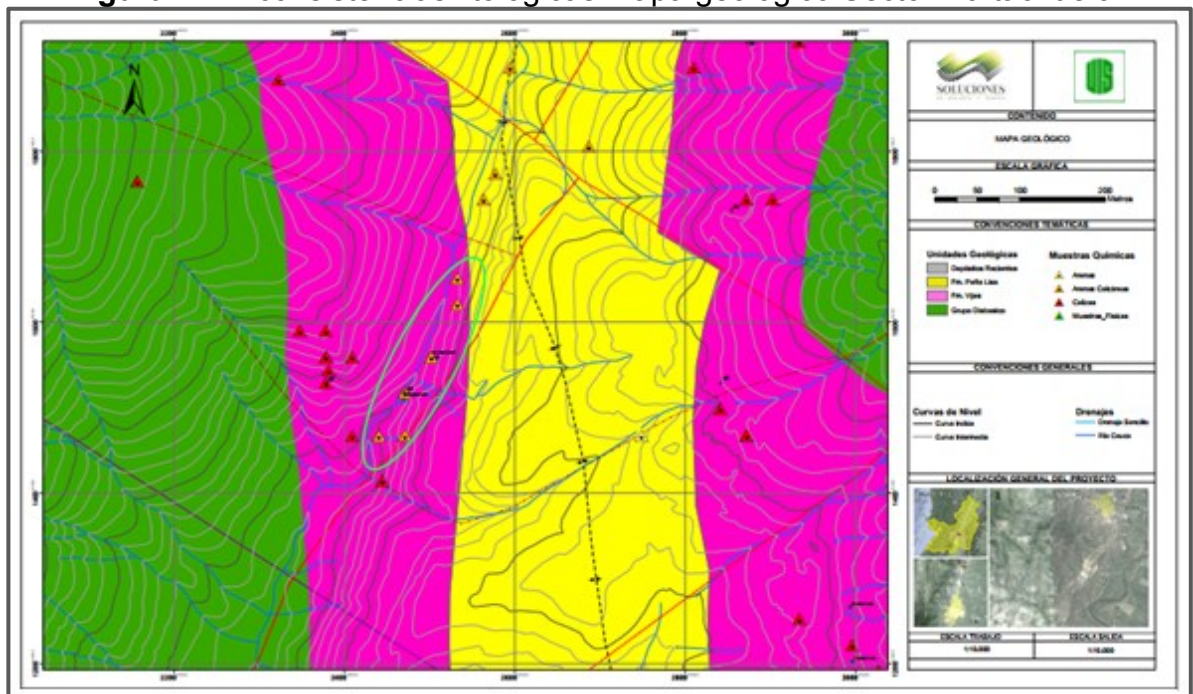
Buttons: Borrar, Verificar, Ayuda, Cargar..., Guardar..., Aplicar, Cerrar

The data table in the background has the following columns and rows:

Al2O3	Fe2O3	SiO2	CaCO3	Litología
17.18	8.71	81.52	4.87	Arenas
12.47	3.61	67.86	27.11	Arenas
12.69	9.3	83.81	6.45	Arenas
12.65	4.54	87.43	10.78	Arenas
14.48	5.43	86.53	6.28	Arenas
14.96	5.32	89.51	4.68	Arenas
10.53	9.97	59.01	24.95	Arenas
11.95	3.21	97.75	3.22	Arenas
10.02	4.01	88.31	12.08	Arenas
11.62	3.44	69.8	24.64	Arenas
10.56	3.48	99.25	4.94	Arenas
10.45	2.67	80.91	19.11	Arenas
12.7	4.02	90.73	8.93	Arenas
12.77	4.69	91.21	4.81	Arenas
12.99	4.33	93.97	4.66	Arenas
11.22	11.19	53.82	19.19	Arenas
14.63	5.42	89.17	2.74	Arenas
12.14	4.89	96.14	2.37	Arenas
11.55	3.27	97.69	4.12	Arenas
12.92	4.82	86.27	10.04	Arenas

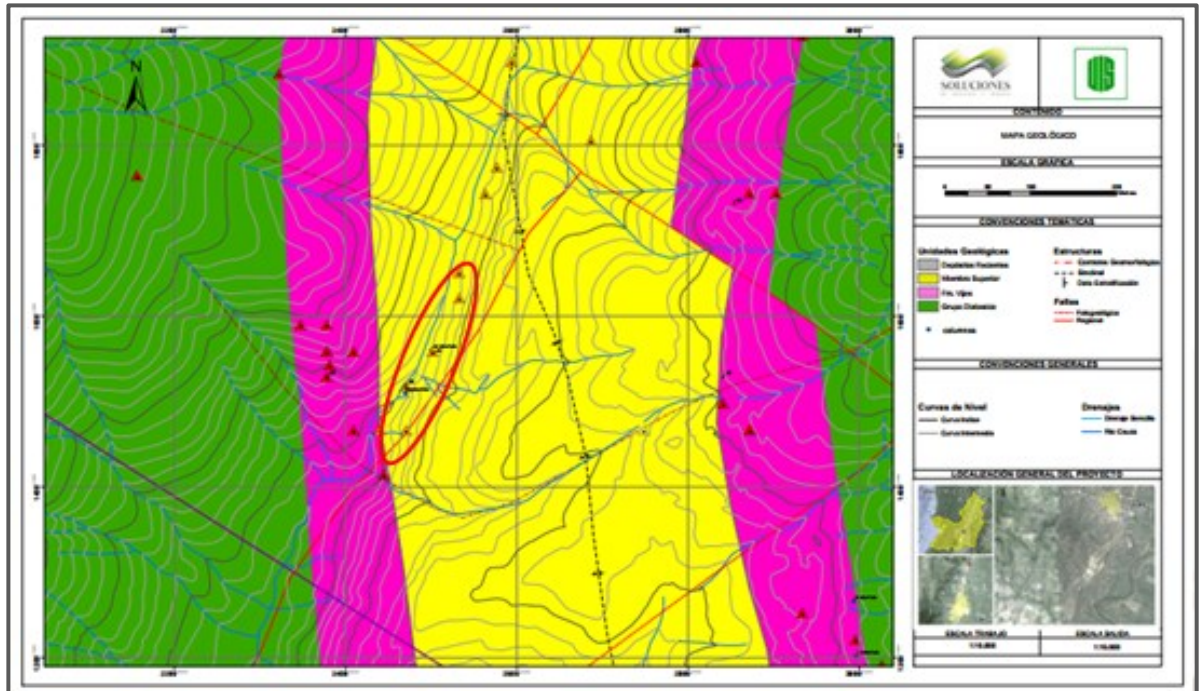
Con esto se logra tener una mayor precisión en cuanto a las evidencias litológicas suministradas por las muestras tomadas en campo, dando mayor confiabilidad en el momento de corregir los principales rasgos del mapa geológico, como son la continuidad de los cuerpos y el límite entre los contactos de las unidades. En la Figura 12 se muestra una inconsistencia entre la litología correspondiente al mapa (Caliza) y la reportada por las muestras (Arenas), lo cual sugiere realizar un ajuste en el contacto de la Formación Vijes-Miembro Superior, dando mayor peso a las muestras (Ver Figura 13).

Figura 12. Inconsistencias litológicas mapa geológico Sector Portachuelo.



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

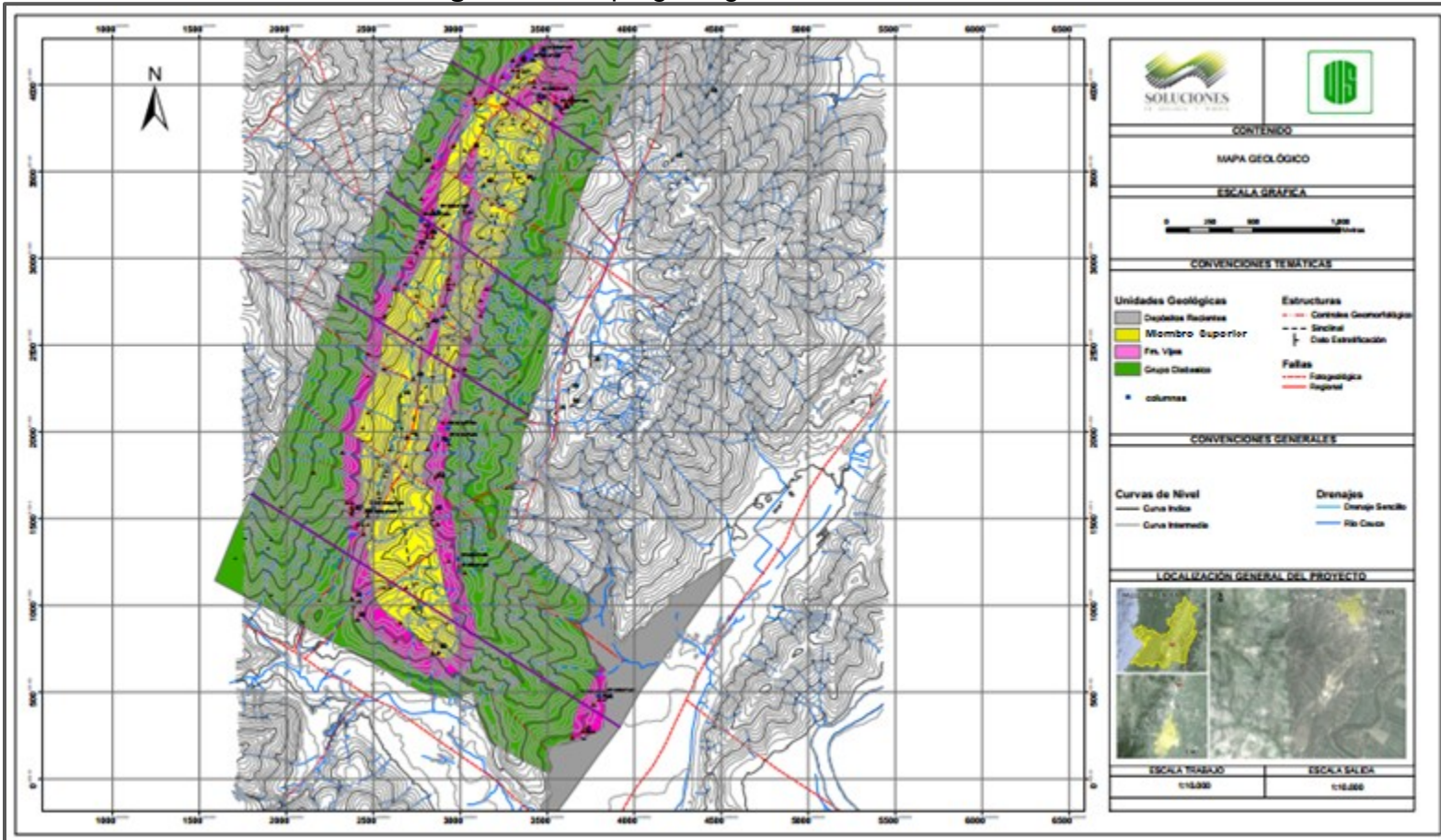
Figura 13. Corrección inconsistencias litológicas mapa geológico Sector Portachuelo



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

Al realizar las correcciones correspondientes al mapa, considerando el comportamiento estructural, la topografía, los drenajes y las evidencias litológicas aportadas por las muestras, se obtiene la versión final del mapa geológico del sector Portachuelo mostrado en la Figura 14

Figura 14. Mapa geológico Sector Portachuelo

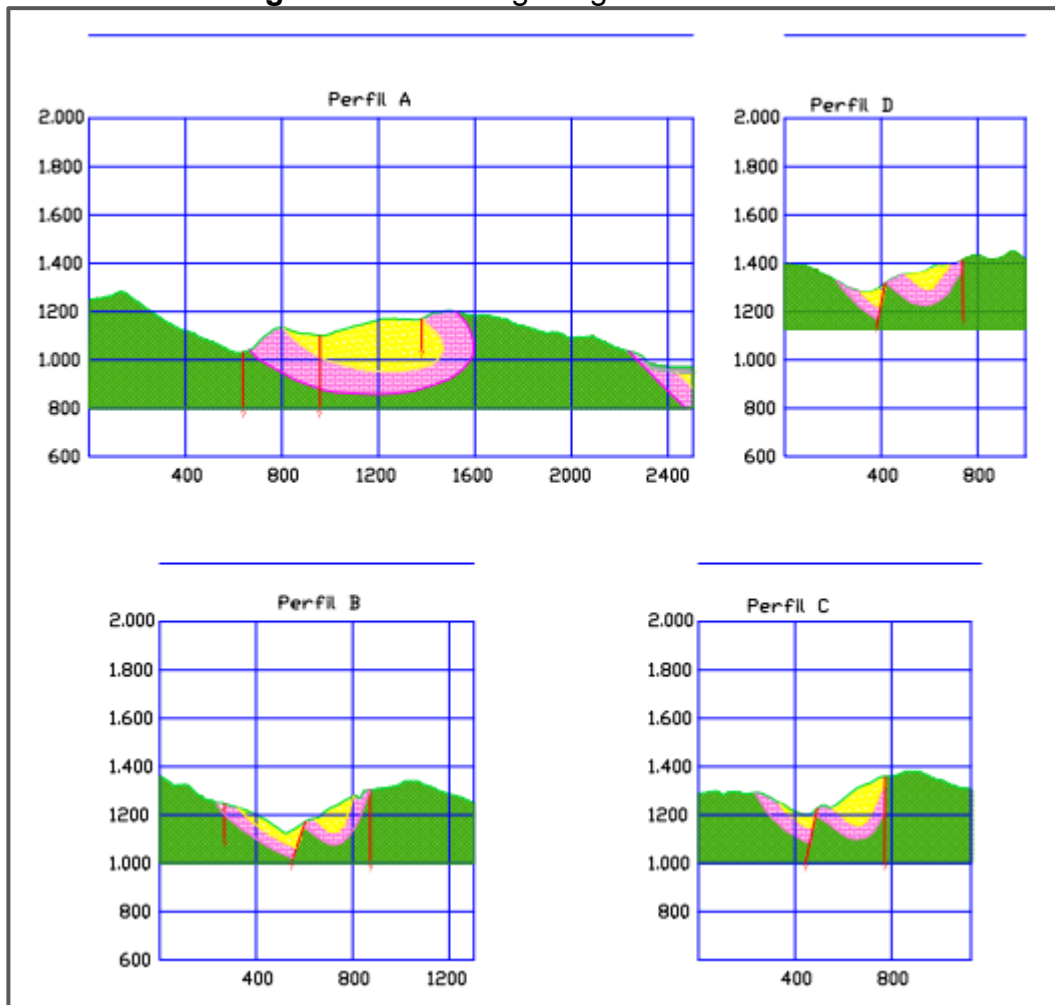


Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

8.2 ELABORACIÓN DE PERFILES GEOLÓGICOS Y COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS

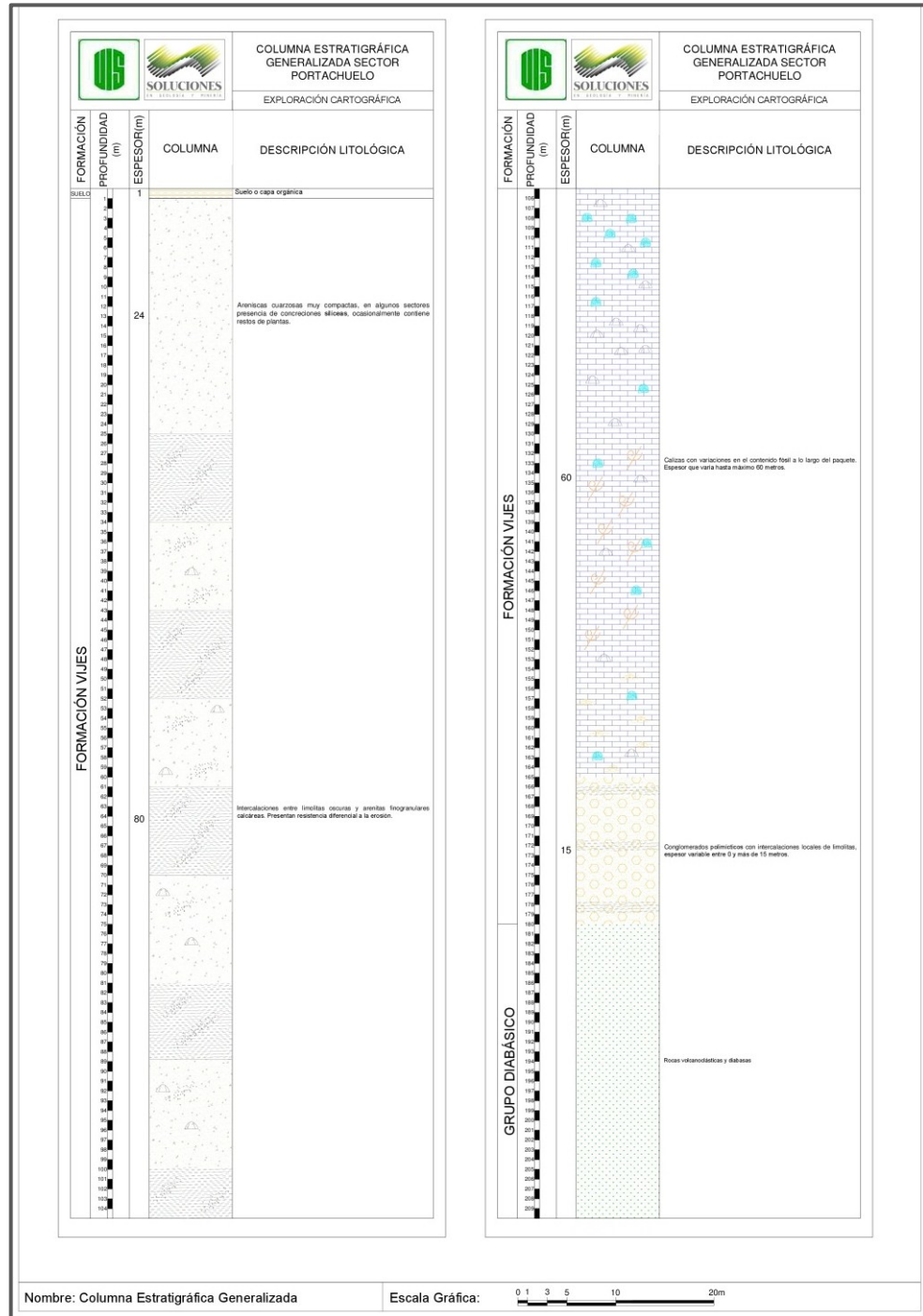
Se lleva a cabo la elaboración de cuatro perfiles geológicos (Ver Figura 15) y dos columnas estratigráficas generalizadas (Ver Figura 16 y Figura 17), las cuales son el resultado de la exploración cartográfica y del estudio estratigráfico, para lograr tener una mejor interpretación del entorno geológico de la zona, empleando el Software Autocad, ya que esta es una herramienta de dibujo de facil manipulación.

Figura 15. Perfiles geológicos Sector Portachuelo.



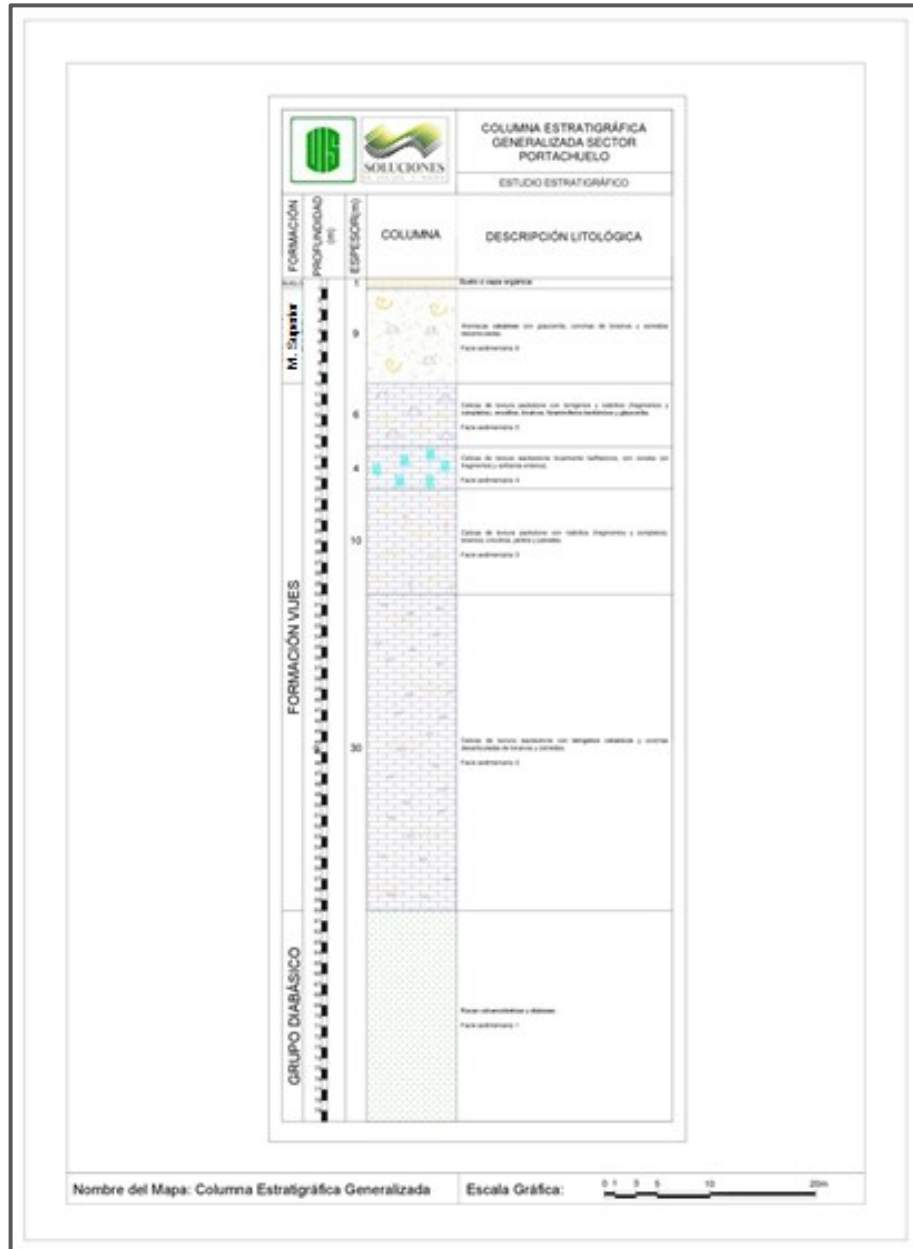
Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

Figura 16. Columna generalizada exploración cartográfica del Sector Portachuelo



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

Figura 17. Columna generalizada estudio estratigráfico del Sector Portachuelo



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

8.3 CONSTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN DE LA BASE DE DATOS

A las muestras recolectadas en la fase de campo se les realiza análisis físicos para determinar la densidad, la sanidad y el desgaste de las rocas volcánicas y análisis químicos para determinar la composición de los materiales calcáreos en términos de los óxidos principales. Para este caso los de mayor interés son el CaO, Al₂O₃, Fe₂O₃ y SiO₂.

Los resultados del análisis químico de las muestras tomadas durante el levantamiento de las columnas estratigráficas, son consolidados en una base de datos; conformada por las siguientes tablas.

- “*Collar*”: Guarda la información geográfica de cada uno de las perforaciones.
- “*Survey*”: Guarda la información que corresponde a la disposición de las perforaciones.
- “*Geology*”: Guarda la información litológica de las perforaciones.
- “*Sample*”: Guarda la información del muestro realizado en las perforaciones

La estructura de esta base de datos es la que se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Estructura de la Base de Datos

Collar	hole_id
	X, Y y Z
	max_depth
Survey	hole_id
	azimut
	dip
	max_depth
Geology	hole_id
	depth_from
	depth_to
	lithology
	description
Simple	hole_id
	depth_from
	depth_to
	samp_id
	chemical data

Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

Por facilidad, la estructura de la base de datos puede ser generada en Excel como se muestra a continuación:

La tabla collar contiene el nombre del pozo, las coordenadas X,Y y Z, y la profundidad máxima. Ver Figura 18

Figura 18. Tabla "Collar"

	A	B	C	D	E	F
1	hole_id	x	y	z	max_depth	
2	COLPT-01	3406.927	4137.716	1278	30	
3	COLPT-02	3562.927	3875.716	1374	70.5	
4	COLPT-03	2874.927	3271.716	1308	30	
5	COLPT-04	2923.927	1952.715	1258	15	
6	COLPT-05	2500.927	1559.714	1080	24	
7	COLPT-06	2992.927	1265.715	1230	29.5	
8	COLPT-07	3832.929	480.716	1035	15	
9						

Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

En la tabla survey se almacena el nombre del pozo, el azimuth, el dip y la profundidad máxima. Ver Figura 19

Figura 19. Tabla "Survey"

	A	B	C	D	E	F
1	hole_id	azimuth	dip	depth		
2	COLPT-01	56.0811	-8.488	30		
3	COLPT-02	302.1145	-4.687	70.5		
4	COLPT-03	62.1842	-4.144	30		
5	COLPT-04	183.1904	-13.912	15		
6	COLPT-05	211.4756	-10.548	24		
7	COLPT-06	177.1858	-0.22	29.5		
8	COLPT-07	83.3935	-20.683	15		
9						

Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

La tabla geology contiene el nombre del pozo, el intervalo, la litología presente en el intervalo y la descripción. Ver Figura 20

Figura 20. Tabla “Geology”

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	hole_id	depth_from	depth_to	formación	facie	nom_facies	lithology	texture
2	COLPT-01	0	0.2	Vijes		5 P(locally W/ Limestone		Packstone
3	COLPT-01	0.2	0.25	Vijes		4 Su-Gy,Fb,bv(i Sandstone		Sandstone
4	COLPT-01	0.25	0.4	Vijes		5 P(locally W/ Limestone		Packstone
5	COLPT-01	0.4	0.45	Vijes		4 Su-Gy,Fb,bv(i Sandstone		Sandstone
6	COLPT-01	0.45	0.6	Vijes		5 P(locally W/ Limestone		Packstone
7	COLPT-01	0.6	0.65	Vijes		4 Su-Gy,Fb,bv(i Sandstone		Sandstone
8	COLPT-01	0.65	1	Vijes		5 P(locally W/ Limestone		Packstone

Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

Y en la tabla “sample” se incluye el nombre del pozo, el intervalo, el número de la muestra y su química correspondiente. Ver Figura 21

Figura 21. Tabla “Sample”

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	hole_id	depth_from	depth_to	samp_id	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	Na2O	K2O	CaCO3
2	COLPT-01	0	3	-1	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
3	COLPT-01	3	4.2	COLPT-01-M1	2.25	1.14	0.89	65.79	1.64	0.04	0.05	88.81
4	COLPT-01	4.2	9	-1	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
5	COLPT-01	9	9.55	COLPT-01-M2	0.96	0.65	0.78	67.09	1.13	0.04	0.01	90.57
6	COLPT-01	9.55	10.15	-1	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
7	COLPT-01	10.15	10.95	COLPT-01-M3	1.40	0.76	0.96	66.53	1.49	0.04	0.03	89.81
8	COLPT-01	10.95	12.3	COLPT-01-M4	2.84	1.25	1.04	64.78	1.25	0.05	0.06	87.45
9	COLPT-01	12.3	15	-1	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
10	COLPT-01	15	15.75	COLPT-01-M5	17.81	2.01	1.73	54.66	1.70	0.34	0.13	73.79
11	COLPT-01	15.75	16.5	-1	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
12	COLPT-01	16.5	16.75	COLPT-01-M6	1.59	0.45	0.49	67.68	1.09	0.03	0.01	91.36

Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

Con el fin de que se correlacione la información de cada una de las tablas anteriormente mencionadas, es necesario que en todas ellas aparezca el campo hole_id con la misma denominación para cada una de las perforaciones.

Además de los datos obligatorios mostrados en la Tabla 7, es posible en la base de datos almacenar información adicional de interés en el proyecto como se observa en la Figura 20, adicional a esto se debe tener en cuenta que las

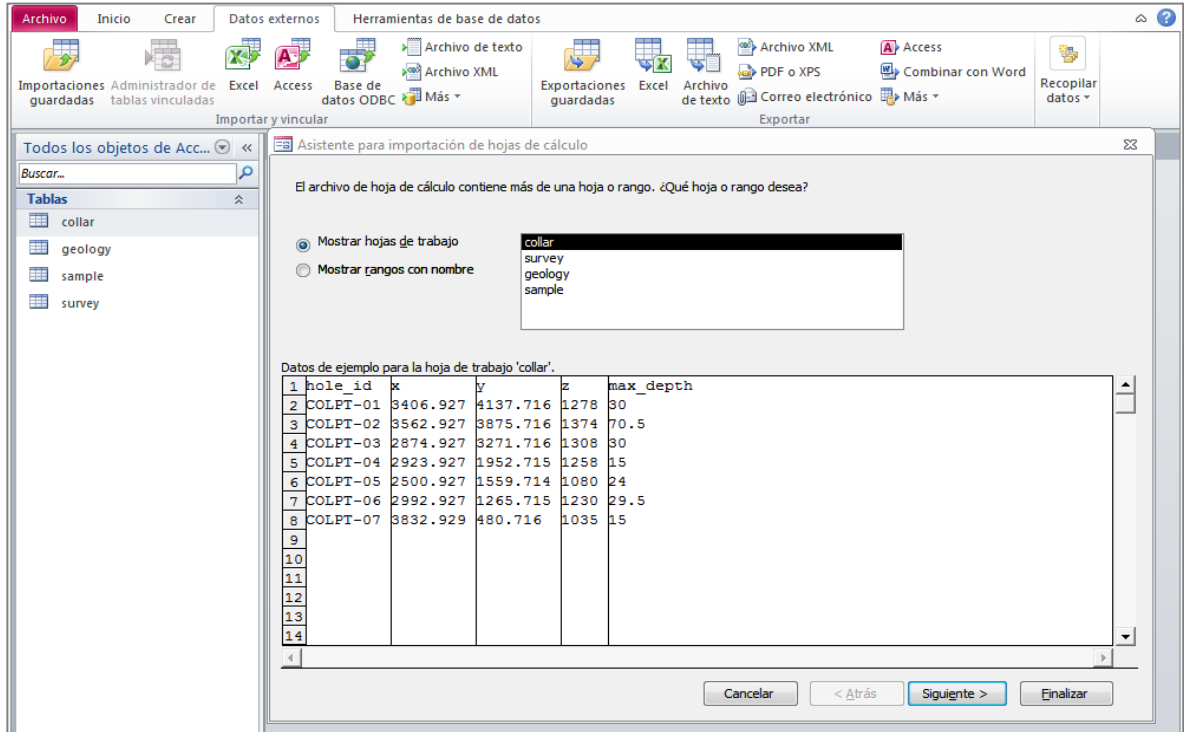
profundidades de los pozos también deben coincidir y que todos los espacios que no tengan información se deben llenar con -1, de este modo el Software Surpac identifica que estos campos no tienen información en el momento de hacer la validación.

El Software Surpac tiene un módulo que permite trabajar con base de datos de perforaciones, debido a que para este caso práctico no se cuenta con datos de perforaciones, pero se tienen columnas estratigráficas, estas se montaron al software como pseudopozos para poder utilizar las herramientas de base de datos que este posee.

Este Software permite generar la base de datos desde su propia plataforma introduciendo los datos manualmente, teniendo en cuenta la cantidad de datos, esto se puede convertir en algo tedioso, por lo tanto para mayor facilidad y gracias a que también reconoce la información desde cualquier gestor de base de datos, se utiliza Microsoft Access para ello.

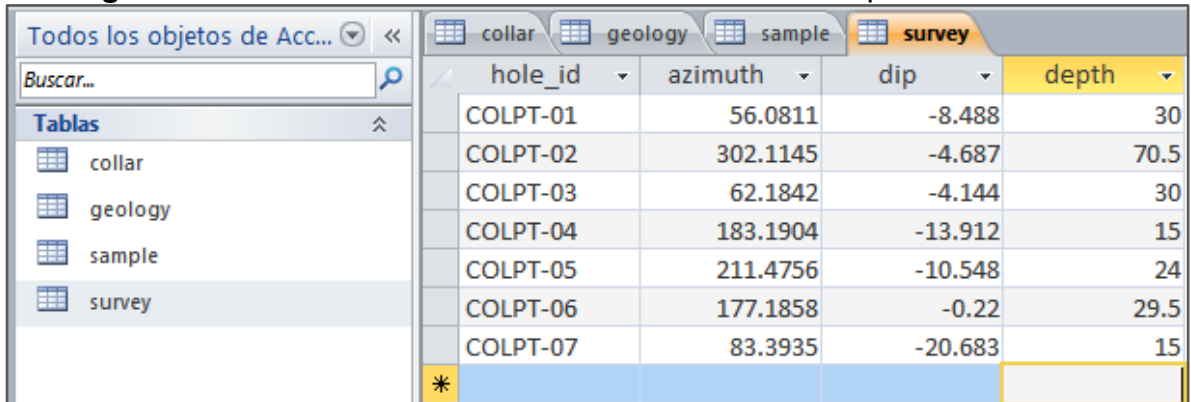
La plataforma Access permite importar la información almacenada en la base de datos creada en el archivo Excel, para esto se debe seleccionar por separado cada una de las tablas collar, survey, geology y sample. Ver Figura 22 y Figura 23.

Figura 22. Plataforma Acces para almacenar información de base de datos



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

Figura 23. Tablas contenidas en la base de datos de la plataforma Acces

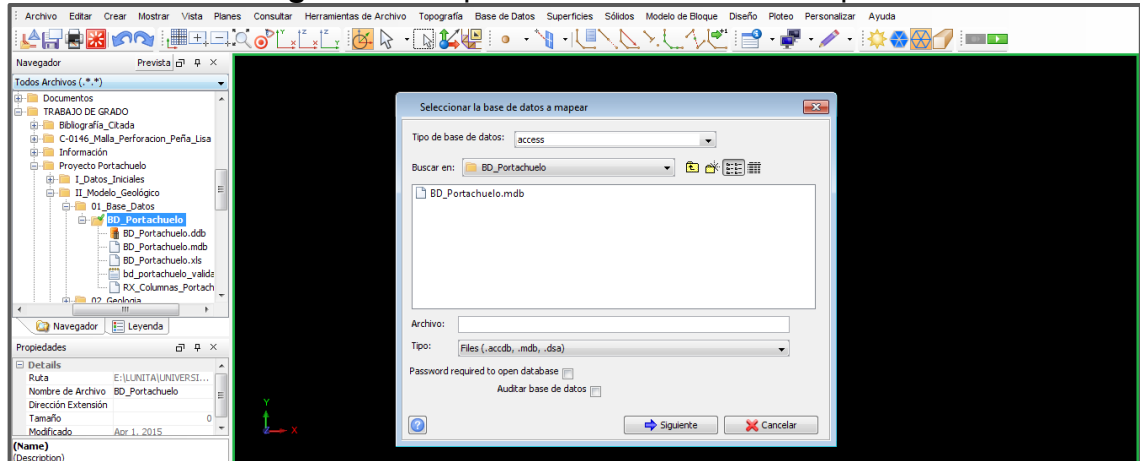


Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

Este archivo Acces es validado por el Software Surpac, el cual mapea la base de datos, verificando que las tablas mandatorias (hole_id y survey) y las tablas de intervalos (geology y sample) coincidan en cuanto al nombre y la profundidad máxima, además de la consistencia en los rangos de las profundidades. Al

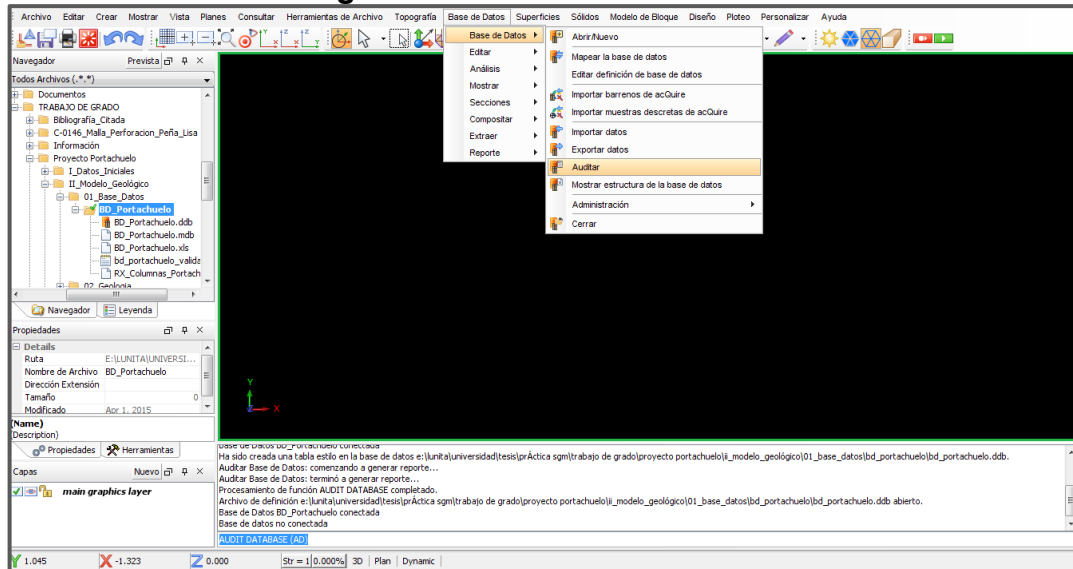
finalizar su validación genera un reporte con las inconsistencias halladas, las cuales se deben corregir y validar nuevamente, hasta que el reporte se genere sin errores. De la Figura 24 a la Figura 26 se muestra como debe ser validada la base de datos en el Surpac.

Figura 24. Mapear base de datos en Surpac



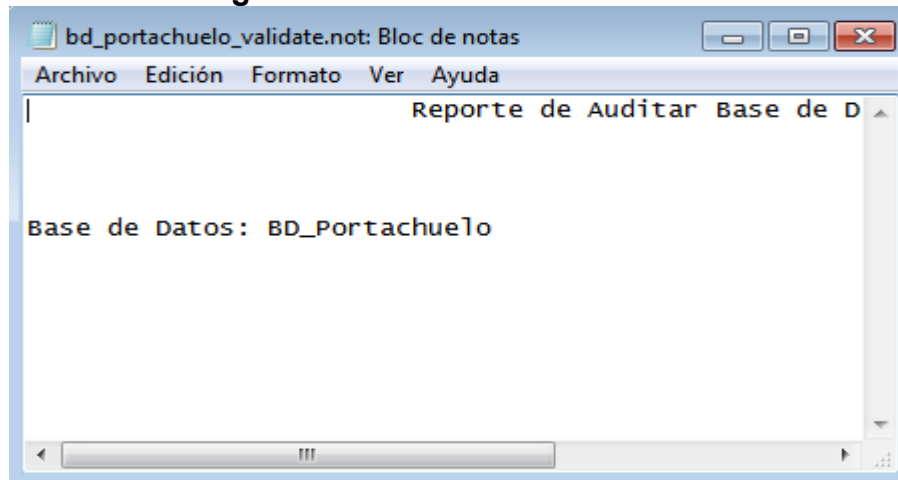
Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

Figura 25. Auditar base de datos



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

Figura 26. Validación base de datos



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

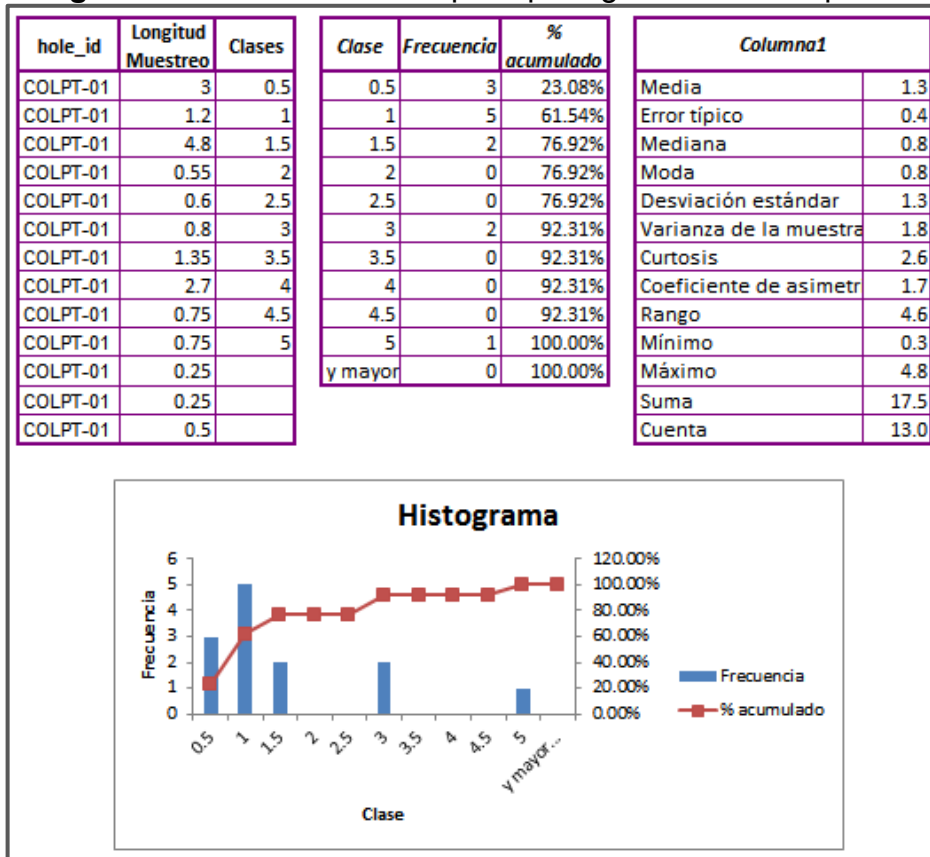
8.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realiza para organizar, analizar los datos y de esta forma tener conocimiento sobre su distribución y el número de poblaciones presentes. Aunque hay diversos Software que permiten realizar este análisis, Gemcom Surpac permite ejecutarlo de una manera muy sencilla, para ello, toda la información de los datos a analizar se debe encontrar en archivos string, para que sea reconocida por el Software. La información que se analiza es la referente a las muestras tomadas del estudio estratigráfico y de la cartografía realizada previamente, estas son analizadas primero por separado y luego se agrupan como una sola, para poder identificar la presencia de varias poblaciones de datos y cambios en la distribución que ellas presentan.

Debido a que todos los datos almacenados de las columnas difieren en la longitud de muestreo, lo que generaría que unas muestras tengan mayor peso que otras, se requiere regularizar la longitud de muestreo para que todas estas tengan el mismo peso y así lograr obtener un análisis más certero que permita identificar las características del yacimiento, para esto, es necesario realizar un compósito, el cual es una herramienta que permite regularizar los datos dándoles un intervalo de

muestreo constante. Esto se logra mediante la construcción de un histograma y un análisis estadístico de la longitud de muestreo original, con el fin de determinar cuál es el valor más acorde para realizar el compósito. (Ver Figura 27)

Figura 27. Estadística descriptiva para generar un compósito

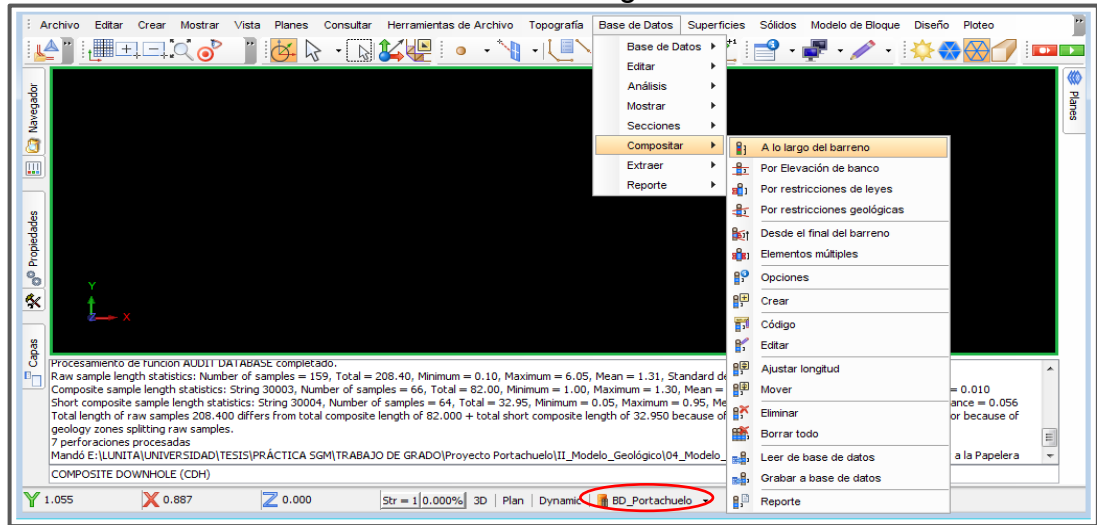


Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

Este compósito es generado por el Software Surpac, en donde la información a emplear es la contenida en la base de datos construida y validada como se menciona anteriormente, la cual debe aparecer activa en la parte inferior de la ventana del Software en el momento de la creación del compósito (Ver Figura 28). Se debe tener en cuenta que los datos que se van a ajustar, Surpac los reconoce como pozos, es por esto que la opción válida para elaborar el compósito es la que se realiza a lo largo del pozo, especificando que su longitud debe ser igual al valor

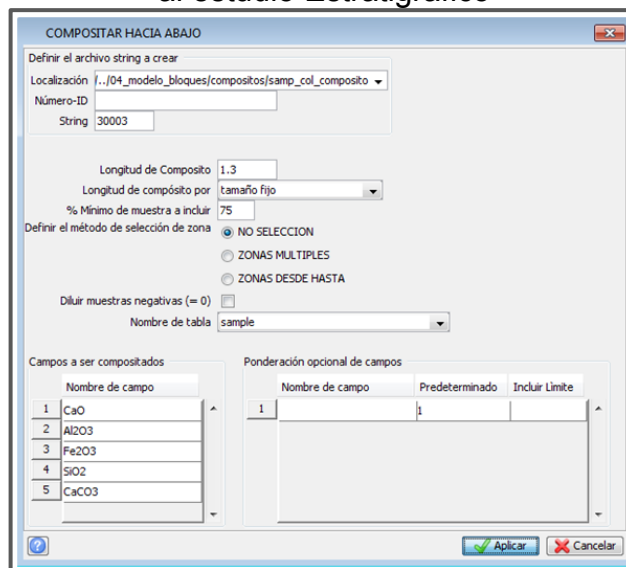
reportado por el análisis de la longitud de muestreo, siendo para este caso de 1.3 metros y que los datos de interés son los encontrados en la tabla sample. Ver Figura 29

Figura 28. Elaboración del compósito para las muestras químicas pertenecientes al estudio Estratigráfico.



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

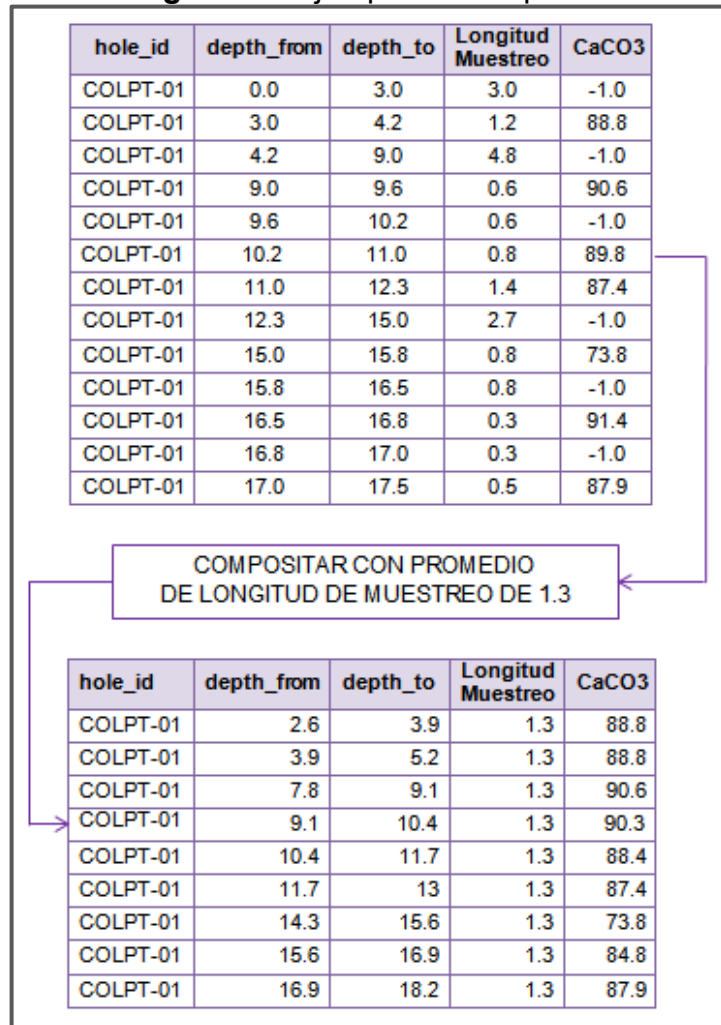
Figura 29. Elaboración del compósito para las muestras químicas pertenecientes al estudio Estratigráfico



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

La Figura 30 da un ejemplo de lo que se logra al realizar un compósito, mostrando un dato de entrada, el compósito a realizar y el dato de salida que nos entrega.

Figura 30. Ejemplo de compósito



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

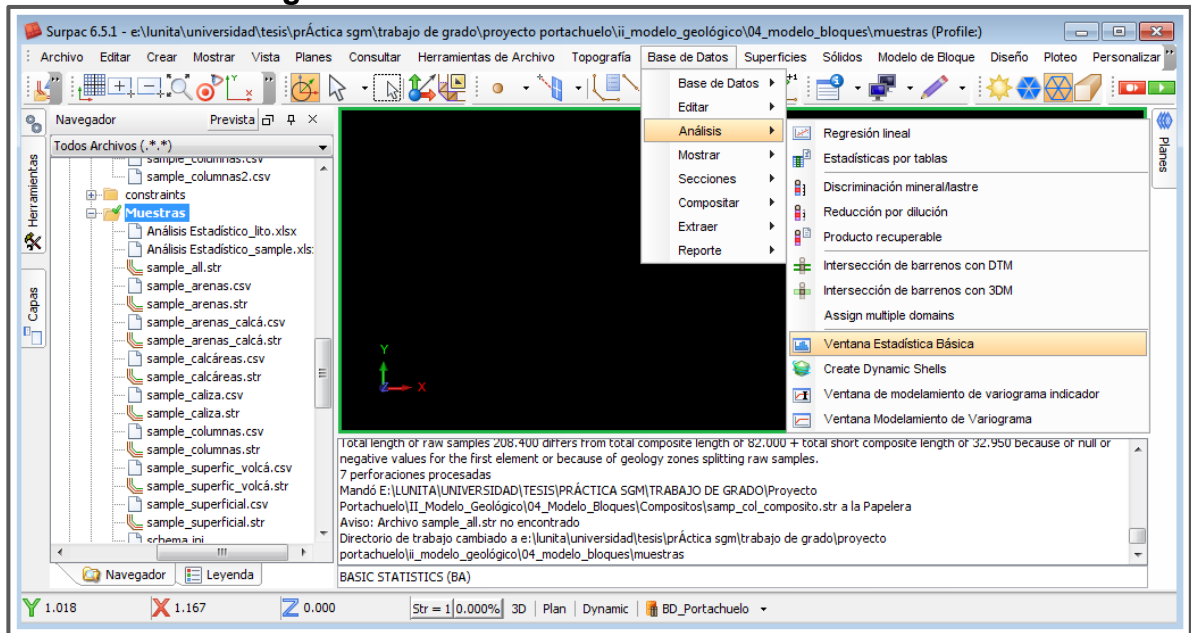
Esta nueva información obtenida al realizar el compósito es destinada para construir el modelo de calidad.

La información que corresponde al muestreo superficial diferente al realizado en la columnas, Gemcom Surpac permite subirla en formato CSV (Delimitado por comas), el cual es convertido en un archivo string (archivo base del Surpac), para

que sea adecuadamente detectado por el Software, debido a que éste, únicamente reconoce la información contenida en este tipo de archivo. Los archivos string tienen como ventaja que permiten almacenar atributos ya sean datos físicos o químicos y se pueden emplear como se mencionó anteriormente, para la construcción de un modelo de calidad.

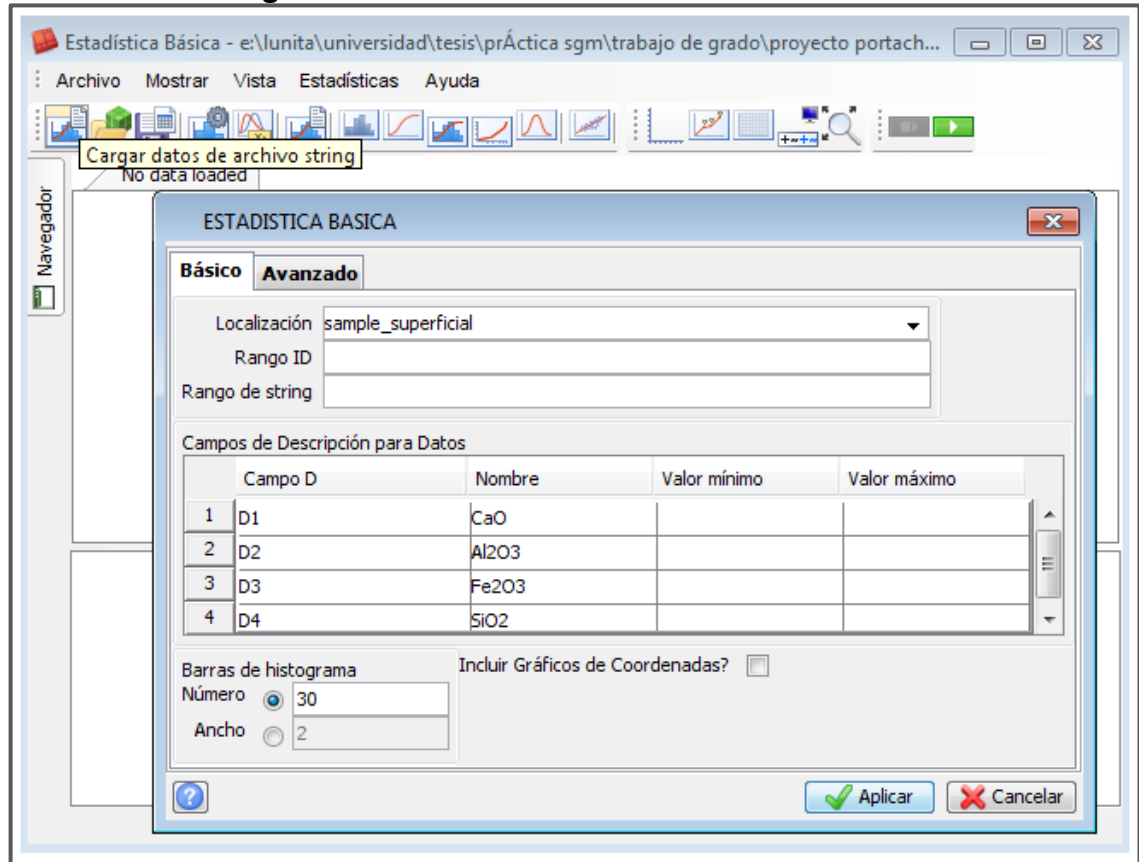
El potencial del presente yacimiento es determinado por las variables Cao, Al₂O₃, Fe₂O₃, SiO₂, a las cuales se les realiza el análisis estadístico, como se muestra en la Figura 31 y en la Figura 32.

Figura 31. Análisis estadístico de la información



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

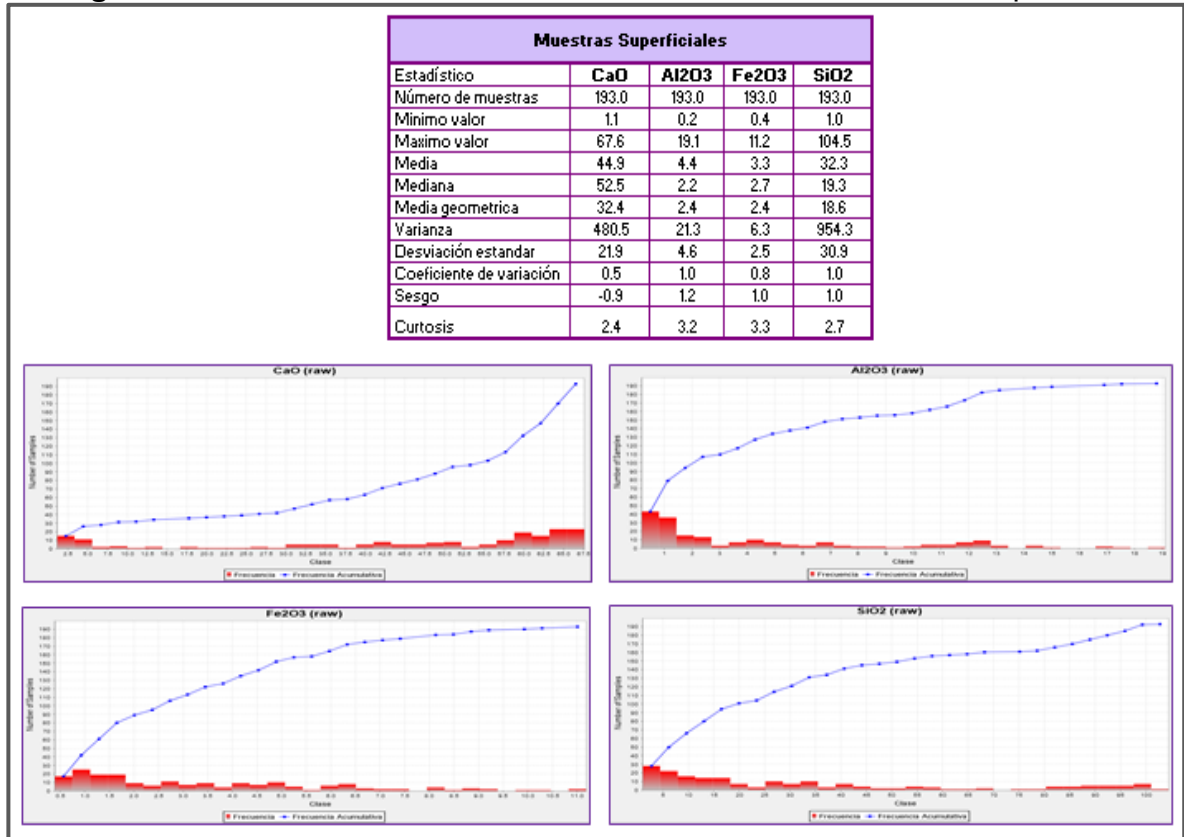
Figura 32. Análisis estadístico de la información



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

Al realizar la estadística de los datos se obtienen las gráficas y el reporte estadístico que se muestra en la Figura 33, en donde se puede observar que la distribución que muestran los datos no es clara, ya que se presentan diferentes poblaciones de datos que pueden estar asociados a las diferentes litologías presentes en el área de estudio.

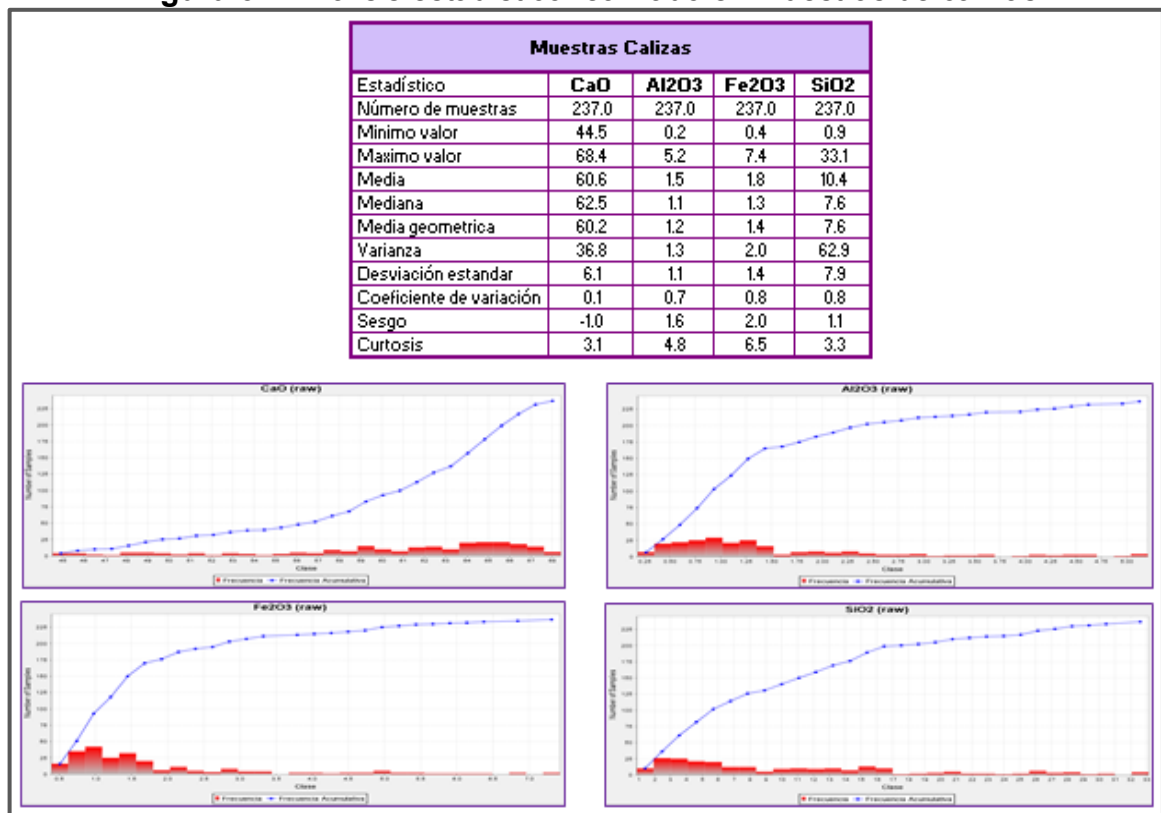
Figura 33. Análisis estadístico realizado en muestras con análisis químicos



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

Para poder identificar el comportamiento estadístico de los datos asociados a cada una de las poblaciones, es necesario hacer nuevamente el análisis pero esta vez enfocado a las diferentes litologías halladas en la zona, por medio de lo cual se consigue una mejor interpretación, ya que para el grupo de muestras correspondientes a las calizas, se observa una distribución más clara. Ver Figura 34

Figura 34. Análisis estadístico realizado en muestras de calizas



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

Toda esta información será manipulada durante la elaboración del modelo de bloques, ya que es necesaria para poder realizar el modelo de calidad.

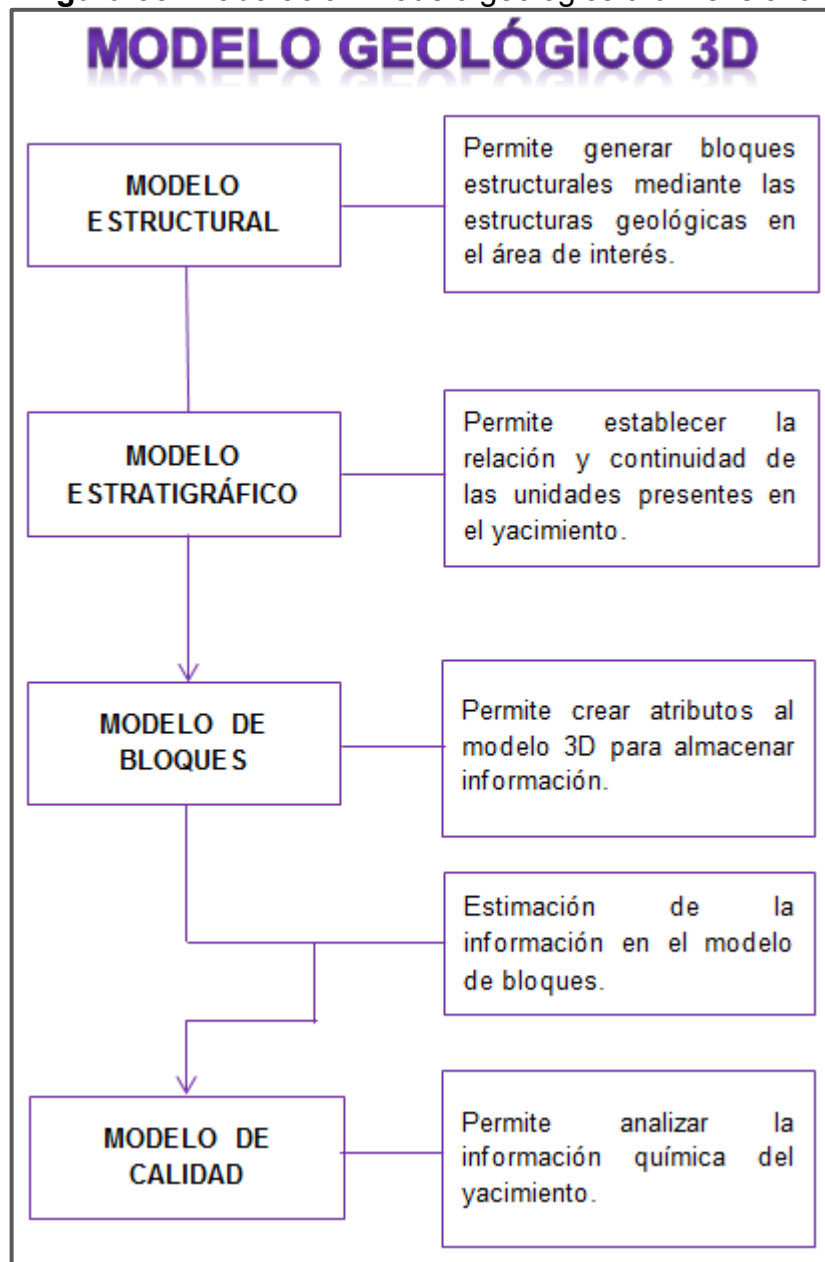
9 METODOLOGÍA MODELO GEOLÓGICO

En este trabajo se elaboró el modelo geológico de un yacimiento de materiales calcáreos, empleando el Software Surpac. Este es un Software para geología, con aplicaciones en todas las etapas del ciclo de la producción minera, desde la estimación de reservas, planificación, producción y la restauración del medio ambiente, para el cual sus archivos principales son el string y el DTM, descritos a continuación:

- ARCHIVO STRING: Es el archivo base del Software y puede estar representado por puntos o segmentos. Un string es una secuencia tridimensional de coordenadas que delimitan alguna característica física. (Surpac Vision, 2006)
- ARCHIVO DTM: Es un Modelo Digital del Terreno, el cual puede representar la topografía del terreno o las superficies de las unidades geológicas. Las superficies son usadas en Surpac para visualización 3D o cálculo de volúmenes. (Surpac Vision, 2006)

Para llevar a cabo la elaboración de un modelo geológico tridimensional es necesario generar en primer medida un modelo estructural y uno estratigráfico para poder realizar el modelo de bloques, el cual permite crear atributos para vincular la información existente del yacimiento, cuando la información es estimada y vinculada al modelo, éste se convierte en un modelo de calidad. Los pasos empleados durante el desarrollo de la metodología para realizar el presente modelo geológico tridimensional, se muestran en la Figura 35

Figura 35. Elaboración modelo geológico tridimensional



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

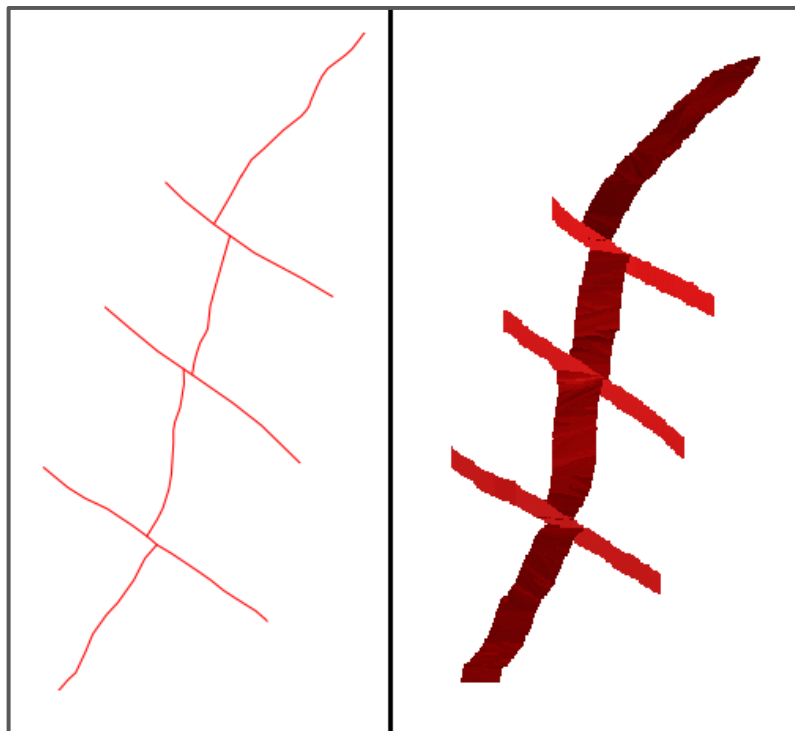
9.1 MODELO ESTRUCTURAL

Es una representación geométrica tridimensional de las estructuras geológicas en el subsuelo. Se designa como la mejor interpretación del estilo de deformación respetando el marco tectónico regional del área en estudio. (Mesa, C. 2014.)

Para realizar el modelo estructural se requiere conocer las estructuras geológicas que están presentes en la zona, para ello se lleva a cabo un estudio fotogeológico, el cual se describe a continuación.

De los lineamientos que se obtienen del estudio fotogeológico (Ver Capítulo 7), se seleccionan los que presenten mayor continuidad y un rasgo geomorfológico más marcado (Ver Figura 36). Estas fallas se limitan al área a modelar, por medio de lo cual se definen los bloques estructurales.

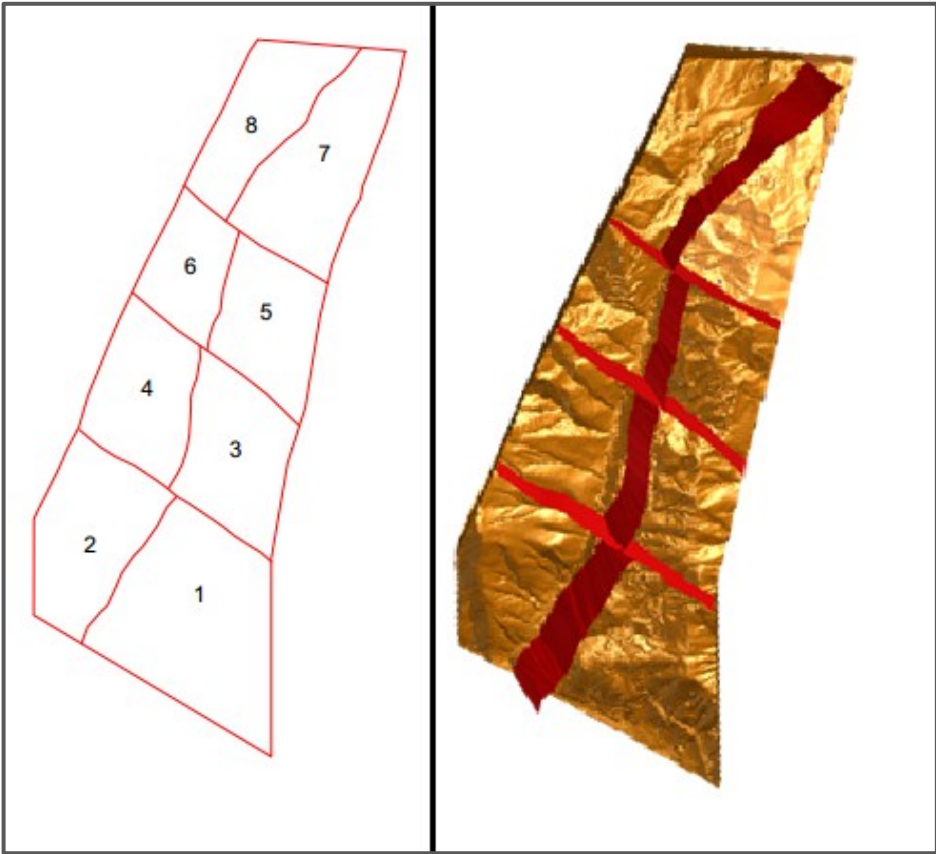
Figura 36. Fallas de mayor importancia en la elaboración del Modelo Estructural



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

Se definen ocho bloques estructurales, teniendo en cuenta la disposición de las fallas y que estas representan cambios en el comportamiento en la continuidad de las unidades presentes en el sector. Ver Figura 37

Figura 37. Bloques Estructurales del Modelo Estructural en el Sector Portachuelo



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

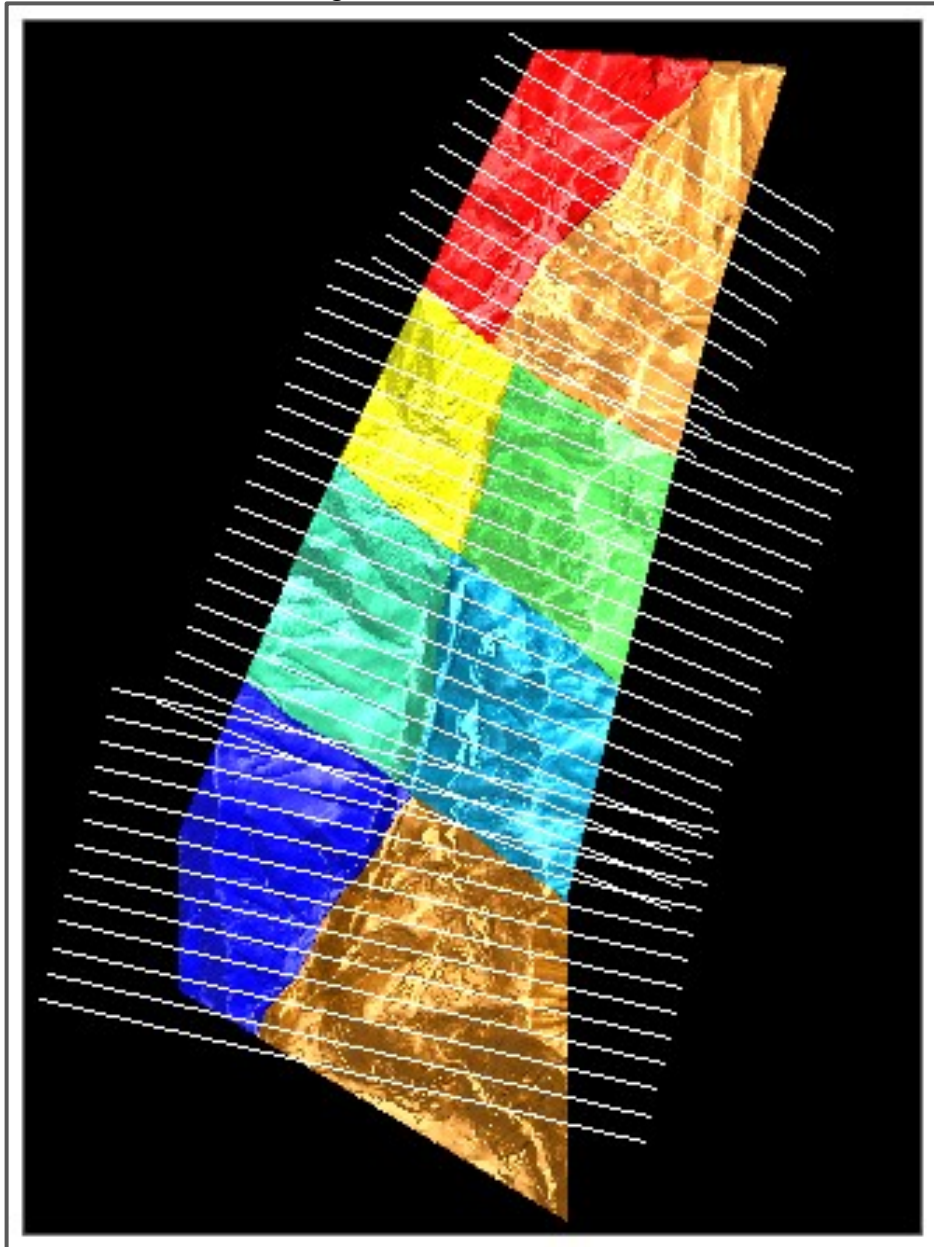
9.2 MODELO ESTRATIGRÁFICO

Es la representación geométrica tridimensional de un yacimiento. Busca mostrar la disposición de las unidades presentes y establecer su relación y continuidad, para determinar las características del depósito. (Mesa, C. 2014.)

Para elaborar el modelo estratigráfico se deben realizar perfiles interpretativos transversales al rumbo de las unidades presentes ya que con esto el buzamiento se acerca al buzamiento real de las capas, con esto se puede obtener las superficies de cada una de las unidades presentes (Ver Figura 38 y Figura 39). Estas líneas de perfil se encuentran espaciadas cada 100 metros, y su dirección varía con el fin de garantizar su perpendicularidad a las estructuras, por tanto sus direcciones serán:

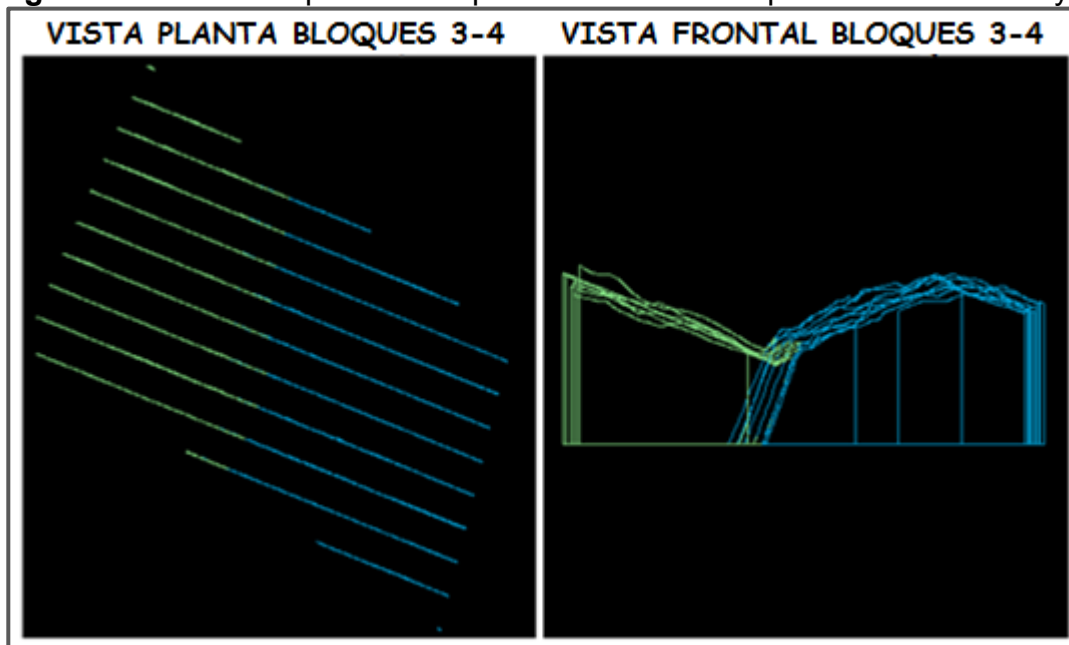
- Sector Sur (Bloques 1-2): Rumbo de las líneas de perfil de 103° de azimut.
- Sector Central (Bloques 3-6): Rumbo de las líneas de perfil de 103° de azimut.
- Sector Norte (Bloques 7-8): Rumbo de las líneas de perfil de 103° de azimut.

Figura 38. Líneas de perfil empleadas en el modelamiento Geológico del sector Portachuelo



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

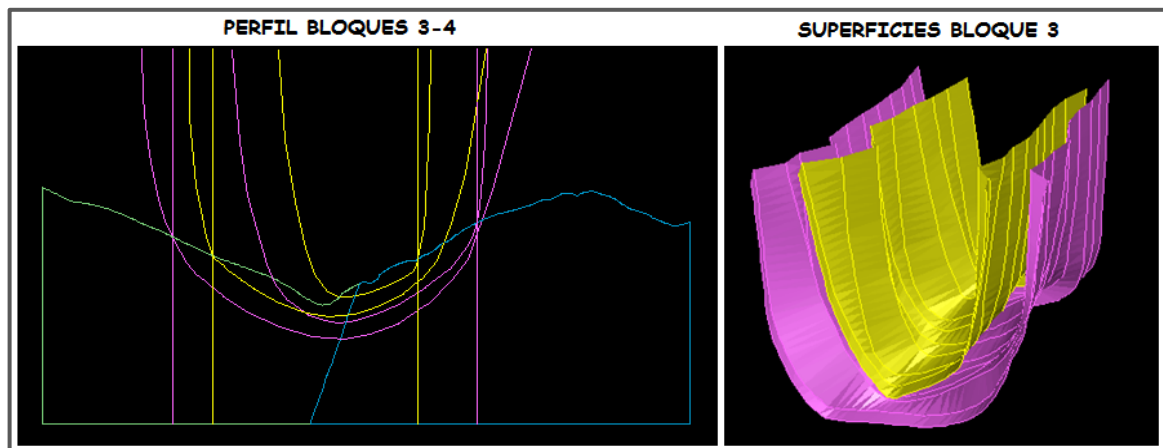
Figura 39. Líneas de perfil correspondientes a los bloques estructurales 3 y 4



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

Estos perfiles interpretativos se realizan con el principal objetivo de convertirlos en una herramienta base para poder determinar la continuidad de las superficies de cada una de las unidades presentes (Ver Figura 40), aplicando para ello el principio de la cronoestratigrafía, la cual busca la organización de los estratos y su disposición, agrupándolos en unidades basadas en su edad (unidades cronológicas), que presentan una relación entre sí. Para poder llevar a cabo de una manera más sencilla y precisa esta correlación y delimitación de la continuidad de los cuerpos, se tiene en cuenta las observaciones reportadas por la exploración cartográfica de la zona, la información consignada en el mapa geológico elaborado (Ver Figura 14), las columnas estratigráficas generalizadas (Ver Figura 16 y Figura 17) y los perfiles (Ver Figura 15) que se realizaron con el fin de lograr una mejor interpretación de los rasgos geológicos en la zona.

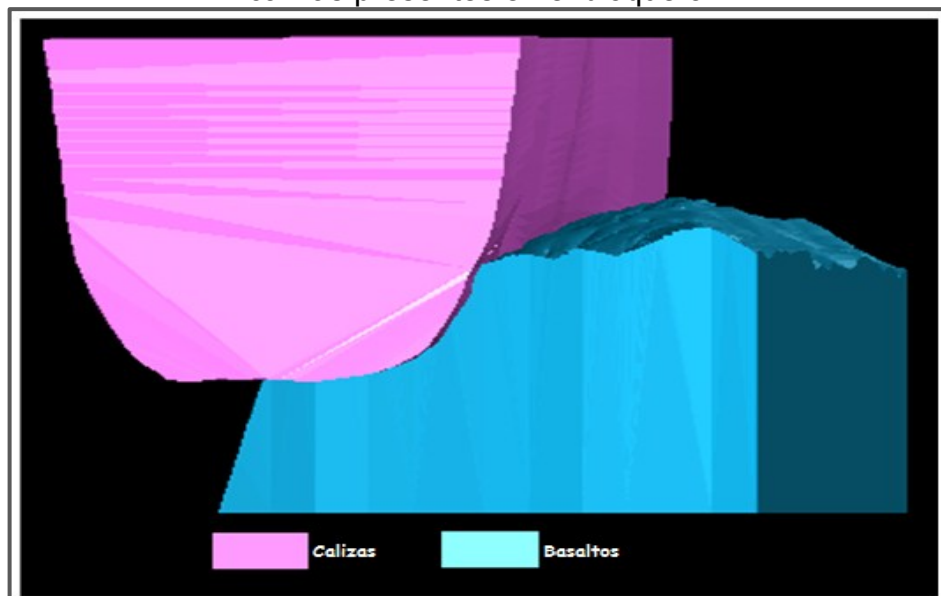
Figura 40. Superficies de las unidades presentes en el bloque estructural 3



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

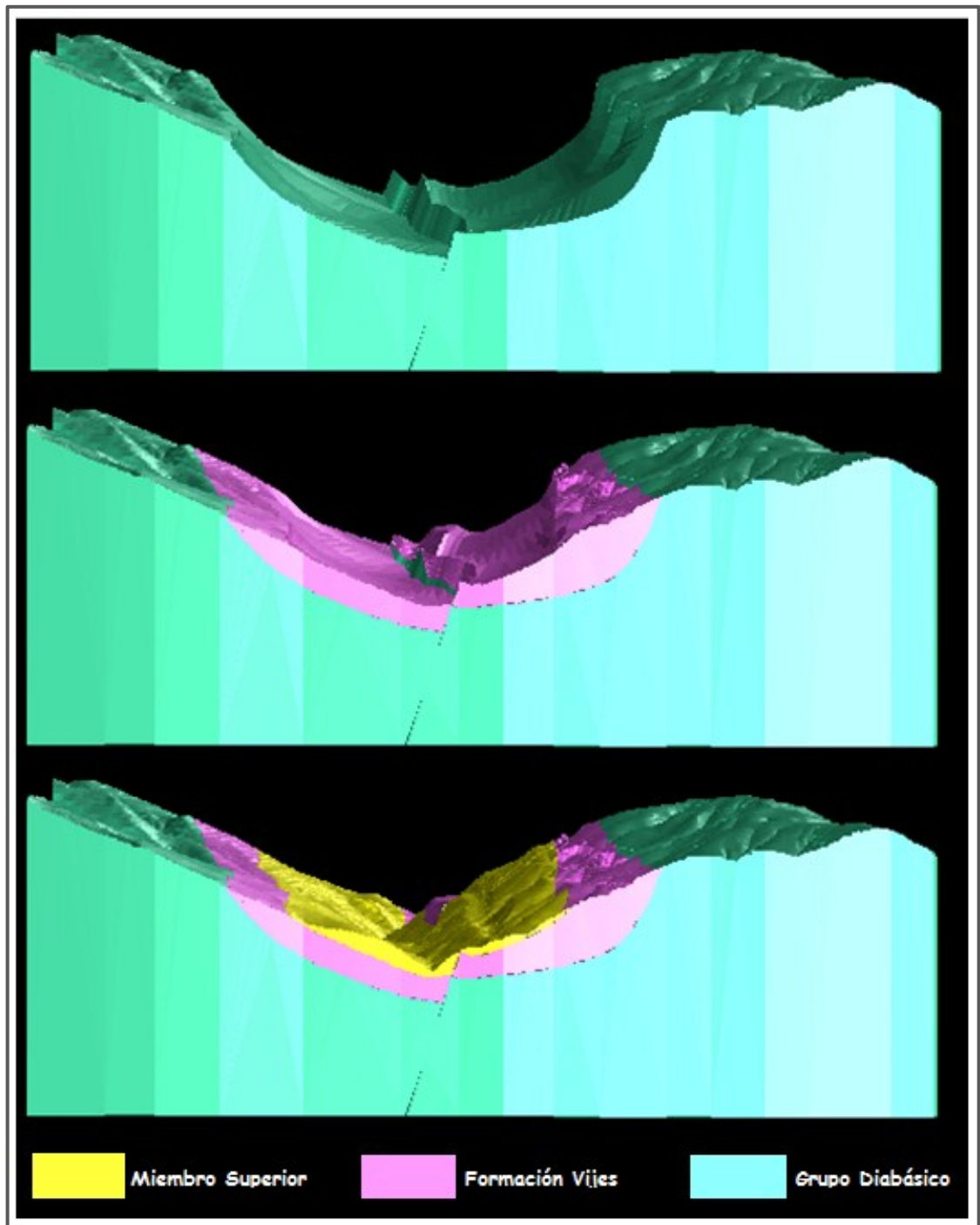
Estas superficies son convertidas en sólidos proyectados (Ver Figura 41), los cuales son validados para luego ser interceptados con los bloques estructurales y de este modo tener los sólidos de las unidades presentes a lo largo de la zona. Ver Figura 42

Figura 41. Intercepción sólidos proyectados entre los basaltos y calizas presentes en el bloque 3



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

Figura 42. Modelo geológico tridimensional del bloque tres y cuatro en el Sector Portachuelo

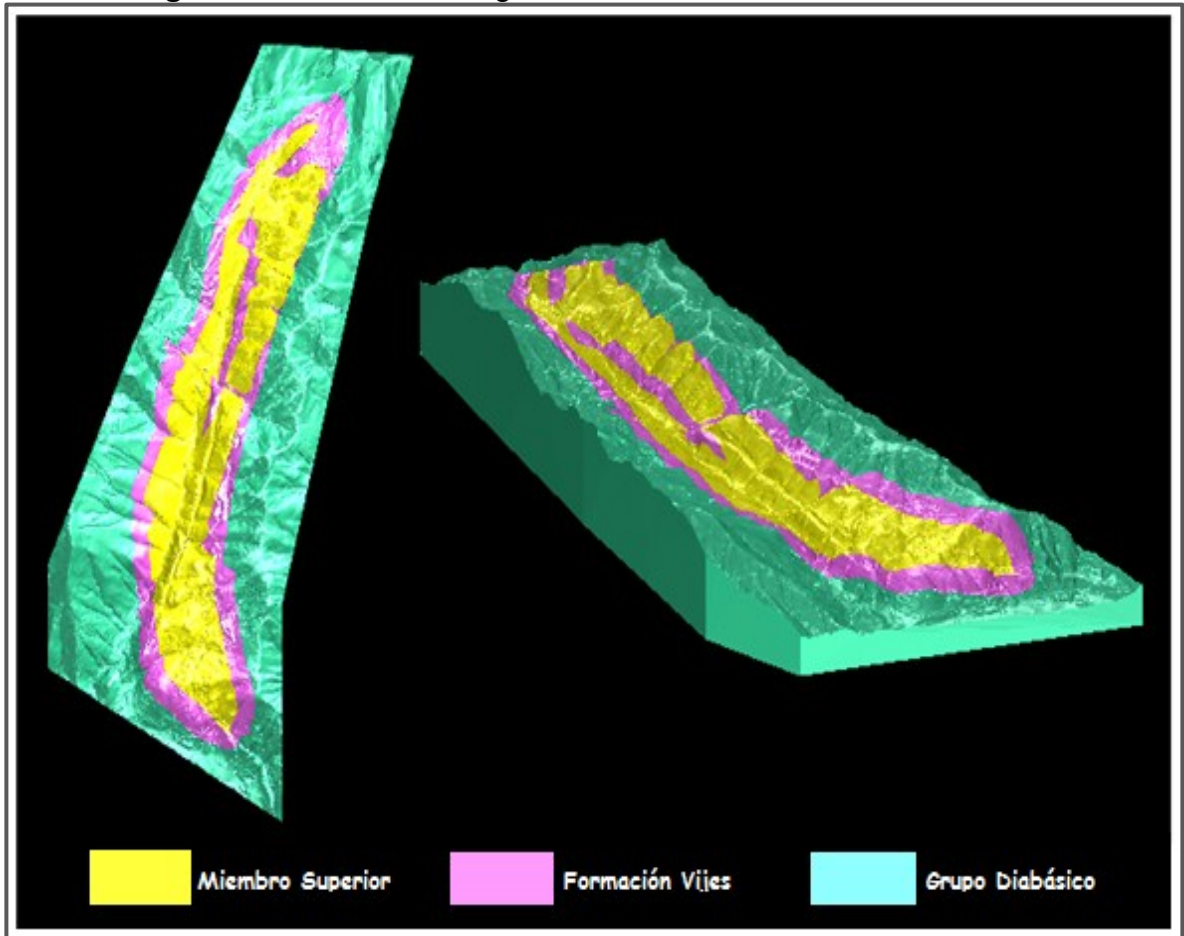


Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

Al generar todos los sólidos de las unidades de interés en cada uno de los bloques estructurales se obtiene una representación tridimensional mediante sólidos para

el yacimiento ver Figura 43, en donde el color verde corresponde a los basaltos, el rosado a las calizas de Vijes y el amarillo al Miembro superior.

Figura 43. Modelo Geológico Tridimensional Sector Portachuelo

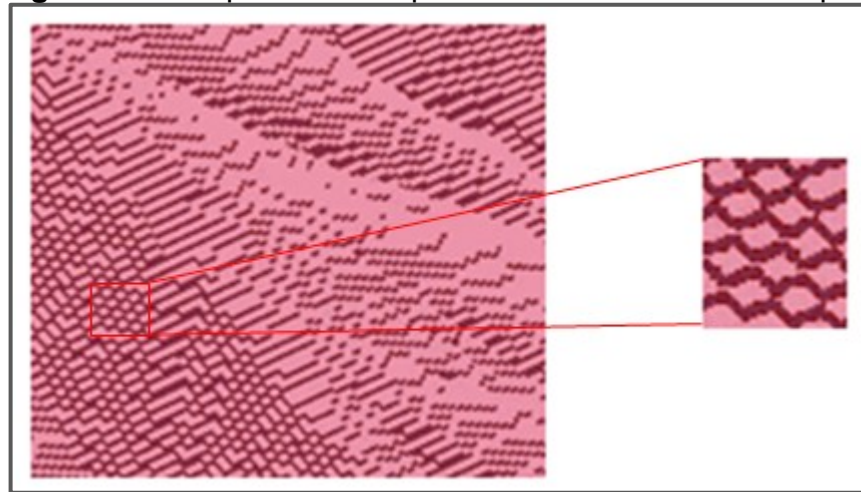


Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

9.3 MODELO DE BLOQUES

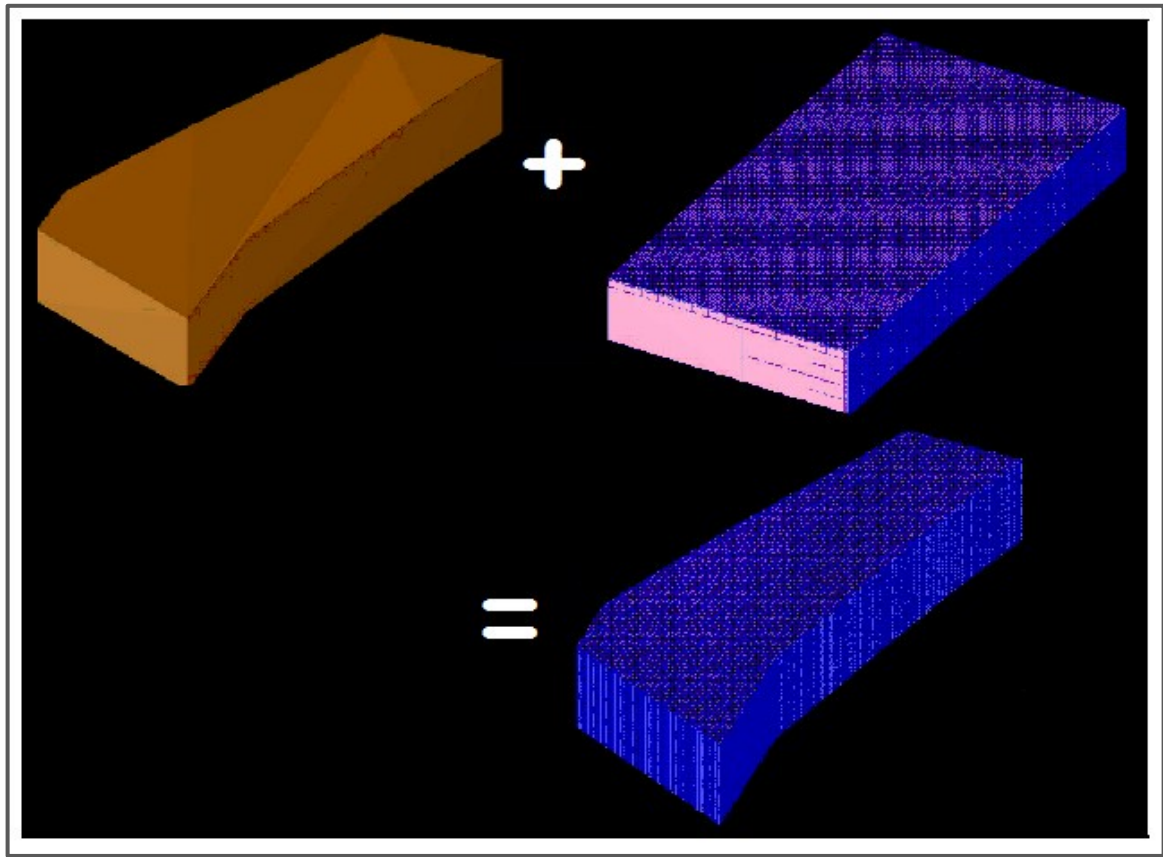
Es una forma de base de datos referencial-espacial que proporciona un significado para modelar un cuerpo 3D desde información preexistente. (Surpac Vision, 2006) El modelo de bloques consiste en encerrar o delimitar el área de interés con pequeños bloques o cubos de dimensiones conocidas (Ver Figura 44), esto se puede interpretar como la unión de una malla tridimensional constituida por múltiples cubos de reducido tamaño, los cuales en su interior pueden almacenar atributos con los datos de interés, ésta es sobrepuesta y luego restringida al área de estudio. Ver Figura 45.

Figura 44. Interpretación esquemática del modelo de bloques



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

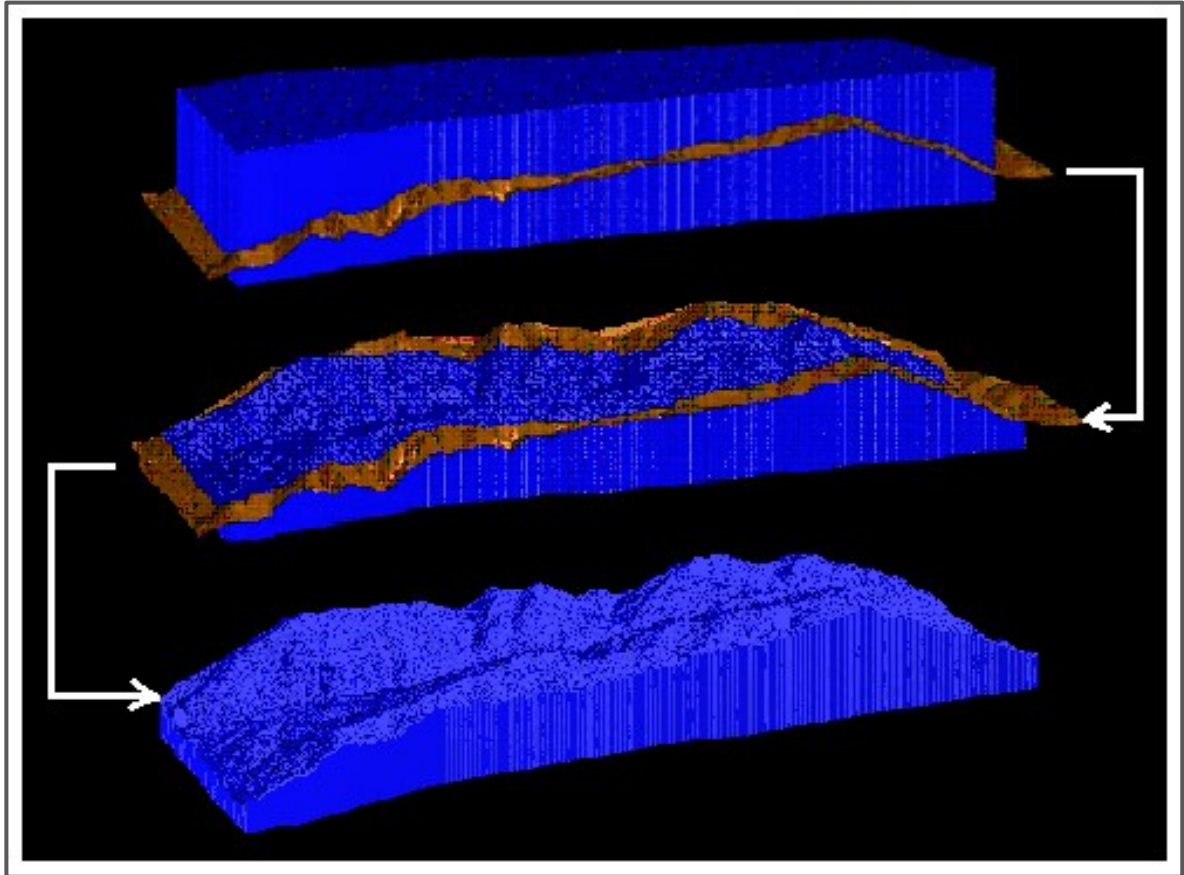
Figura 45. Generación modelo de bloques



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

Debido a que el modelo de bloques permite obtener cálculos volumétricos y a que estos deben ser lo más ajustado posible a la realidad, se restringe el modelo de bloques a la topografía para obtener un modelo que represente las características del terreno. Ver Figura 46.

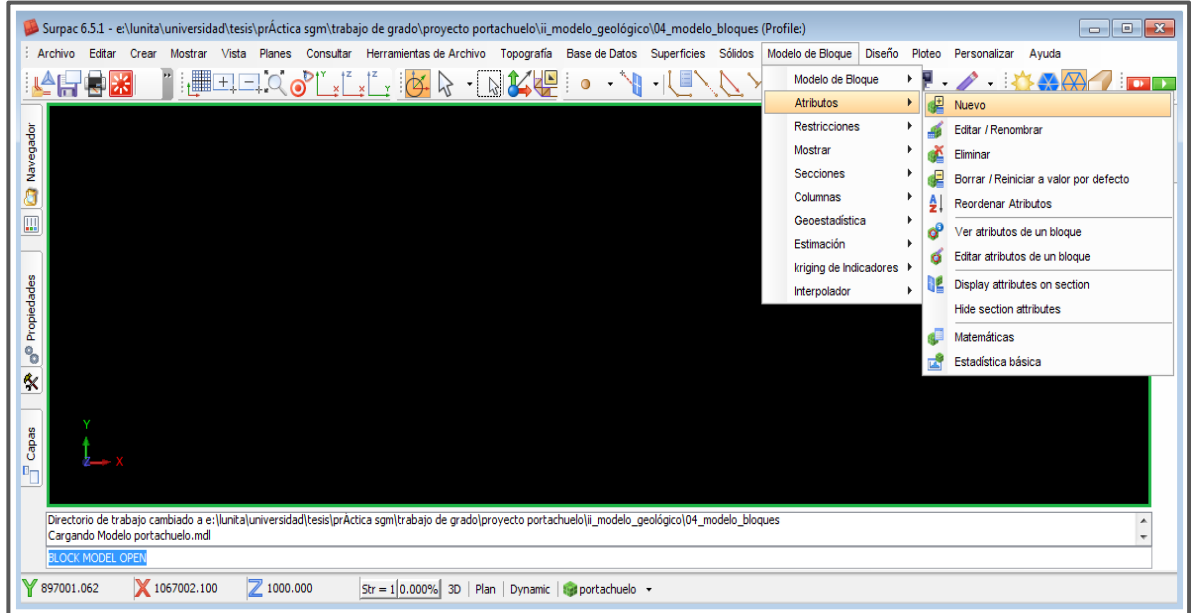
Figura 46. Modelo de bloques Sector Portachuelo.



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

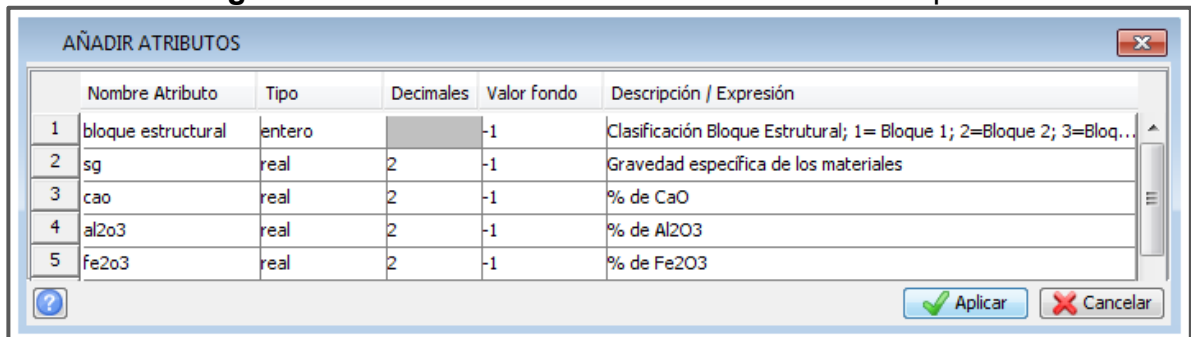
9.3.1 Creación De Atributos para el modelo de bloques: Se genera para poder vincular toda la información previamente consolidada de las muestras, atribuyéndola a los diversos atributos creados para el procesamiento del análisis de la información, como la litología, la categoría, los diferentes componentes químicos, las densidades, el desgaste, la sanidad, bloques estructurales, etc, y de esta forma poder conocer la información referente a volúmenes, cálculo de recursos, calidad de los materiales, etc. Cada uno de los anteriores atributos se crea como se muestra en la Figura 47 y Figura 48.

Figura 47. Creación de atributos para modelo de bloques



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

Figura 48. Atributos de interés en el modelo de bloques



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

En la Figura 48 se puede observar que los atributos creados son de dos tipos: Enteros o Reales. Los enteros son aquellos en los que los valores asignados son establecidos solo para tener una clasificación y los reales son los valores suministrados por la información existente.

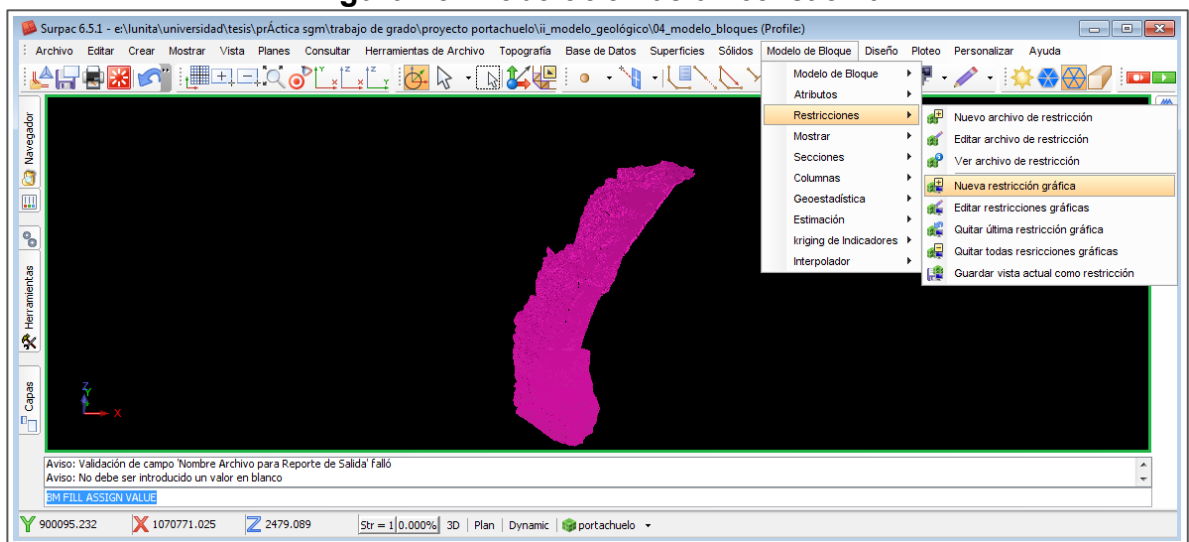
9.3.2 Generación de Constraints: Los atributos creados en el modelo de bloques se hacen con el fin de almacenar toda la información conocida del yacimiento, por lo tanto cada bloque contiene atributos para cada una de las propiedades a ser modeladas, siendo definido por su centroide geométrico o elipsoide y sus dimensiones en cada eje (Ver Figura 59). Todas las funciones del modelo de bloques se desarrollan con restricciones gráficas o llamadas por el Software “Constraints”, de esta forma se logra tener un adecuado manejo en la estimación de la información.

Constraint: Es una combinación de uno o más objetos espaciales en bloques seleccionados. Puede ser guardado en archivos para un rápido re-uso y empleado en otras restricciones gráficas. (Surpac Vision, 2006)

Los principales constraints que se deben crear en la elaboración del presente modelo geológico, son los relacionados a las unidades presentes en el yacimiento: Miembro Superior, Formación Vijes y Grupo Diabásico.

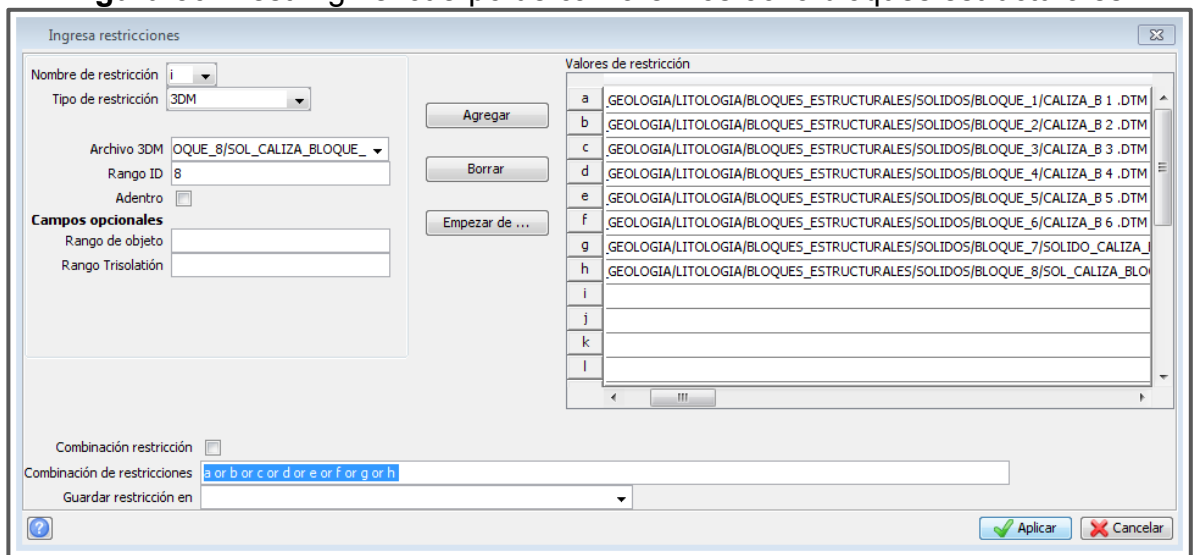
De la Figura 49 a la Figura 52 se muestra los pasos en la elaboración de del constraint del cuerpo de calizas.

Figura 49. Elaboración de un constraint



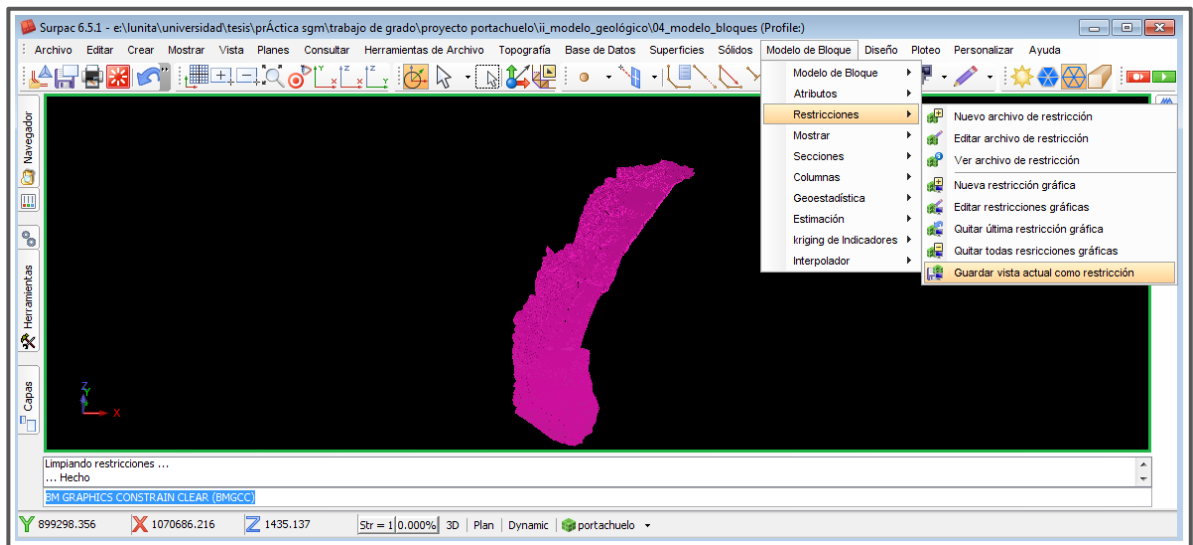
Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

Figura 50. Restringir el cuerpo de caliza en los ocho bloques estructurales



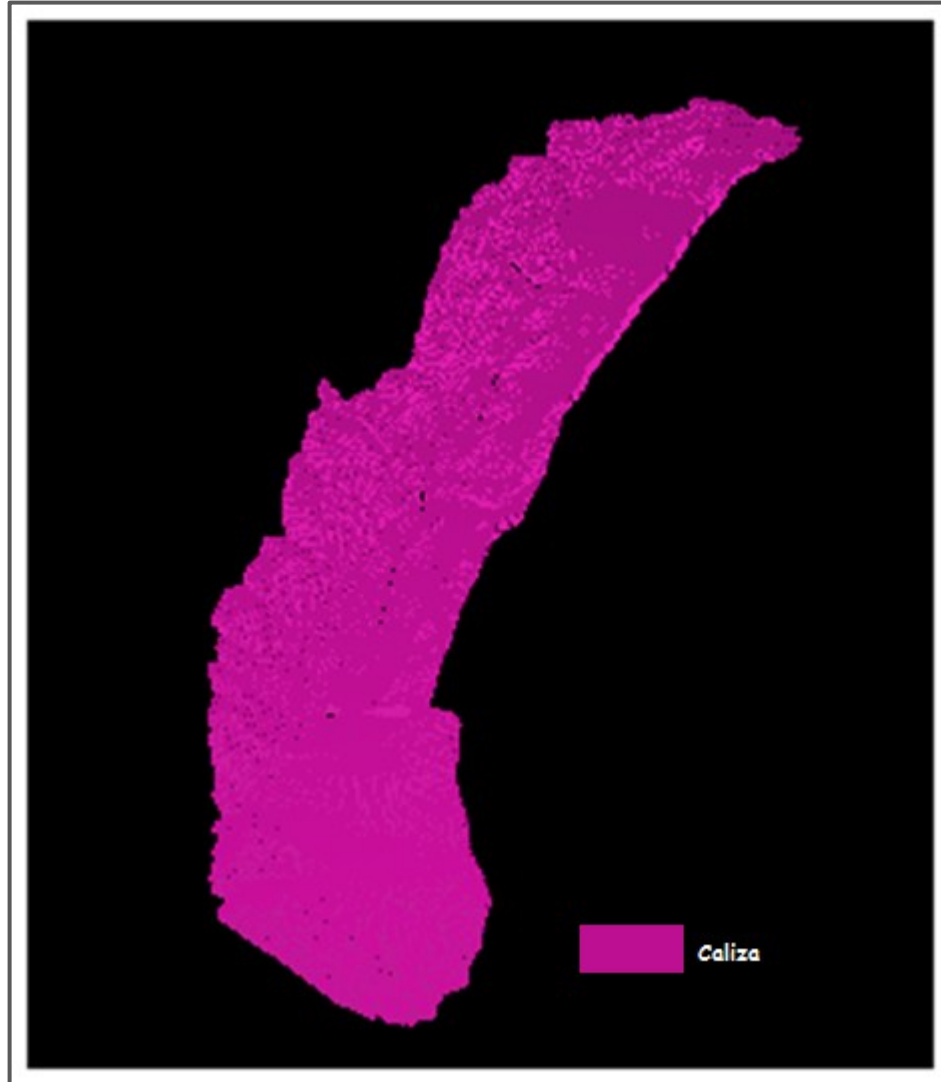
Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

Figura 51. Generar constraint de caliza gráficamente en los ocho bloques estructurales



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

Figura 52. Constraint Caliza

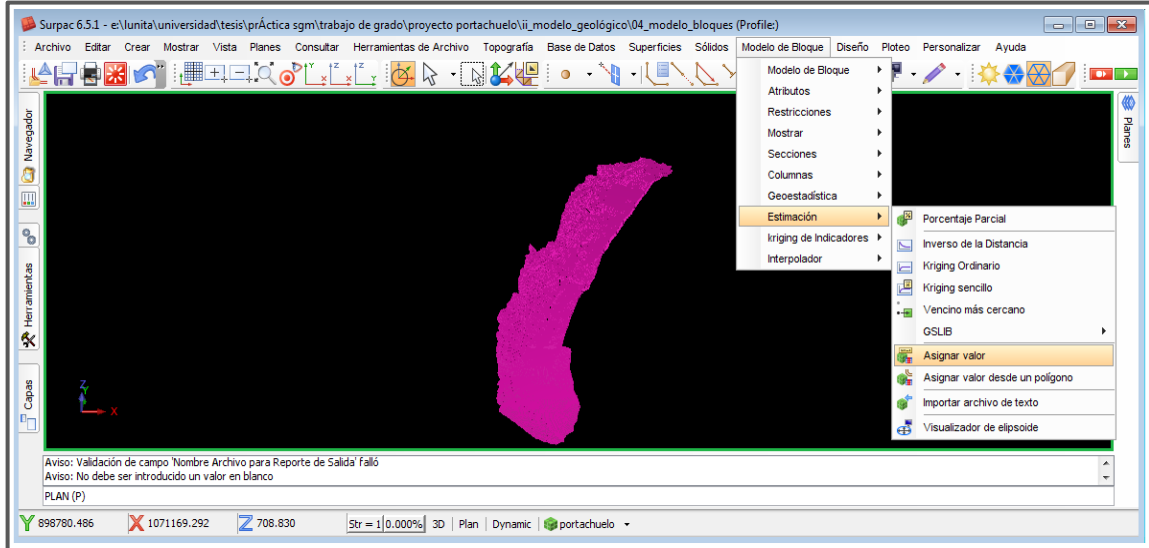


Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

9.3.3 Asignar valores a un atributo: Existen dos formas de asignar valores a los atributos del modelo de bloques, de manera directa o mediante el uso de una técnica de interpolación.

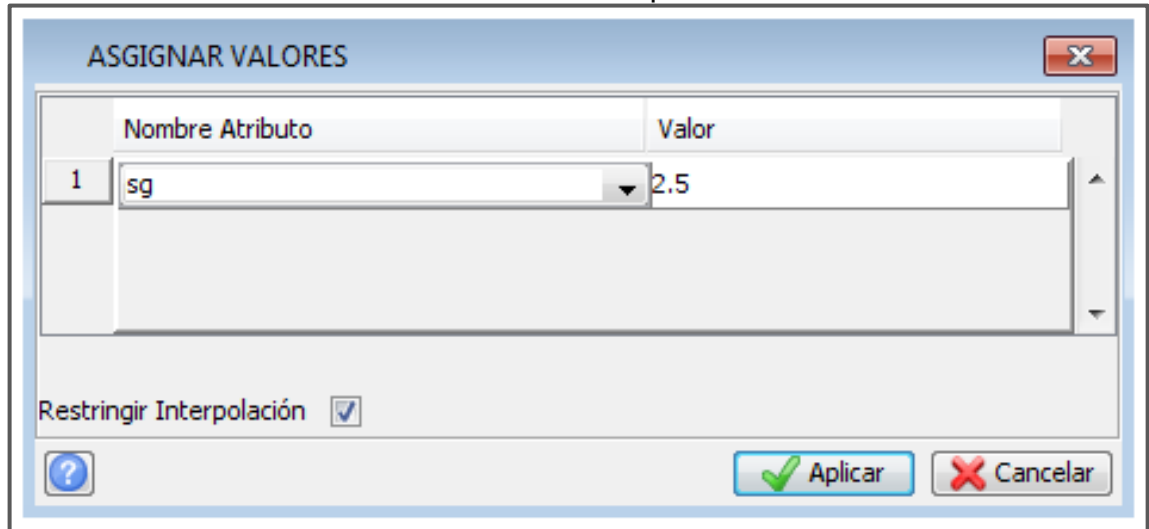
El método directo utiliza los constraints construidos anteriormente y son empleados para asignar valores constantes a un atributo en específico, por ejemplo, en el caso de la densidad de las calizas el valor puede asumirse como constante a lo largo de todo el cuerpo. Ver Figura 53 a la Figura 55.

Figura 53. Estimación de la información para cuerpo de caliza



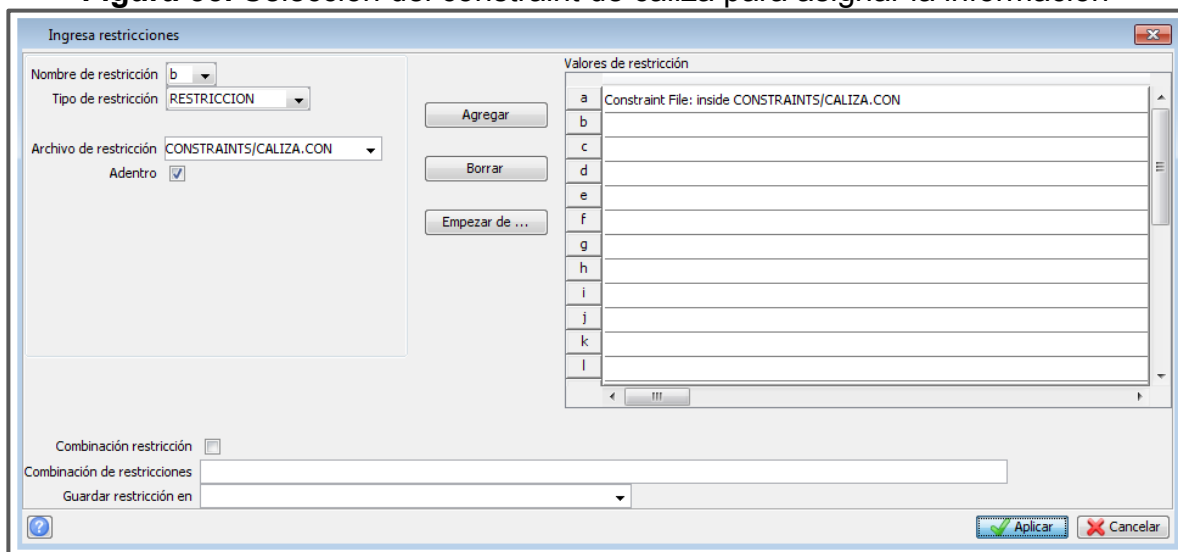
Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

Figura 54. Estimación para único valor: Seleccionar el atributo de interés y asignar el valor de densidad para caliza



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

Figura 55. Selección del constraint de caliza para asignar la información



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

9.4 MODELO DE CALIDAD

Es la representación tridimensional del comportamiento de las variables químicas dentro de un yacimiento, el cual se obtiene al incorporar los datos químicos a los atributos del modelo de bloques.

Estos datos químicos son los correspondientes a los resultados del análisis de laboratorio realizado a las muestras tomadas durante la fase de campo, dentro de los cuales se encuentran CaO, Al₂O₃, Fe₂O₃, SiO₂ y CaCO₃ (El CaCO₃ es calculado a partir del producto de CaO*1.35). Los resultados adquiridos por los análisis físicos que se incorporan al modelo de calidad son la sanidad, el desgaste y la densidad.

Los parámetros anteriores son de gran interés para el trabajo en curso, debido a que su estudio se realiza para determinar su empleo en la industria del cemento y concreto. Para poder explotarlos enfocados hacia estas industrias cada uno de ellos debe cumplir con un mínimo de calidad, el cual ha sido mencionado con anterioridad.

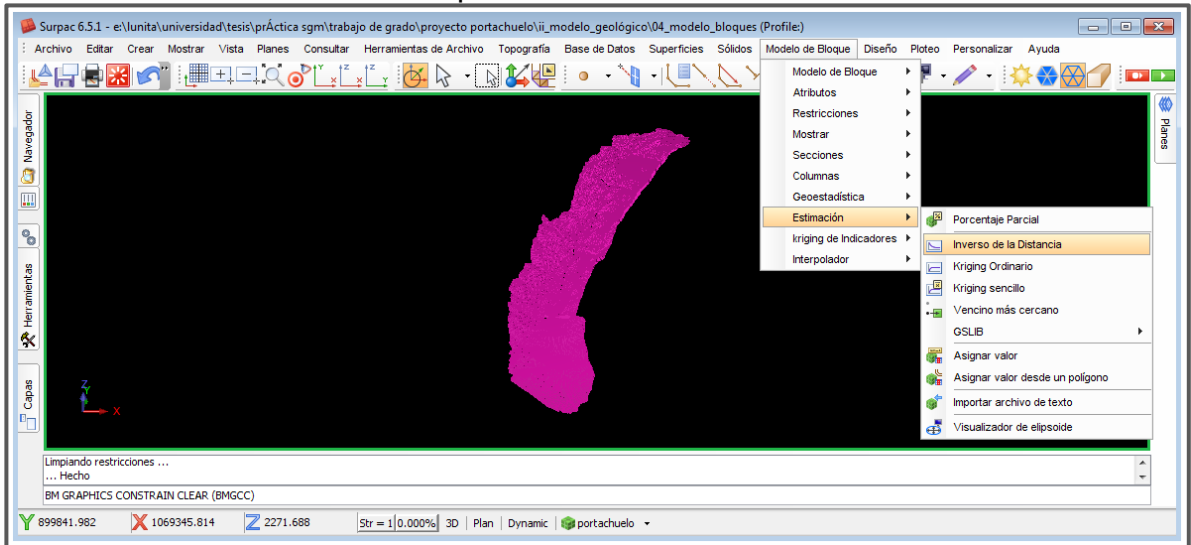
9.4.1 Estimación de la Información: Como se mencionó previamente, se puede incluir la información al modelo por medio de una estimación utilizando un interpolador, el cual busca calcular con valores conocidos, los valores que no se conocen por medio de algoritmos concretos. De este modo la información puntual de algunos sectores queda completamente distribuida. Entre las técnicas de interpolación más conocidas se encuentran las siguientes:

- **EL INVERSO DE LA DISTANCIA:** Estima toda la información asignando valores de peso a los datos, usando el estimador en función inversa a la distancia que los separa del punto en cuestión.
- **EL VECINO MAS CERCANO:** Este método es muy básico y sencillo en el momento de utilizarlo, ya que esta asigna el valor de la muestra puntual más cercana al bloque.
- **KRIGING ORDINARIO:** Asigna valores al bloque usando Kriging con parámetros de un variograma desarrollados en un estudio Geoestadístico. (Surpac Vision, 2006)
- **KRIGING INDICADOR:** Funciones involucradas con una distribución probabilística de la ley del bloque obtenida desde el Kriging de los indicadores.(Surpac Vision, 2006)

En este caso la estimación de las calizas, las arenas y las rocas volcánicas debe ser llevada a cabo mediante el método de interpolación del inverso de la distancia, ya que debido a la dispersión de los datos y a la poca cantidad no se puede realizar un análisis geoestadístico para emplear otra técnica.

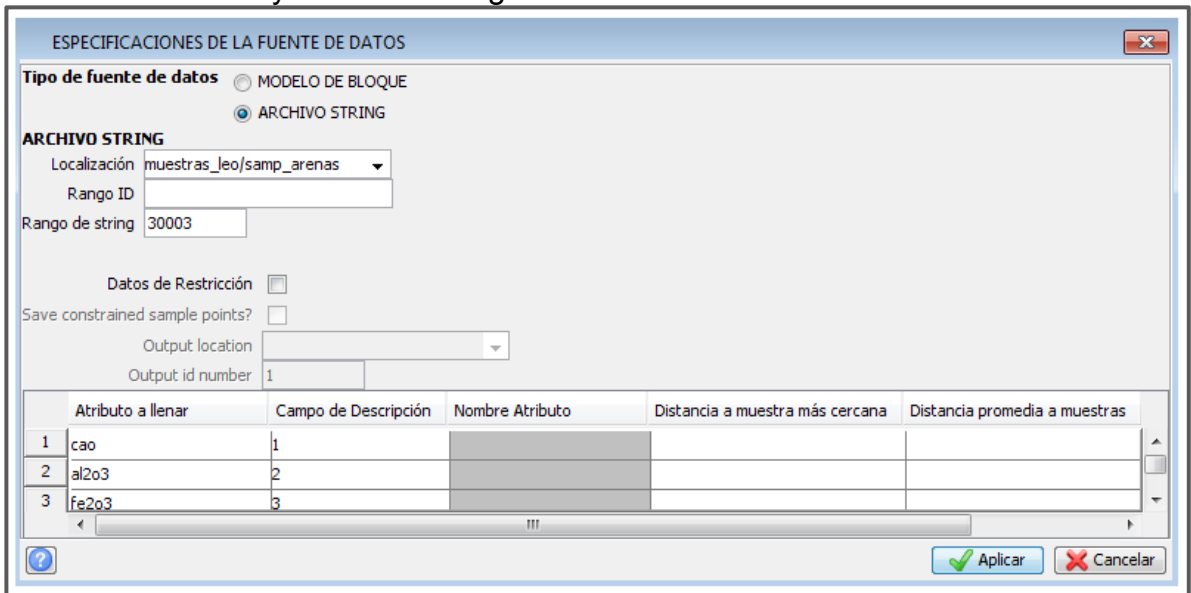
La información perteneciente a las arenas del Miembro Superior es estimada como se puede observar de la Figura 56 a la Figura 61.

Figura 56. Estimación de la información para el cuerpo de arenas mediante el método de interpolación del inverso de la distancia



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

Figura 57. Especificación de los atributos a los que se les desea asignar información y archivo de origen en el cual se encuentra la información



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

En las especificaciones de la fuente de datos se establecen todos los atributos de interés en la estimación del cuerpo de arenas.

Figura 58. Valores para parámetros de búsqueda del elipsoide

PARAMETROS DE BUSQUEDA

Tipo de Búsqueda Elipsoide Octante

Número mínimo de muestras a seleccionar 3

Número máximo de muestras a seleccionar 15

Radio máximo de selección 500

Distancia de búsqueda vertical máxima 9999

Restringir por barreno?

Campo Descrip. D2D2

Máximo número de muestras por barreno 15

Search Ellipsoid Specifications

Orientación de Elipsoide

Acimut 0

Echado de eje mayor 0

Echado 0

Factores de Anisotropía

mayor / semi-mayor 1

mayor / menor 1

Rotación Surpac ZXY LRL

Z X Y X Y Z

I A I A I A

Visualizador de Elipsoide

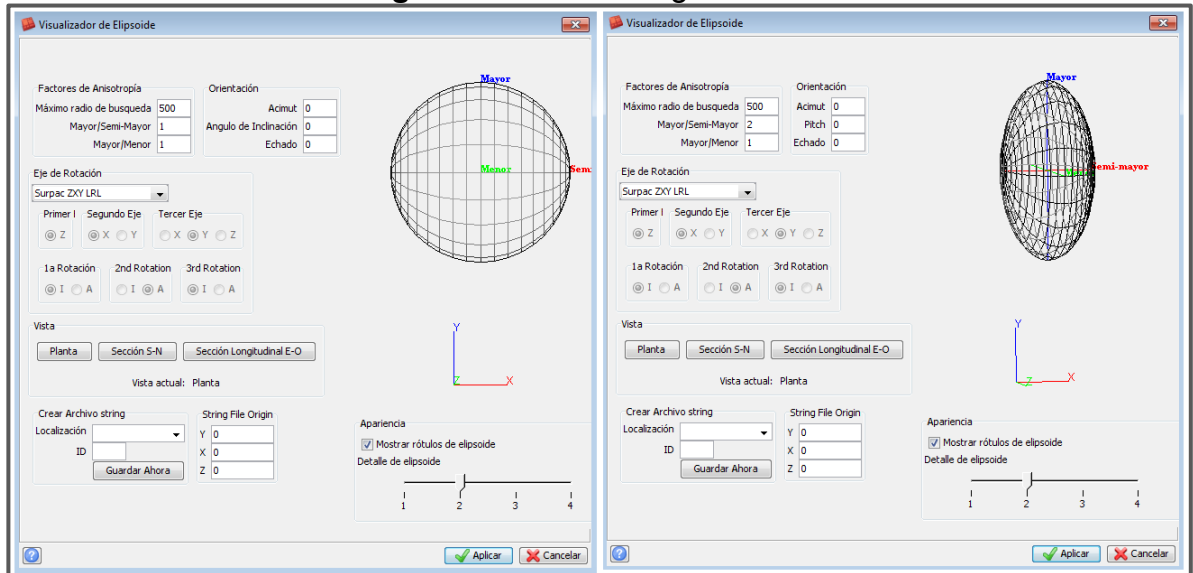
Aplicar Cancelar

Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

El radio máximo de selección solicitado por el Software hace referencia al radio de posible certeza ofrecida por la información de las muestras, en este caso se establece de 500 metros, para asegurarnos que toda la superficie perteneciente al Miembro Superior quede estimada.

En la opción visualizar elipsoide se modifican los datos del centroide, el cual debe ser orientado en la dirección donde haya un alto grado en la correlación química de las muestras.

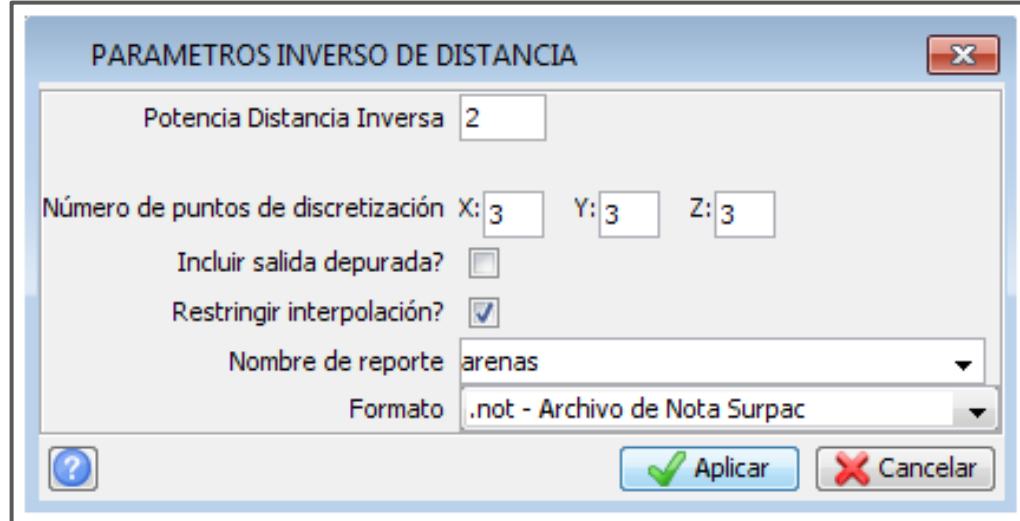
Figura 59. Centroide geométrico



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

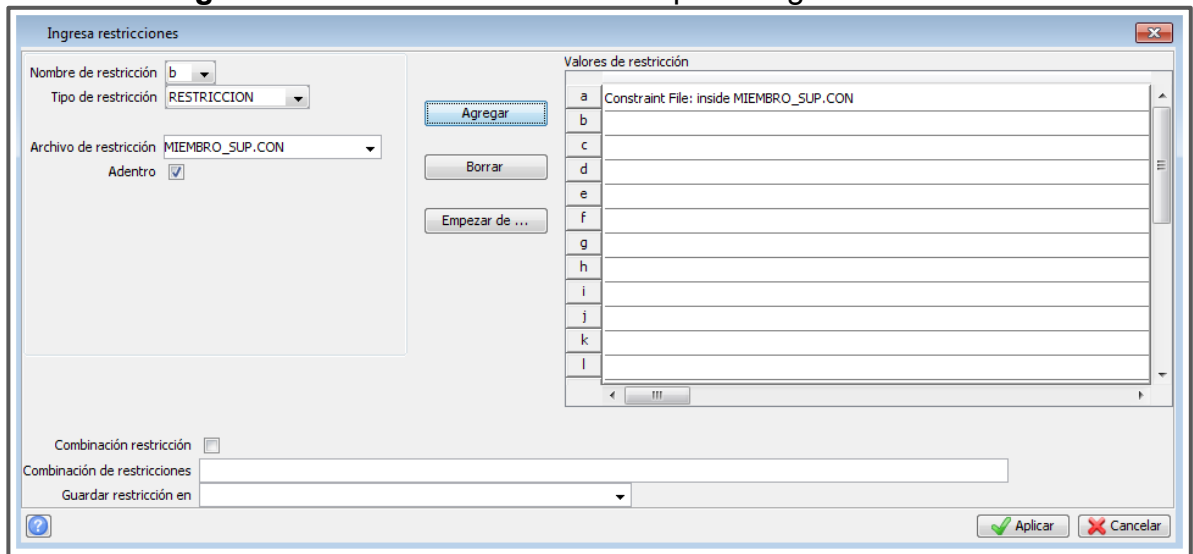
Los ejes semi-mayor y mayor del elipsoide que define los atributos para las propiedades a modelar, para este caso se establecen en 1, aunque esta información puede ser modificada dependiendo de las características del yacimiento. En la Figura 59 se observa el cambio en los ejes del elipsoide, siendo el eje semi-mayor el doble del eje mayor. Al aceptar la información almacenada anteriormente, se genera un reporte del inverso de la distancia (Ver Figura 60), Por último se estipula el constraint en el cual se va realizar la estimación. (Ver Figura 61)

Figura 60. Reporte del inverso de distancia



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

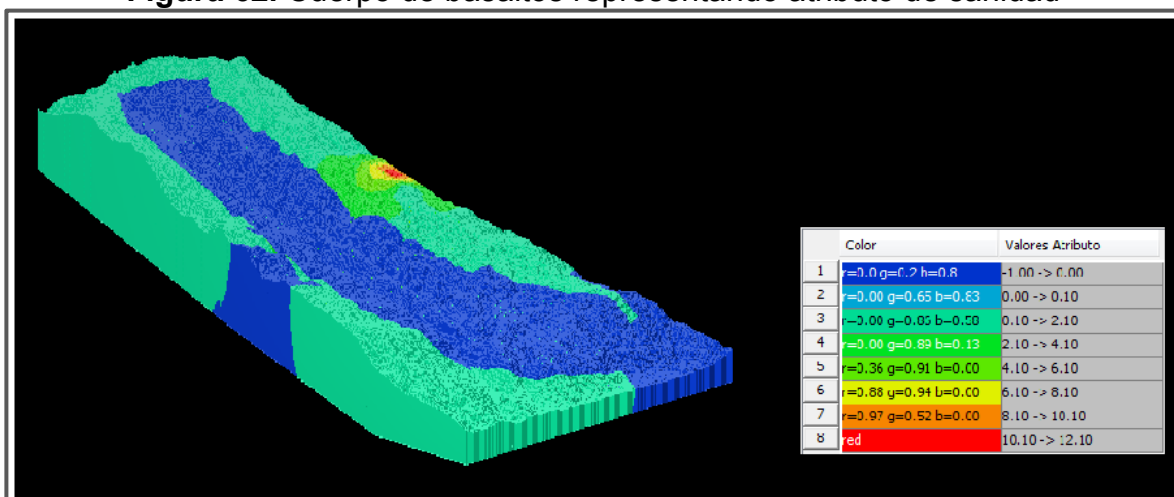
Figura 61. Selección del constraint para asignar información



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

La estimación de la información de las rocas volcánicas se debe llevar a cabo como se mostró anteriormente, teniendo en cuenta que los atributos de interés son la sanidad, el desgaste y la densidad. En la Figura 62 se puede observar la sanidad en los basaltos, en donde el color azul corresponde a zonas no estimadas.

Figura 62. Cuerpo de basaltos representando atributo de sanidad



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

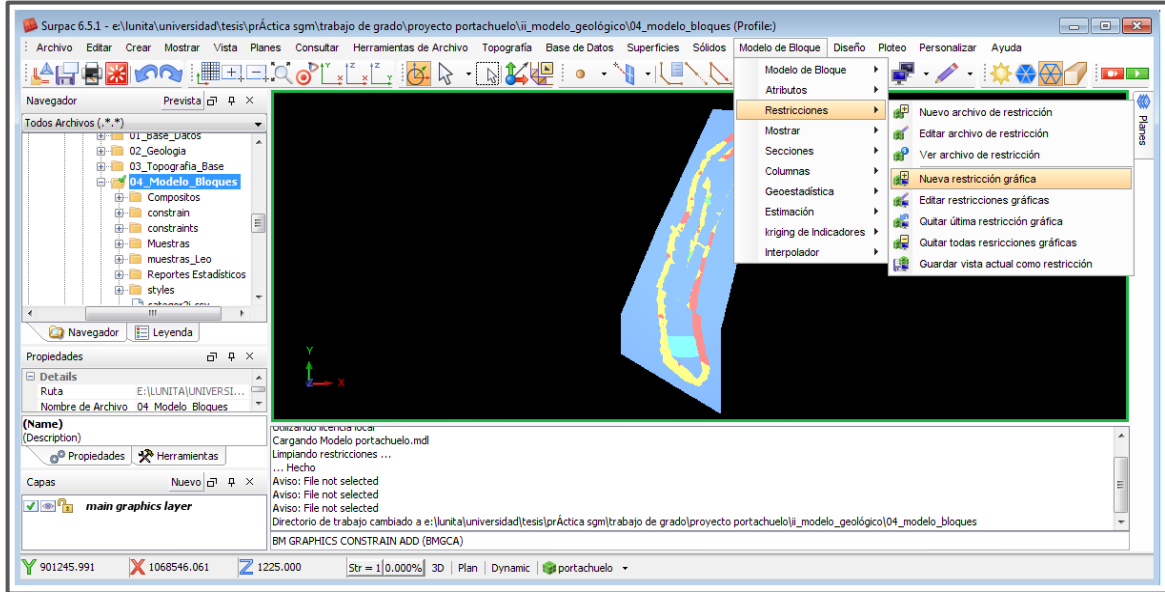
9.4.2 Categorización de Recursos: Antes de iniciar, se debe establecer cuál es la unidad de interés para realizar la categorización de los recursos. Como se mencionó anteriormente, en este caso, la unidad de interés corresponde a las calizas de la formación Vijes, ya que para este proyecto se requiere conocer toda la información que el modelo geológico nos pueda suministrar respecto a ella. Como se mencionaba anteriormente las calizas pertenecientes a la formación Vijes son el material de interés en el tema de la categorización, para ello, se debe estimar tres veces el cuerpo de la caliza en los ocho bloques estructurales (Ver Figura 56 a la Figura 61), teniendo en cuenta los diferentes radios de interés (en este caso corresponden a los que determinan la categorización de recursos: recursos medidos, 150 m; recursos indicados, 300 m y recursos inferidos, 450 m) y el ingreso de las restricciones de las áreas estimadas previamente (Radio de 150, estimar todo el cuerpo de caliza; Radio 300, estimar la caliza pero restringir los recursos medidos; Radio 450, estimar el cuerpo de caliza pero restringiendo los recursos medidos y los indicados) . Mediante restricciones de la información para el atributo CaO estimado anteriormente se determinan los recursos medidos, indicados e inferidos (Ver Figura 64, Figura 66 y Figura 68). Estas categorías se

establecen a partir de los radios designados para definir niveles de confianza en la información suministrada por las muestras.

➤ Recursos Medidos: Son los recursos con mayor nivel de confianza. Se basa en la exploración detallada y en la información confiable sobre las muestras. El radio que se asigna no debe ser muy grande para garantizar la suficiente cercanía entre la información de las muestras y poder precisar la continuidad geológica. En el caso de la categorización en curso, el radio se estableció en 150 metros.

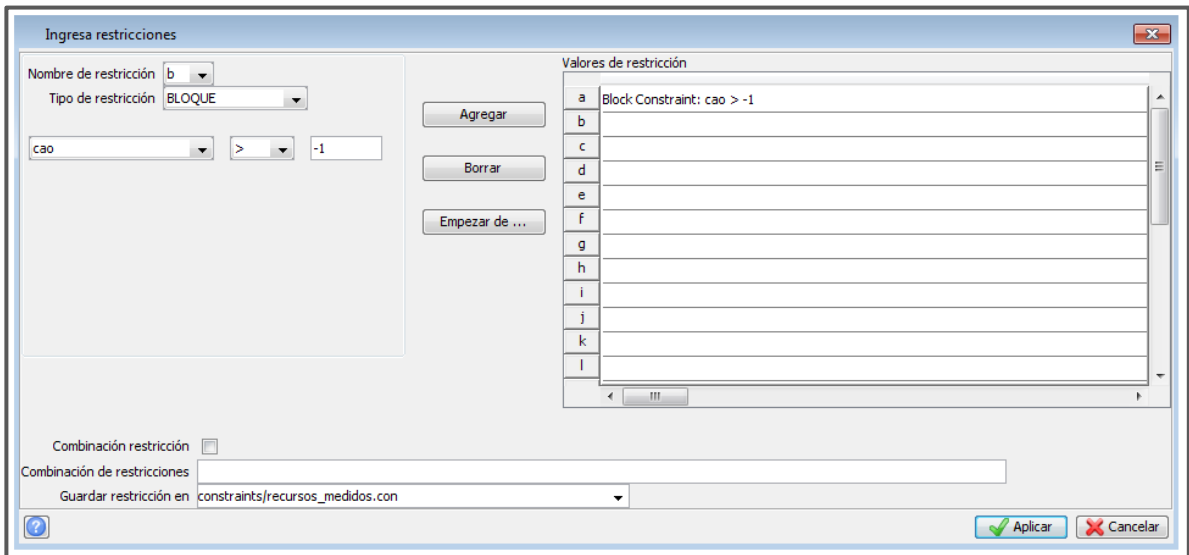
Partiendo del hecho que el cuerpo de caliza se encuentra ya estimado como se mencionó anteriormente con un radio de 150 metros, se lleva a cabo la categorización de los recursos medidos. El procedimiento que se debe seguir para generar la categorización de los recursos se muestra en la Figura 63 y Figura 64, en donde el atributo de interés para realizar la restricción en todos los casos es el CaO. En el caso de los recursos medidos sólo se restringe la información al CaO presente en las calizas. La restricción seleccionada se debe guardar como se muestra en la parte inferior de la Figura 64, para así tener el constraint de los recursos medidos (Ver Figura 65). Este mismo procedimiento se debe llevar a cabo para los recursos indicados e inferidos.

Figura 63. Generación Categoría de Recursos Medidos



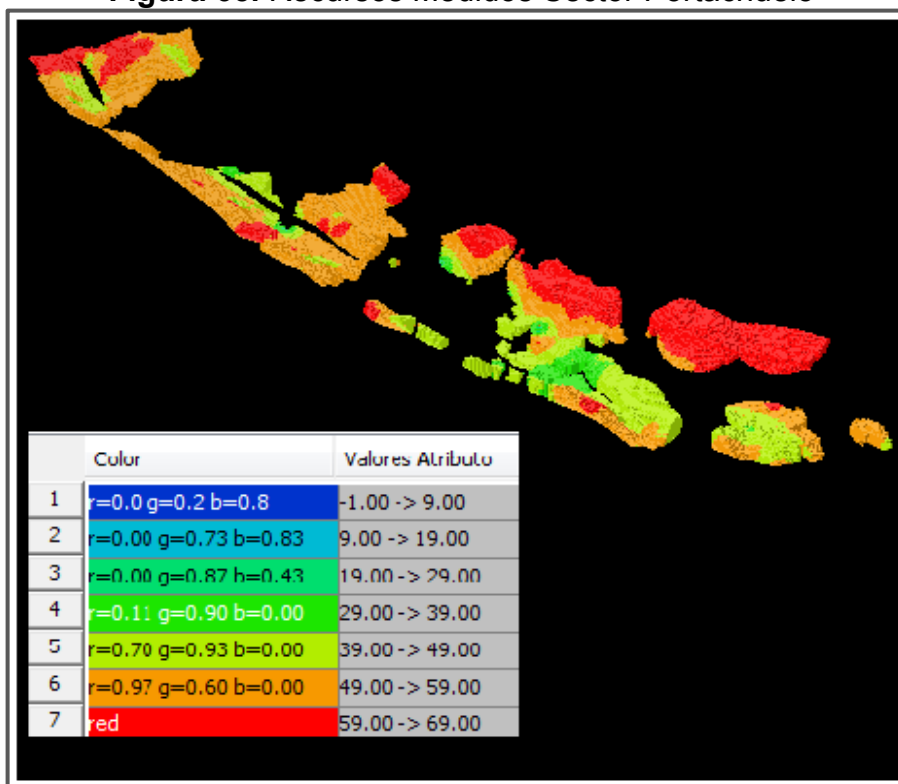
Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

Figura 64. Restricción de la información estimada del CaO para categorizar Recursos Medidos



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

Figura 65. Recursos Medidos Sector Portachuelo

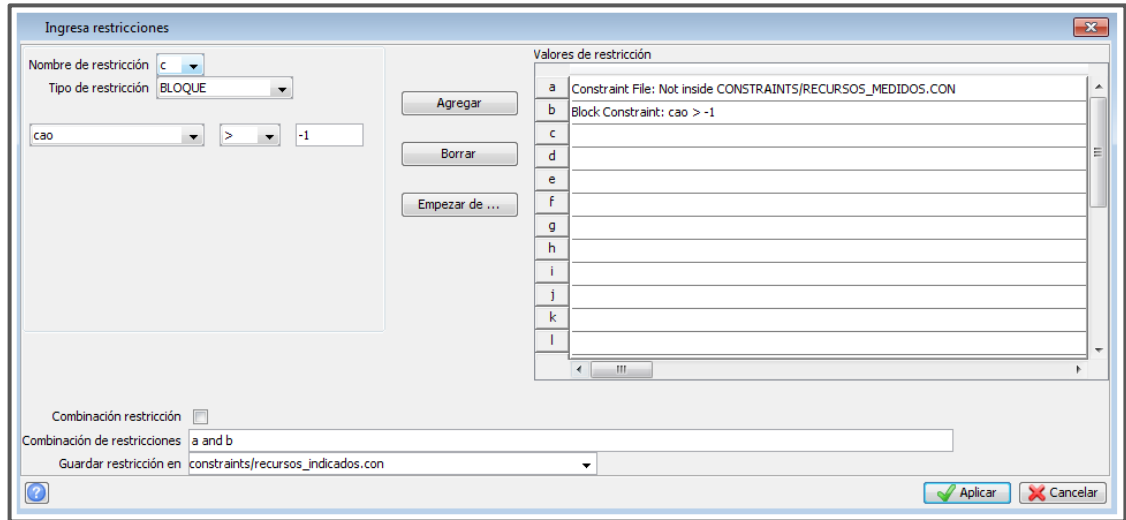


Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

➤ Recursos Indicados: Son los recursos minerales que suministran un nivel razonable de confianza en su información. Se basa en la exploración detallada y en la información confiable sobre las muestras. El radio que se asigna es inapropiado para garantizar la continuidad geológica. En este caso, el radio se estableció en 300 metros.

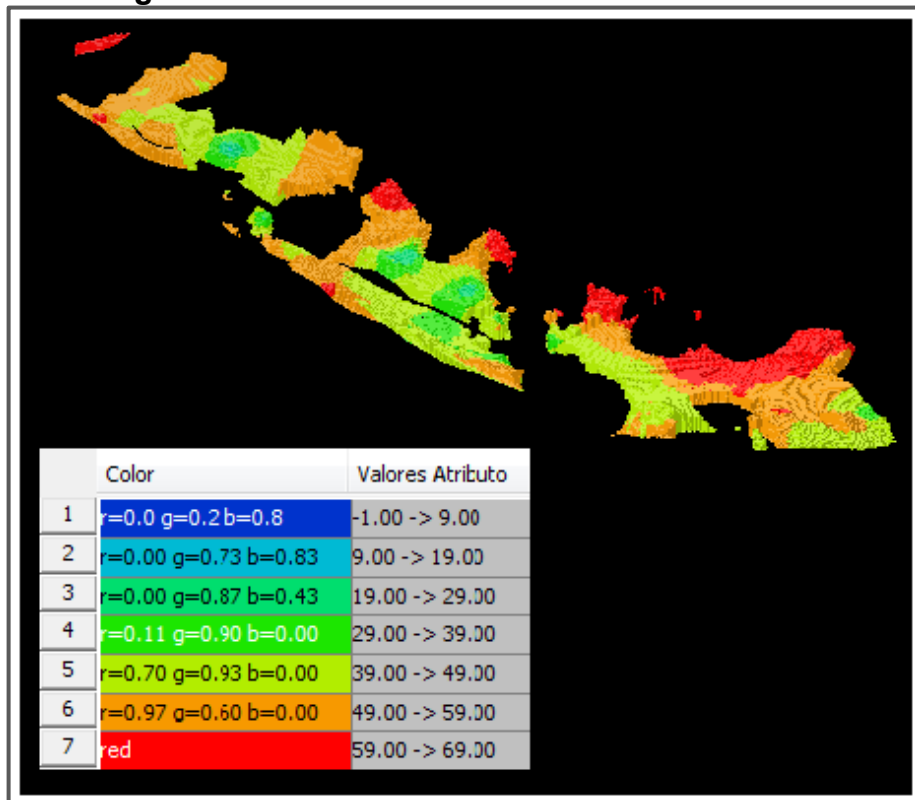
Estos recursos se hallan como se mencionó anteriormente, teniendo en cuenta que para este caso la información se restringe al CaO que se encuentre dentro del radio estipulado pero sin tener en cuenta las zonas donde ya se categorizó los recursos medidos. Ver Figura 66 y Figura 67.

Figura 66. Restricción de la información estimada del CaO para Recursos Indicados



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

Figura 67. Recursos Indicados Sector Portachuelo



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

➤ Recursos Inferidos: Son los recursos que proporcionan un bajo nivel de confianza. Se basa en información inferida, dentro de un radio estimado de mayor alcance superficial, razón por la cual, se asume pero no se certifica la continuidad geológica. Este radio es establecido en 450 metros.

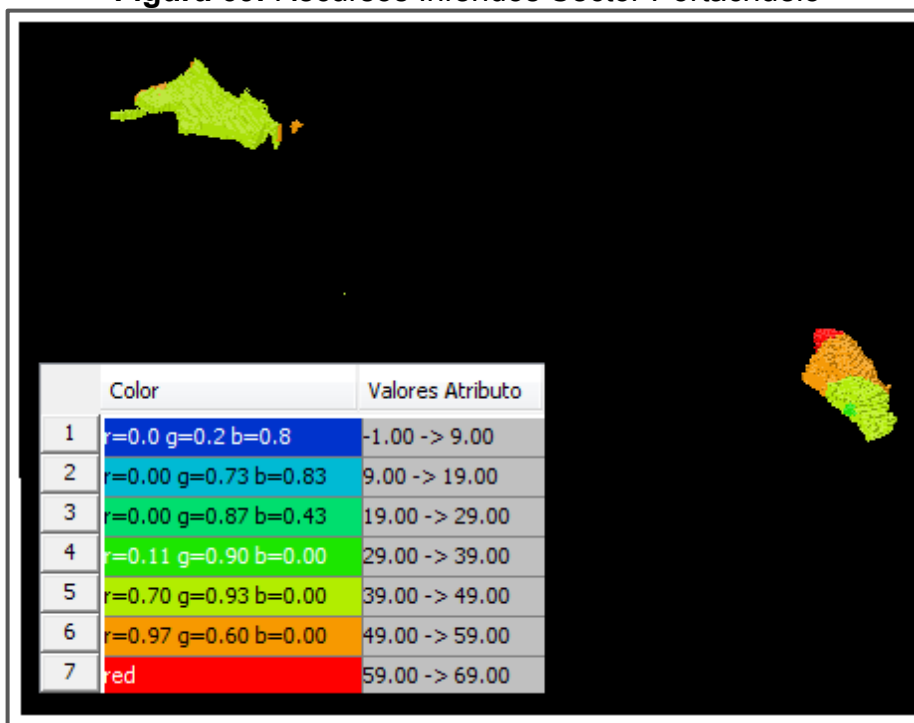
Esta categorización se halla del mismo modo que las categorizaciones anteriores, pero se debe tener en cuenta que para este caso la información se restringe al CaO que se encuentre dentro del radio estipulado pero sin tener en cuenta las zonas donde ya se categorizó los recursos medidos y los recursos indicados. Ver Figura 68 y Figura 69.

Figura 68. Restricción de la información estimada del CaO para Recursos Inferidos

Valores de restricción	
a	Constraint File: inside CONSTRAINTS/CALIZA.CON
b	Constraint File: Not inside CONSTRAINTS/RECURSOS_MEDIDOS.CON
c	Constraint File: Not inside CONSTRAINTS/RECURSOS_INDICADOS.CON
d	Block Constraint: cao > -1
e	
f	
g	
h	
i	
j	
k	
l	

Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

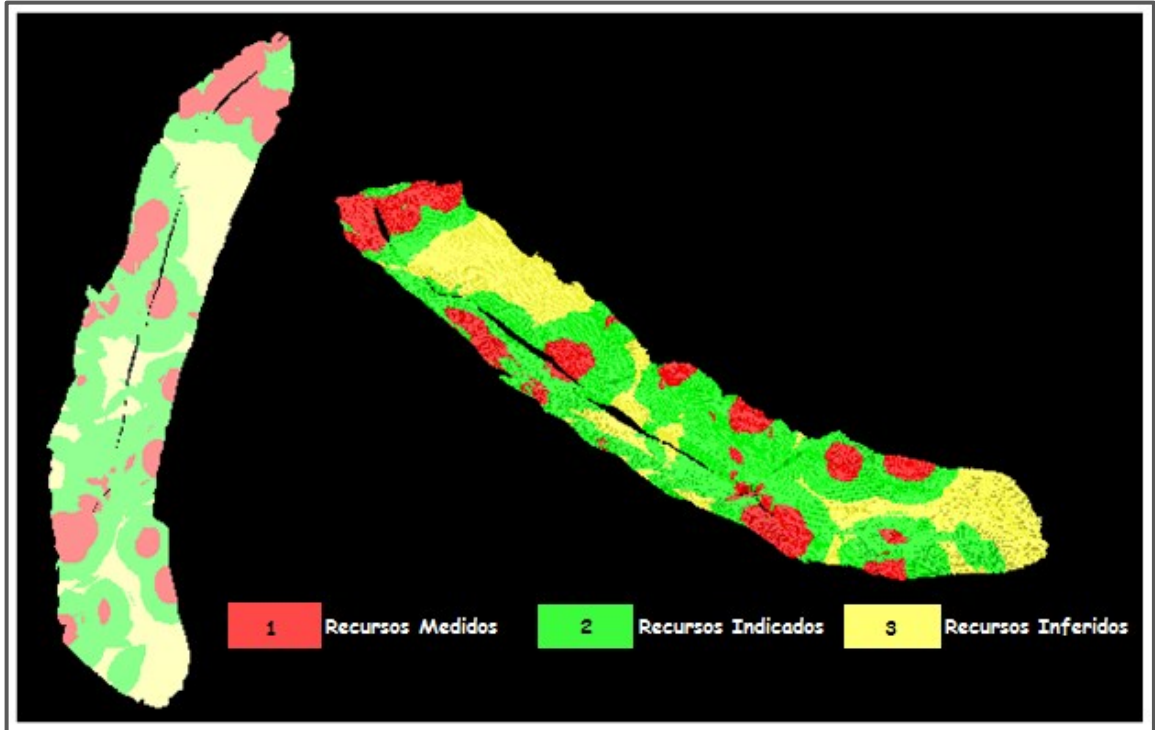
Figura 69. Recursos Inferidos Sector Portachuelo



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

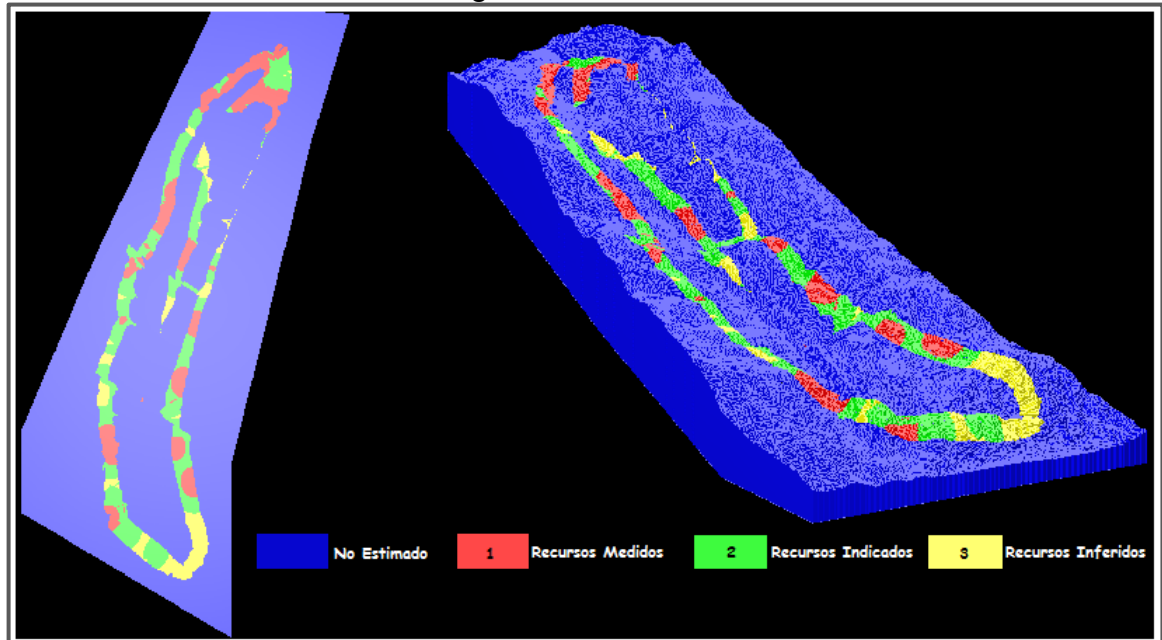
La Figura 70 y la Figura 71 muestran la categorización de los recursos estimados para la zona de interés, en donde el color rojo hace referencia a los Recursos Medidos, el verde a los Recursos Indicados y el amarillo a los Recursos Inferidos.

Figura 70. Categorización de recursos Sector Portachuelo



Tomado de Soluciones en Geología y Minería S.A.S

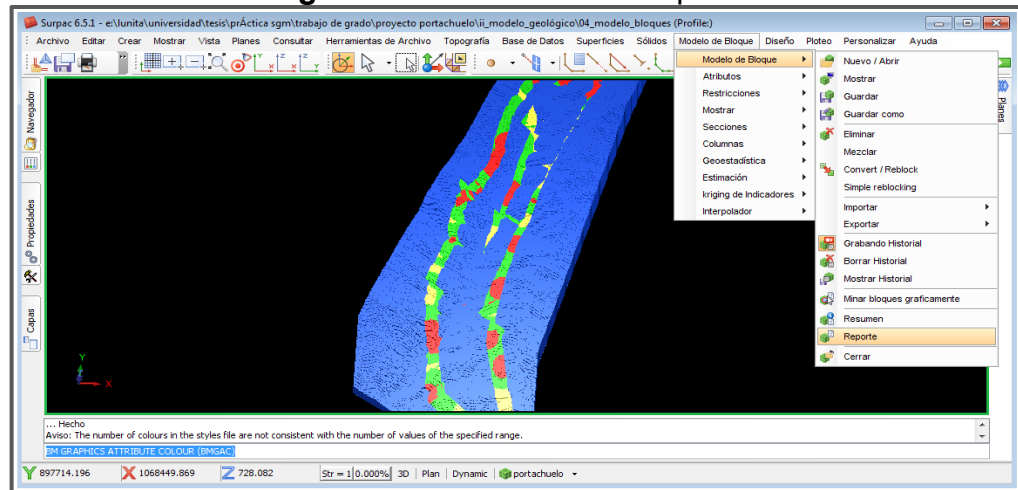
Figura 71. Modelo geológico tridimensional del sector portachuelo representando la categorización de recursos



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

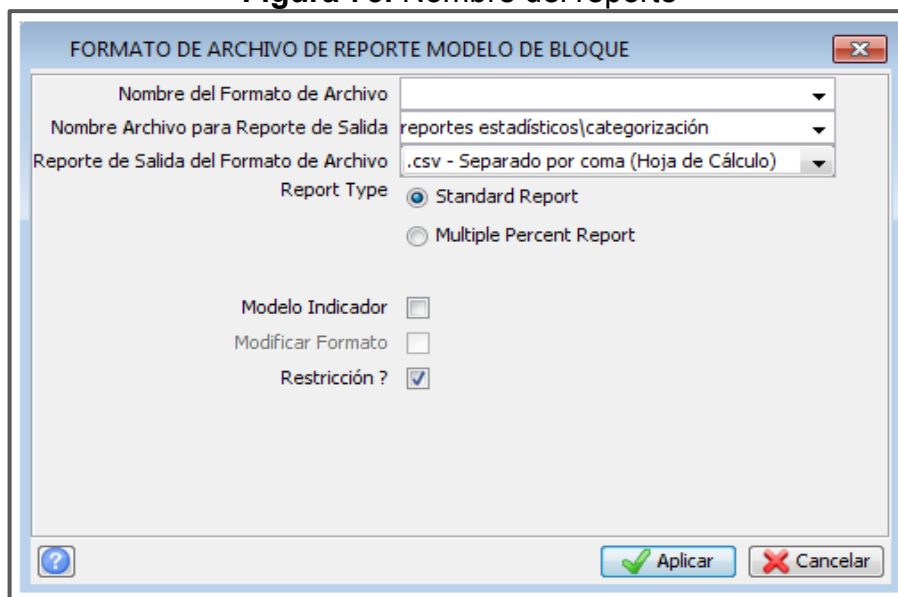
9.4.3 Reporte Categorización de Recursos: Para finalizar se genera el reporte con la información de la categorización de los recursos, en el cual se encuentra el volumen, las toneladas y los atributos químicos separados por bloques estructurales. Su generación se observa de la Figura 72 a la Figura 74.

Figura 72. Generación de reportes



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

Figura 73. Nombre del reporte



Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

Figura 74. Parámetros para el reporte con la información de los atributos deseados

Reporte de Modelo de Bloques

Descripción

Formatear títulos?
 Quitar líneas con volúmen cero?
 Decimales de volumen y tonelaje 0 decimales

Atributos	Mostrar?	Corte inferior	Corte superior	Ponderar	Reporte	Expresión
a cao	<input checked="" type="checkbox"/>			Volumen	Promedio	
b al2o3	<input checked="" type="checkbox"/>			Volumen	Promedio	
c fe2o3	<input checked="" type="checkbox"/>			Volumen	Promedio	
d sio2	<input checked="" type="checkbox"/>			Volumen	Promedio	

Ajustamiento de volumen
 Usar ajuste de volumen?
 Atributo al2o3

Agrupamiento geométrico
 Agrupamiento geométrico Ninguno

Ajuste de densidad
 Ninguno
 Atributo sg
 Valor

Atributos de agrupamiento	Rango numérico
1 categoria	Integer atts will be defined later
2 bloque_estructural	Integer atts will be defined later

Fill all cells for the group attribute?
 Pivot compatible?

Usar porcentaje parcial?
 Precisión 3
 Attribute to store partial percentage values

Aplicar Cancelar

Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

10 RESULTADOS DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA

El resultado obtenido del reporte suministrado por Surpac para la categorización de recursos es el observado en la Tabla 8.

Tabla 8. Reporte generado por el Software Surpac para la categorización de recursos

Categoría	Bloque Estructural	Volumen	Toneladas	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂
1	1	3,198,188	7,995,469	55.8	2.8	3.1	15.8
	2	1,941,438	4,853,594	46.7	4.7	5.3	25.4
	3	1,559,313	3,898,281	60.1	1.4	1.2	12.6
	4	471,375	1,178,438	52.0	3.1	3.1	21.3
	5	1,096,438	2,741,094	56.4	2.2	3.0	15.3
	6	2,657,500	6,643,744	55.8	2.2	2.4	16.0
	7	2,687,375	6,718,438	58.4	2.1	1.8	13.5
	8	1,816,000	4,540,000	54.6	2.1	2.3	19.2
Sub Total		15,427,625	38,569,056	55.3	2.5	2.7	16.8
2	1	14,631,563	36,578,906	52.2	3.3	3.6	20.6
	2	2,486,063	6,215,156	43.1	5.4	6.1	29.9
	3	9,296,438	23,241,094	50.7	3.5	2.1	25.1
	4	8,275,563	20,688,906	45.2	4.9	4.8	28.8
	5	4,479,438	11,198,594	52.2	2.9	3.3	20.9
	6	4,801,625	12,004,063	52.4	2.8	3.0	20.9
	7	2,139,688	5,349,219	56.0	2.2	2.1	16.7
	8	1,387,500	3,468,750	53.0	2.2	2.4	21.4
Sub Total		47,497,875	118,744,688	50.4	3.6	3.5	23.3
3	1	8,489,063	21,222,656	53.7	2.8	2.8	20.0
	2	326,188	815,469	47.9	4.6	4.9	24.3
	3	1,535,000	3,837,500	40.1	5.7	2.8	40.2
	4	2,793,500	6,983,750	43.7	5.3	4.9	31.1
	5	3,429,563	8,573,906	45.0	4.5	4.6	29.0
	6	3,813	9,531	49.6	3.4	3.4	24.0

Categoría	Bloque Estructural	Volumen	Toneladas	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂
	7	3,347,188	8,367,969	48.0	3.6	3.5	26.6
	8	282,188	705,469	51.6	2.7	3.0	21.9
Sub Total		20,206,500	50,516,250	48.8	3.8	3.5	25.8
Gran Total		83,132,500	207,831,244	50.9	3.4	3.3	22.7

Tomado de: Soluciones en Geología y Minería S.A.S

En donde categoría se refiere al tipo de recursos:

- Categoría 1: Recursos Medidos
- Categoría 2: Recursos Indicados
- Categoría 3: Recursos Inferidos.

Las muestras volcánicas son de interés, pero teniendo en cuenta el hecho que la cantidad de muestras es muy baja, no se puede realizar categorización, pues el nivel de confianza en la información es muy bajo y este recurso sería calificado como un recurso inferido.

11 CONCLUSIONES

- El modelo geológico tridimensional del yacimiento del Sector Portachuelo se realizó empleando el Software Surpac y muestra de una forma muy cercana a la realidad la geometría del depósito, permitiendo incrementar el conocimiento de la disposición estructural de las diferentes litologías presentes en el yacimiento.
- La unidad geológica modelada de mayor interés es la correspondiente al cuerpo de calizas pertenecientes a la Formación Vijes, ya que este es el material requerido en la elaboración del cemento y su contenido de CaCO_3 varía del 57.13% al 87.3% cumpliendo con los valores de calidad requeridos para su fabricación. Además la cantidad de muestras e información obtenida durante el estudio geológico de la zona fue mayor para esta unidad, brindando un mayor nivel de confianza en el modelo y en el cálculo de los recursos.
- La alta variación entre los valores mínimos y máximos representados en la información de los datos químicos correspondientes a la unidad calcárea observados en CaO (40.1% - 60.1%), SiO_2 (12.6% - 40.2%), Al_2O_3 (1.4% - 5.7%) y Fe_2O_3 (1.2% - 6.1%), implica cambios en la composición a lo largo del yacimiento debido a la variación lateral de las calizas y la contaminación de los cuerpos de arenas dentro del material calcáreo. El promedio para cada uno de los atributos generado por el reporte para el cuerpo de calizas es: CaO de 50.9%, SiO_2 de 22.5%, Al_2O_3 de 3.3%, Fe_2O_3 de 3.3%, y el volumen total de este cuerpo es de 83'132,500 Ton. Estos últimos datos sugieren un alto potencial para el yacimiento.

- La cantidad total de toneladas reportadas por el modelo geológico para la categorización de recursos del cuerpo de calizas presente en el Sector Portachuelo es de 207'831,244 Ton. De los cuales 38'569,056 Ton corresponden a recursos medidos; 118'744,688 Ton. a recursos indicados; y 50'516,250 Ton. a recursos inferidos. Con base a esto se determina que el yacimiento es económicamente viable para ser explotado.

- El modelo de bloques permite determinar con base en el contenido de CaCO_3 , cuales zonas en el yacimiento cumplen con los contenidos mínimos para ser utilizados en la fabricación del cemento y con esto definir la secuencia de explotación.

- El uso de las rocas volcánicas como agregados para la industria del concreto es de carácter preliminar, debido al escaso número de muestras analizado.

12 RECOMENDACIONES

- Para aumentar el nivel de certeza del modelo geológico se requiere realizar una campaña de perforación para controlar los espesores y la continuidad de las unidades.
- Se recomienda hacer un muestreo más detallado en cada una de las unidades geológicas para incrementar el nivel de confianza en la categorización de recursos.
- Estructuralmente la zona es muy compleja debido a que está siendo afectada a nivel local por el sistema de fallas regionales presentes en la región. Por esta razón se hace necesario un estudio estructural detallado, para conocer con mayor precisión las estructuras presentes en el yacimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUIRRE, Luis "Metamorfismo pre-orogénico cretácico y marco geotectónico, cordillera occidental de Colombia (perfil Buga-Buenaventura)," Revista Geológica de Chile, Vol. 16, No. 2, p.123-144. 1989.
- ASTM International, Norma C 88 – 05. Standard test method for soundness of aggregates by use of sodium sulfate or magnesium sulfate.
- ASTM International, Norma C 127 – 07. Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of coarse aggregate.
- ASTM International, Norma C 539 – 09. Standard test method for resistance to degradation of large-size coarse aggregate by abrasion and impact in the Los Angeles machine.
- BLANCO, Freddy. 2009. Cementos/Materias Primas. Consultado el 8 de enero de 2015. <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion9.CEMENTOS.MateriasPrimas.pdf>
- BLANDÓN MONTES, Astrid. "Principios de estratigrafía", Universidad Nacional De Colombia, p.163-208. 2009
- CAMPOS AVELLA, Juan Carlos, et al. "Ahorro de energía en la industria del cemento," Universidad Del Atlántico-Universidad Autónoma De Occidente, Colombia. p.5-12. 2011
- CONASFALTOS "Introducción a los agregados pétreos", Conasfaltos S.A, Medellín. 2010

- LÓPEZ CARDONA, Myriam Carlota. Análisis de deformación tectónica en el piedemonte de las cordilleras central y occidental Valle del Cauca, Colombia-Contribuciones Paleosísmicas. 2006.
- MESA, C. 2014. Modelado de yacimiento. Consultado el 23 de Noviembre de 2014. [http://es.scribd.com/doc/244048858/37646134-MODELADO-DE-YACIMIENTO-pdf#scribd.](http://es.scribd.com/doc/244048858/37646134-MODELADO-DE-YACIMIENTO-pdf#scribd) pp. 02.
- NAVARRO, S. 2008. Elaboración del cemento. Consultado el 14 de Noviembre de 2014. <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/09/def-y-elaboracion-cemento.pdf>. pp. 7-14
- NIVIA GUEVARA, Alvaro. "Mapa geológico del departamento del cauca," Instituto De Investigación E Información Geocientífica, Minero-Ambiental Y Nuclear Ingeominas, Colombia. 2001. pp. 16-95. 2001.
- SURPAC VISION, 2006 "Manual de surpac básico," Chile.
- TOMÁS, Roberto, et al. Diseño de un modelo geológico-geotécnico 3d de la vega baja del río segura (alicante, se españa). XVI Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Pp. 02. 2004.