



**ELABORACIÓN DE MODELO GEOLÓGICO Y DE BLOQUES PARA EL CÁLCULO
DE RECURSOS DE ARENA SILÍCEA DEL TÍTULO MINERO 14537
PERTENECIENTE A CEMENTOS ARGOS, ADSCRITO A PLANTA NARE.**

SANTIAGO JOSÉ HOYOS RODRÍGUEZ

Universidad de Caldas

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Programa de Geología

Manizales, Colombia

2023

**ELABORACIÓN DE MODELO GEOLÓGICO Y DE BLOQUES PARA EL CÁLCULO
DE RECURSOS DE ARENA SILÍCEA DEL TÍTULO MINERO 14537
PERTENECIENTE A CEMENTOS ARGOS, ADSCRITO A PLANTA NARE.**

SANTIAGO JOSÉ HOYOS RODRÍGUEZ

Cod: 601722651 - 16488

Trabajo de grado modalidad pasantía como requisito para optar el título

De:

GEÓLOGO

Director:

M. Sc. DIEGO GERMÁN LOAIZA GARCÍA

Codirector(a):

Ing. STEPHANIE GONZALEZ ACOSTA

Universidad de Caldas

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Programa de Geología

Manizales, Colombia

2023

Agradecimientos.

A mis padres, abuelos y hermano, por todo el apoyo que me dieron en los momentos difíciles y alegres que tuve en esta etapa, por la paciencia y amor incondicional que tuvieron, por enseñarme a creer en mí y nunca rendirme. Especialmente agradezco a mi madre por nunca dejarme solo y apoyarme de la mejor manera en todas las decisiones que tomé, por guiarme siempre por el camino de la vida académica y darme la oportunidad de formarme como profesional. A mi abuela por siempre velar por mi bienestar y el de mis compañeros de hogar, por estar siempre para mí y compartirme siempre de manera incondicional lo que estuvo a su alcance.

A mis compañeros de universidad, que se convirtieron en mi segunda familia mientras estuve fuera de casa, especialmente a Felipe y a Juan Diego, por los momentos gratos que cosechamos, la buena amistad que hicimos y el apoyo que tuvimos. Agradezco a mi amiga Laura Sofia por su compañía y ayuda incondicional al llegar a la ciudad, por acogerme en su hogar y estar para mí siempre.

A Cementos Argos y su personal, que me abrió sus puertas y me dio la oportunidad de culminar esta gran etapa en su operación, por el crecimiento personal y laboral que me brindaron, en especial a Stephanie por su paciencia y disposición a la hora de enseñarme, a cada una de las personas que me acogieron en la Planta y en La Sierra y al grupo de practicantes por los momentos vividos.

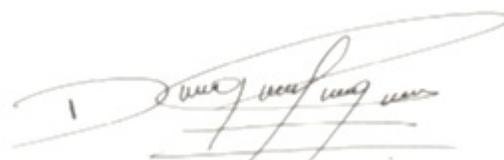
A mis profesores, por todas las enseñanzas brindadas en la universidad, por formarme de la mejor manera y darme las bases necesarias para representar por la alto a mi alma mater a la hora de ser un profesional, por hacerme enamorar de la geología y mostrarme lo fascinante de ver el mundo a través del conocimiento geológico. A mi profesor Diego Loaiza por dirigir este proyecto

de la mejor manera, tener la disposición y apoyo constante a la hora de realizarlo y brindarme de su tiempo para el mejor resultado.

A todos ustedes y a los que se me escapan, mil y mil gracias.

NOTA DE ACEPTACIÓN

APROBADA

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Diego Loaiza', written over a horizontal line.

DIEGO LOAIZA

Director académico

INDICE

1	INTRODUCCIÓN	11
2	OBJETIVOS	12
2.1	Objetivo general	12
2.2	Objetivos específicos	12
3	LOCALIZACIÓN	13
4	MARCO TEÓRICO	15
5	GEOLOGÍA REGIONAL	18
5.1	Formación Colorado (Mioceno inferior a medio)	18
5.2	Grupo Real (Mioceno Superior)	19
5.3	Formación Mesa (Plioceno)	20
5.4	Depósitos Cuaternarios	21
6	GEOLOGÍA LOCAL	22
6.1	Depósitos de gravas (Qal)	22
6.2	Depósitos de Arena de cuarzo	23
7	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	24
8	METODOLOGÍA	26
8.1	Fase de antecedentes y pre campo.	26
8.2	Fase de Campo	30
8.3	Fase de Oficina	36
8.3.1	Elaboración del modelo geológico en Surpac.	44
8.3.2	Elaboración del modelo de bloques en Surpac	51
9	RESULTADOS	54
9.1	Modelo geológico en Surpac	54
9.2	Modelo de bloques en Surpac	55
10	CONCLUSIONES	60
11	RECOMENDACIONES	62
12	BIBLIOGRAFÍA	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ruta de acceso al proyecto El Progreso. Al occidente corregimiento La Gómez, al oriente el municipio de Sabana de Torres y entre estos, la ruta de acceso al proyecto representada por la línea roja. El polígono verde representa el predio de Argos donde se realiza la explotación actual.	14
Figura 2. El recuadro de color rosado representa el título minero y el recuadro verde representa el predio perteneciente a Cementos Argos. Al NE del título se encuentra el casco urbano de Sabana de Torres, Santander.	14
Figura 3. Columna estratigráfica del Grupo Real. (Tomado de PTO título minero 14537, año 2016)	20
Figura 4. Mapa de la geología local del TM 14537. Planchas 108 y 109 Servicio Geológico Colombiano, 1977 y 2012.....	23
Figura 5. Mapa general de la geotectónica de Colombia (tomado de Ordoñez, 2001).....	24
Figura 6.A) Informe técnico realizado en 2014 por Génesis Consultoría en Geología. B) Mapa con las perforaciones realizadas en 2014 por Génesis Consultoría en Geología.....	27
Figura 7. A) Propuesta de perfiles para la construcción de columnas que permitan interpretar el subsuelo. B) Columnas construidas en la zona occidental (el área dentro del polígono se clasifica como gravas y el área fuera como arenas). C) Columnas construidas en la zona oriental del predio.	28
Figura 8. Mapa final para la campaña de muestro 2023-1 en la mina El Progreso en Sabana de Torres, Santander.	29
Figura 9. Explotación actual de manera manual en la mina El Progreso.	30
Figura 10. elementos necesarios para realizar el muestreo.	31
Figura 11. Etiquetas para codificar las muestras para su posterior análisis.....	31
Figura 12. A) Codificación acordada con su respectiva profundidad para las perforaciones a realizar. B) Perforación con pala draga en el proceso de muestreo.	32
Figura 13. Muestras listas para su entrega a laboratorio de calidad de Planta Nare para su análisis químico.	33
Figura 14. A) Apertura de caminos en las rutas establecidas. B) Marcación de los puntos para posterior perforación y muestreo.	34
Figura 15. Campo para la fecha 15 de junio-2023.....	35
Figura 16. Datos organizados para ser cargados en el software estadístico SGeMs. Allí se encuentran organizados por coordenadas en N, E y Z de cada muestra y su resultado químico de Fe ₂ O ₃	42

Figura 17. Variograma explicativo que muestra la ubicación del Sill o Meseta y el rango. (Adaptado de Curso de Geoestadística3. Análisis estructural, Ramón Giraldo, PhD Estadística, Universidad Nacional de Colombia).....	42
Figura 18. Variograma obtenido a partir de las muestras de Fe ₂ O ₃ de la "Zona Santiago".	43
Figura 19. Variograma obtenido a partir de las muestras de Fe ₂ O ₃ de la "Zona Jorge"	44
Figura 20. Base de datos creada para la realización de modelo geológico y de bloques.....	45
Figura 21. Mapa topográfico de la zona de estudio con las zonas de interés.	45
Figura 22. A) Curvas de nivel desde una vista de planta X, Y. B) Curvas de nivel desde una vista de perfil Z, X. C) Curvas de nivel desde una vista de perfil Z, Y.	47
Figura 23. Curvas de nivel con altura normal vs curvas de nivel con altura disminuida en un metro. La escala vertical es exagerada en 5 puntos.	48
Figura 24. Superficie creada a partir de las curvas de nivel. Estos archivos son tipo .dtm. La escala vertical es exagerada en 5.	48
Figura 25. Datos organizados de cada una de las áreas en archivo .txt para ser cargados a Surpac.	49
Figura 26. A) Área con los puntos de muestreo de la "Zona Santiago". B) Área con los puntos de muestreo de la "Zona Jorge".	50
Figura 27. Sólido generado para la "Zona Santiago"	50
Figura 28. Sólido generado para la " Zona Jorge".....	51
Figura 29. Modelo de bloques ampliado para la "Zona Santiago".	52
Figura 30. Modelo de bloques ampliado para la "Zona Jorge".....	52
Figura 31. Modelo de bloques limitado al área perteneciente a la "Zona Santiago".	53
Figura 32. Modelo de bloques limitado al área perteneciente a la "Zona Jorge".	53
Figura 33. Modelo geológico a partir de la topografía de la "Zona Santiago". Cabe resaltar que la escala vertical se encuentra exagerada en 5 puntos.	54
Figura 34. Modelo geológico a partir de la topografía de la "Zona Jorge". Cabe resaltar que la escala vertical se encuentra exagerada en 5 puntos.	55
Figura 35. Modelo de bloques para la "Zona Santiago" con los atributos de Fe ₂ O ₃ según la estimación. La escala vertical se encuentra exagerada en 5 puntos.....	56
Figura 36. Vista en planta del modelo de bloques para la "Zona Santiago" con los resultados químicos de cada muestra. La escala vertical se encuentra exagerada en 5 puntos.....	56
Figura 37. Modelo de bloques para la "Zona Jorge" con los atributos de Fe ₂ O ₃ según la estimación. La escala vertical se encuentra exagerada en 5 puntos.....	57
Figura 38. Vista en planta del modelo de bloques para la "Zona Jorge" con los resultados químicos de cada muestra. La escala vertical se encuentra exagerada en 5 puntos.....	57
Figura 39. Bloques asociados a la arena blanca para la "Zona Santiago".	58

Figura 40. Bloques asociados a la arena gris para la “Zona Santiago”.....	59
Figura 41. Bloques asociados a la arena blanca para la “Zona Jorge”.	59
Figura 42. Bloques asociados a la arena gris para la “Zona Jorge”.....	59

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tablas con los estándares de calidad requeridos para las arenas gris y blanca. Los parámetros con ** quieren decir que estrictamente este contenido se tiene que cumplir.....	28
Tabla 2. Tabla con las coordenadas, resultados químicos y nomenclatura de los puntos pertenecientes a la "Zona Santiago".	37
Tabla 3. Tabla con las coordenadas, resultados químicos y nomenclatura de los puntos pertenecientes a la "Zona Jorge".....	37
Tabla 4. Estadística descriptiva de Fe ₂ O ₃ para la "Zona Santiago".....	39
Tabla 5. Estadística descriptiva de Fe ₂ O ₃ para la "Zona Jorge".....	39
Tabla 6. Datos reemplazados de Fe ₂ O ₃ para la "Zona Santiago"	41
Tabla 7. Datos reemplazados de Fe ₂ O ₃ para la "Zona Jorge".	41

1 INTRODUCCIÓN

El proyecto El Progreso adjudicado a Planta Nare, perteneciente a la compañía Cementos Argos, se encuentra localizado en jurisdicción del municipio de Sabana de Torres, al noroccidente del departamento de Santander y realiza trabajos de explotación de recursos minerales de uso industrial.

Este yacimiento pertenece a los depósitos cuaternarios que supra yacen a toda la secuencia sedimentaria que compone lo que hoy en día es el Valle Medio del Magdalena. Está compuesto de arenas de cuarzo provenientes de las rocas preexistentes de la zona y gracias a este gran contenido de sílice, tienen un color característico blanco y una resistencia que las hace económicamente explotables con miras de ser materia prima de la producción de cemento blanco, producto fuerte principal de la Planta Nare, ubicada en el corregimiento de La Sierra, perteneciente al municipio de Puerto Nare, Antioquia.

Este depósito se caracteriza por tener en algunos sectores alto contenido de Fe_2O_3 que imposibilitan el uso de la arena para cemento blanco. El objetivo del área de Materias Primas de la planta es entonces ampliar los conocimientos de arena del depósito por medio de muestreos exploratorios en zonas inexploradas, sectorizar las arenas según sea su contenido de SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3 para saber cuáles arenas sirven para el proceso productivo del cemento y cuales no y con estos datos construir un modelo geológico y de bloques que permita estimar recursos del depósito en estas nuevas áreas.

Finalmente, con los resultados obtenidos se pretende saber qué cantidad de arena blanca queda, que cantidad de la arena puede ser para uso comercial, siendo esta la arena no apta para el proceso productivo del cemento, dar un estimado de continuidad en tiempo de vida para la mina y ampliar terrenos con miras exploratorias.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Dar continuidad a las actividades requeridas para la actualización de la información geológica del título minero El Progreso TM 14537 asociado a Planta Nare, con el fin de dar cumplimiento a los requisitos de ley en la Resolución 100 de 2020, realizar la actualización de las reservas mineras, validar la información geológica existente y responder a los requerimientos de actualización de Planes de Trabajos y Obras (PTO).

2.2 Objetivos específicos

- Revisar información geológica existente para el título minero.
- Describir la Geología Regional y Local del título minero y apoyar la elaboración de mapas.
- Planear actividades cartográficas, elaboración de recorridos, transeptas y toma de muestras.
- Inspeccionar las muestras recolectadas y codificarlas para su análisis.
- Realizar el modelo geológico y de bloques a partir de las perforaciones realizadas.

3 LOCALIZACIÓN

El proyecto del título minero 14537 El Progreso, perteneciente a Cementos Argos S.A. y adscrito a la Planta Nare, está localizado en el Valle Medio del Magdalena en Colombia, en la vereda Agua Bonita, jurisdicción del municipio de Sabana de Torres, al noroccidente del departamento de Santander, a una distancia de 110 al NW km de Bucaramanga y 217 km de La Sierra.

La ruta de acceso al área de estudio se encuentra en la ruta del sol sector dos entre los corregimientos de Peroles y La Gómez, donde existe una intersección al Oriente en dirección al municipio de Sabana de Torres; en este tramo se toma dirección sur para ingresar al proyecto El Progreso.

La zona de estudio se encuentra ubicada entre las coordenadas:

- Longitud: 73° 31' 50.28" W y 73° 31' 46.36" W.
- Latitud: 7° 21' 31.98" N y 7° 21' 42.72" N.

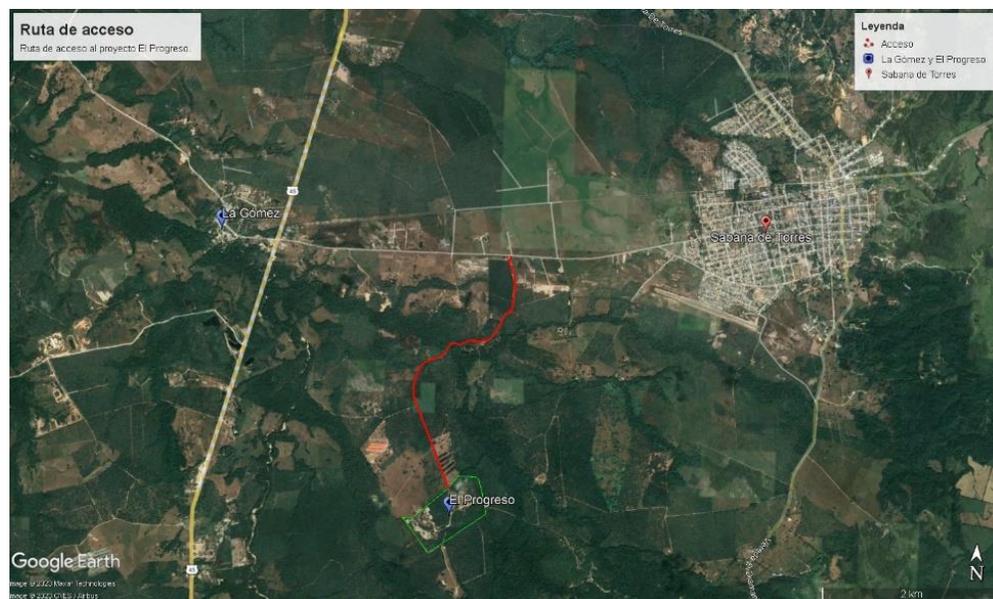


Figura 1. Ruta de acceso al proyecto El Progreso. Al occidente corregimiento La Gómez, al oriente el municipio de Sabana de Torres y entre estos, la ruta de acceso al proyecto representada por la línea roja. El polígono verde representa el predio de Argos donde se realiza la explotación actual.

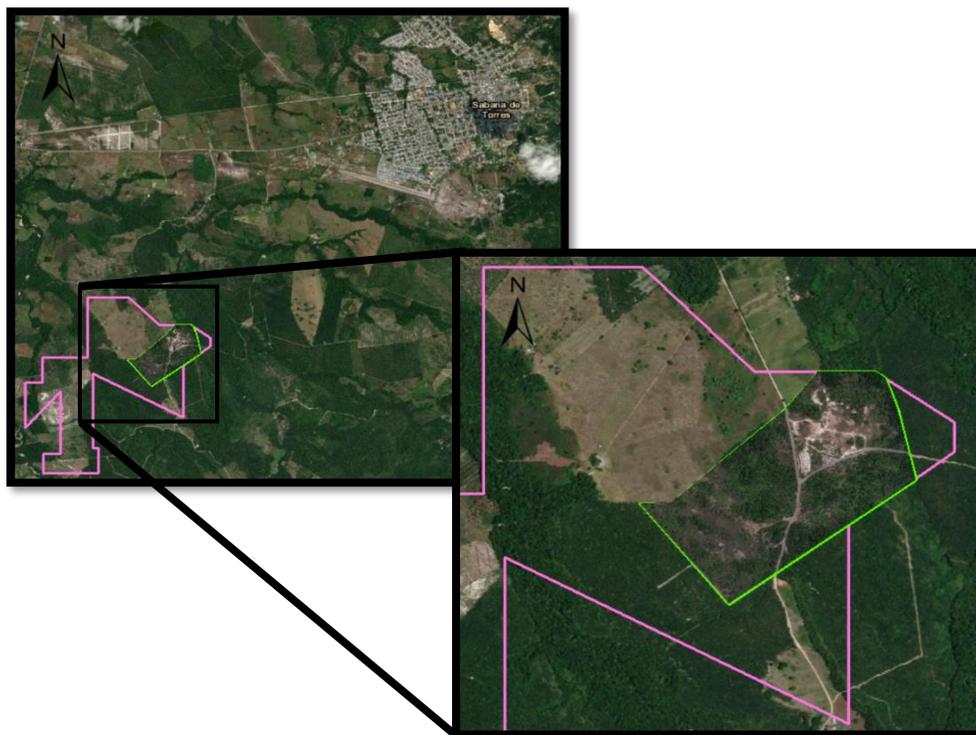


Figura 2. El recuadro de color rosado representa el título minero y el recuadro verde representa el predio perteneciente a Cementos Argos. Al NE del título se encuentra el casco urbano de Sabana de Torres, Santander.

4 MARCO TEÓRICO

Las arenas son un material detrítico derivado de las rocas sedimentarias (pertenecientes al 75% de las rocas que afloran y que se generan en la superficie terrestre). Las arenas silíceas presentan alto contenido en sílice (SiO_2), siendo este mayor al 90% y por esto denominadas arenas silíceas o arenas de cuarzo y contienen en menor proporción óxidos como Fe_2O_3 , Al_2O_3 y CaO , dependiendo de la contaminación y exposición que tengan a condiciones de intemperie y del contenido mineralógico de las rocas preexistentes. Estas arenas se originan gracias a la erosión y meteorización de las rocas que las preceden y debido a que el cuarzo es un mineral tan resistente a la meteorización y erosión en condiciones de intemperie, es el único que se conserva de dichas rocas y se acumula en lo que en un pasado fueron lagos y ríos.

Gracias a las propiedades químicas y físicas que posee la sílice, es de gran utilidad en diversas industrias; su dureza, su resistencia al desgaste, su color, su transparencia y otras propiedades, la hacen tener una gran demanda en lo que a diferentes usos concierne, la lista es amplia a la hora de nombrar en que puede ser utilizada, sin embargo, para nombrar unos pocos, esta es la materia prima de usos globales para la fabricación de vidrios, abrasivos, morteros, resinas, pinturas, hormigones y en usos locales (Colombia) para la fabricación de cementos, industria de la construcción, productos químicos, materiales refractarios, vidrios e industria siderúrgica (Unidad de Planeación Minero Energética – UPME, 2012-2016).

La arena es de gran importancia en la fabricación de cemento; el cual es uno de los materiales más principales utilizados en la industria de la construcción, siendo un actor clave en lo corrido de la historia y aportando a grandes obras de ingeniería, urbanización y avance de la civilización. En el país, la industria cementera es extensa y diversas empresas se encargan de

producir y comercializar dicho producto. Existen diferentes tipos de cemento, dependiendo del uso final y varios procesos necesitan de arena como materia prima para la fabricación de este.

Cementos Argos S.A. es una empresa colombiana perteneciente al Grupo Argos y se encarga de producir y comercializar cemento y concreto. Planta Nare es la única planta en Colombia capacitada para producir cemento blanco usado en la industria de la construcción para grandes obras civiles. Una de las principales materias primas para la producción de este cemento, es la arena silícea, pues cuenta con propiedades necesarias como la resistencia y el color que se proporcionan al Clinker, materia prima sintética usada para finalmente producir cemento.

Cementos Argos cuenta con el título minero 14537 El Progreso ubicado en Sabana de Torres, Santander que se encuentra en extracción de arena silícea de color blanco, utilizada como materia prima para el cemento blanco. El objetivo de este proyecto es realizar el modelo geológico y de bloques para estimar recursos, esto a partir de muestreos superficiales en zonas inexploradas y exploradas de dicho título, para así tomar decisiones de ampliación en terrenos, según la estimación realizada.

La estimación de recursos que se hará en el presente trabajo es de gran importancia a la hora de explotar o empezar a explotar un mineral, pues va a definir que tanto material de interés se tiene y así poder hacer una proyección de durabilidad y continuidad de la explotación del depósito en cuestión. Para el cálculo de reservas se acude a la geoestadística la cual es una herramienta fundamental para la estimación de recursos y permite dar confiabilidad a la hora de asignar valores químicos al depósito estudiado a partir de perforaciones y muestreos. Cabe resaltar que en el trabajo realizado solo se pudo lograr la estimación de recursos y no de recursos y reservas, debido a que solo se tenían perforaciones someras. Para realizar una estimación de reservas medidas y probadas, se requiere de perforaciones profundas, según lo establece la CCRR

(Comisión Colombiana de Recursos y Reservas). Existen muchos métodos estadísticos para hacer la estimación entre ellos, los más usados son Kriging Ordinario, Inverso de la distancia, Vecino más cercano, método de los polígonos, etc. Gracias a los avances tecnológicos, los métodos geoestadísticos hoy en día pueden ser aplicados a través de software mineros que sirven para la estimación de recursos y los más utilizados en la industria son Surpac, Vulcan, Leapfrog, Datamine, etc. Dentro de estos programas ya vienen incorporados muchos de los métodos de estimación existentes y algunos de los mencionados, ya es cuestión de análisis por parte de las empresas y profesionales en las áreas de cual método se acomoda mejor según las necesidades. En este proyecto se utilizó el software Surpac gracias a la licencia con la que cuenta Cementos Argos para usarlo en todos sus títulos mineros.

5 GEOLOGÍA REGIONAL

El Valle Medio del Magdalena se caracteriza por ser una depresión alargada en dirección NNE – SSW que separa las cordilleras central y oriental de Colombia (Mojica & Franco, 1990). La zona de estudio se encuentra en este valle y con el fin de entender la relación geológica de las arenas silíceas o de cuarzo que afloran al SW de Sabana de Torres, seguidamente se presenta una descripción breve de las unidades litoestratigráficas superiores correspondientes a rocas sedimentarias regionales de edad probable Mioceno - Pleistoceno y depósitos aluviales recientes que ocurren en esta llamada cuenca del Valle Medio del Magdalena. Las unidades litológicas presentes son las siguientes:

5.1 Formación Colorado (Mioceno inferior a medio)

Una breve descripción dada por Ward et al. (1973) indica que la formación está compuesta por lodolitas de color gris claro con manchas purpura y rojo, muy macizas, presentan intercalaciones de arenitas de grano fino a grueso, con tonos amarillento y blancos. Hubach (1957) indica que estas arenitas presentan en su parte alta un nivel fosilífero de “arcillas” de color negro a gris, carbonáceas y bien estratificadas, con intercalaciones de arenitas verdosas de tamaño de grano medio. Además, las arenitas de esta unidad presentan usualmente estratificación cruzada. Finalmente, Morales *et al.* (1958) señala que esta unidad se diferencia de su unidad inmediatamente infra yacente asociada a la “Formación Mugrosa” porque la Formación Colorado presenta arenitas conglomeráticas y shales de color más rojizo.

5.2 Grupo Real (Mioceno Superior)

De manera general, el Grupo Real está formado por capas gruesas de areniscas conglomeráticas, con fragmentos de guijos de finos a medios, que presentan estratificación cruzada, intercalada con estratos de medios a gruesos de areniscas cuarzosas tabulares con matriz arcillosa y lodolitas silíceas friables que presentan tonalidades grises claras y púrpura grisáceo (Gómez *et al.* 2008). Otra característica que se encuentra es que el Grupo Real muestra grandes cantidades de hornblenda y magnetita haciendo parte de los niveles de arenitas (Fonseca y Fuquen, 2012).

Regionalmente, la columna estratigráfica de esta unidad, inicia por una capa de arcillolita de color gris medio, esta se encuentra en contacto discordante, supra yaciendo una capa de arenisca conglomerática compuesta por líticos sedimentarios, cuarzo y abundante material diseminado, continua una capa lenticular de conglomerado lítico de tres metros de espesor, con gravas de arenisca de grano fino, limolitas, chert de color negro y marrón claro, liditas y líticos de rocas volcánicas en menor proporción, con gránulos compuestos por cuarzo y líticos, comúnmente aparece marial carbonoso y restos de madera carbonizada. En contacto transicional se da una capa tabular de arena gruesa friable, que se compone de líticos sedimentarios altamente bioturbada. Supra yaciendo en contacto discordante, se muestra una capa de limolita cementada con abundantes óxidos de hierro, después en contacto discordante, una capa tabular fuera de arenisca de grano fino a medio. En la zona de la licencia el material a explorar es la capa de areniscas de cuarzo que se presenta en la secuencia de los niveles conglomeráticos del techo. A continuación, se presenta una columna donde se relaciona la descripción anterior.

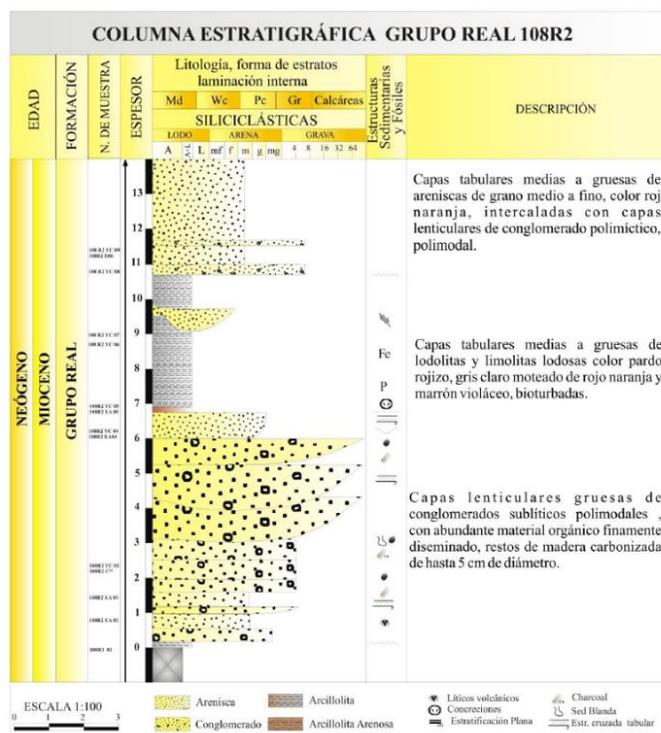


Figura 3. Columna estratigráfica del Grupo Real. (Tomado de PTO título minero 14537, año 2016)

5.3 Formación Mesa (Plioceno)

Según Hubach (1957) es una unidad con arenas bien estratificadas, tobas andesíticas, intercaladas con arenitas de grano grueso, aglomerado y conglomerados. Morales *et al.* (1958) describe la parte basal siendo este material piroclástico que contiene fragmentos de andesitas, dacitas, pumitas, ceniza con fragmentos pequeños de cuarzo y escama de filita. En la parte superior de la formación los autores que la describen indican que se trata de gravas, bloques, arenitas y algunas intercalaciones de limo. Según Ward *et al.* (1973) señala que la unidad está constituida a la mitad inferior por sales de color negro, conglomerados poco consolidados, gravas, arenas de terraza y arenitas friables que en ocasiones presentan restos carbonizados de plantas, los conglomerados presentan clastos de cuarzo, chert y rocas ígneas; en la parte superior, la describen

como gravas poco estratificadas de matriz tamaño arena con algunas intercalaciones de arena arcillosa y/o arcilla arenosa de colores gris, amarillo y rojizo.

5.4 Depósitos Cuaternarios

Según El INDERENA (1995), Regional Santander, municipio de Sabana de Torres, en su concepto técnico número 91, en cercanías al corregimiento de La Gómez, realizan un estudio de las arenas de cuarzo, estos depósitos de “tipo aluvial” (terrazas y conos de deyección) es posible identificar dos niveles, uno a la base de gravas y otro superficial de arenas. Descritos en la Geología Local.

6 GEOLOGÍA LOCAL

Según El INDERENA (1995) para la zona se presentan una capa profunda de conglomerados y una más superficial de arenas descritas de la siguiente manera:

6.1 Depósitos de gravas (Qal)

Según el PTO 2016 de Cementos Argos para el título minero 14537 se encuentra conformado por depósitos no consolidados de coluvión, aluvión, derrubios glaciares y/o fluvio-glaciares, y se considera que su origen se da en el Holoceno. Estos depósitos son originados por la erosión y depositación diferencial de materiales de acuerdo al grado que tiene de competencia, la corriente, donde se presentan depósitos desde lentes finos a pequeños sustratos de material grueso, ubicados principalmente en los valles de inundación de los principales drenajes permanentes del área.

Los bancos de gravas están conformados por cantos de arenitas feldespáticas blancas, porosas y friables, y guijos de arenitas cuarzosas de color blanco. Estos clastos están embebidos en una matriz arenosa de tamaño de grano fino a medio; y las capas se encuentran separadas por lentes de arcilla blanca, violeta, gris y rojiza de hasta 80 cm, de espesor. Dentro de los depósitos se encuentran genéticamente diferenciados los Depósitos Fluvio – Lacustres, Depósitos de Terrazas y Depósitos Aluviales. Estos se encuentran dispuestos de manera discordante sobre las diferentes unidades litológicas, los espesores varían en relación con la extensión lateral, así como la granulometría y composición del material que integra estos depósitos.

extensión de 600 km y la falla Palestina con dirección SSW – NNW y extensión aproximada de 431 km al W. Localmente es una zona que se encuentra tranquila relativamente y el tectonismo afecta las rocas con basculantes ligeros en la litología y pliegues; todas estas estructuras se pueden observar en el flanco W de la Cordillera oriental.

8 METODOLOGÍA

Planta Nare se encuentra dividido en diferentes áreas, estas son Materias Primas, Producción, Calidad, Logística, Servicios - Productividad y Mantenimiento. El área de Materias Primas es la encargada de mantener en cumplimiento y en explotación todo lo que tiene que ver con los títulos mineros de donde se extraen la mayoría de las materias primas, adscritos a la Planta. Uno de estos títulos mineros es el 14537 El Progreso ubicado en Sabana de Torres, Santander de donde se extrae arena blanca silícea. Con el fin de ampliar los recursos a partir de zonas exploradas e inexploradas se realiza este trabajo y para cumplir con los objetivos, se establece la siguiente metodología.

8.1 Fase de antecedentes y pre campo.

En esta etapa se lleva a cabo una minuciosa búsqueda de la información preexistente del título minero. Para esto, se buscó información en la base de datos de Planta Nare en lo que a información del título concierne. Allí se encontró un estudio del año 2014 llamado “Análisis sedimentológico y estratigráfico de los depósitos de arenas de cuarzo en los títulos mineros 14536 y 14537, localizados al suroccidente del municipio de Sabana de Torres, Santander” realizado por la consultora Génesis Consultoría en Geología” Figura 6. Se encontró que realizaron perforaciones no muy profundas en un área determinada del título que fueron de vital importancia para establecer la primera campaña de muestreo de este proyecto y realizar las visitas a la mina El Progreso.

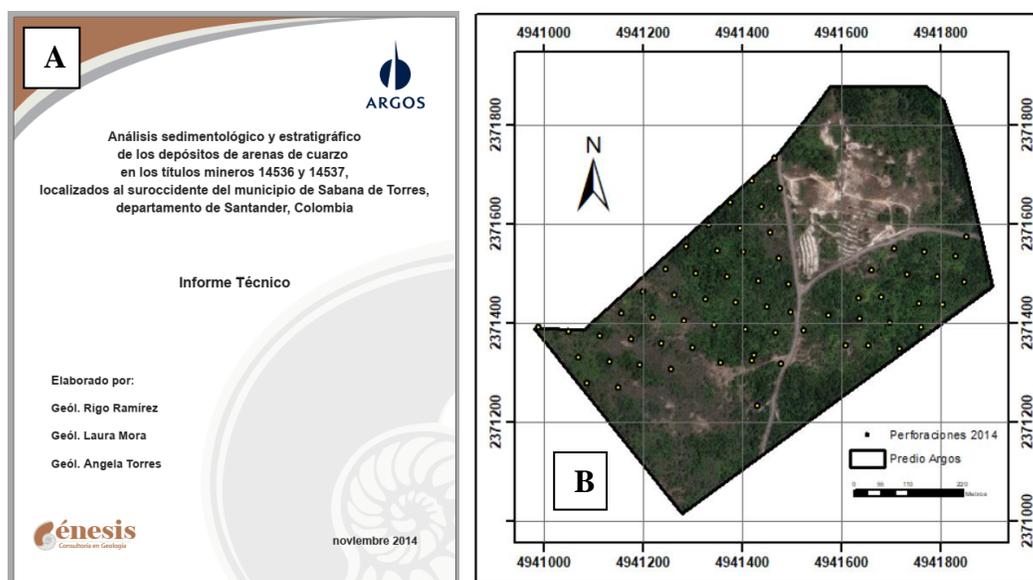


Figura 6.A) Informe técnico realizado en 2014 por Génesis Consultoría en Geología. B) Mapa con las perforaciones realizadas en 2014 por Génesis Consultoría en Geología.

Una vez definidas las nuevas áreas de muestreo, gracias a la información plasmada en el mapa anterior, se realizan columnas estratigráficas con la información de litología recolectada en las perforaciones realizadas en 2014, esto con el fin de verificar y determinar nuevas áreas con potencial de arena para ampliar los recursos de la mina. Las columnas se realizaron en toda el área de las perforaciones con el software AutoCAD como se muestra en la Figura 7. Las columnas del sector más oriental correspondientes a los perfiles con las letras mayúsculas (A-A1, B-B1, C-C1, D-D1) mostrados en la Figura 7, se construyeron las columnas, sin embargo, no se lleva a cabo una campaña de muestreo en tal sector debido a que el descapote encima del material de interés es muy grueso y la mina no tiene permiso para utilizar maquinaria amarilla, por esto esta zona es descartada desde un principio. Por otra parte, las condiciones para definir la zona como potencial estarán dadas con el cumplimiento de contenido de SiO₂ y que la litología sea únicamente arena (en la Tabla 1 se muestran los estándares de calidad requeridos para la arena gris y arena blanca respectivamente). Después de haber construido las columnas del sector occidental correspondientes a los perfiles con las letras minúsculas, se descarta la zona interna del polígono

debido a que su litología corresponde a gravas y este material no es apto como materia prima, la parte externa se denomina posible potencial debido a que su litología si cumple con las condiciones al menos de este parámetro.

Arena para cemento gris		Arena para cemento blanco	
%H ₂ O	<=10	%SiO ₂	>=90
%SiO ₂	>=90	%Al ₂ O ₃	<=0.25
		%Fe ₂ O ₃	<=0.08 **
		Parametro de color L*	>=91.8
		Parámetro de color croma b*	<=5.0 **

Tabla 1. Tablas con los estándares de calidad requeridos para las arenas gris y blanca. Los parámetros con ** quieren decir que estrictamente este contenido se tiene que cumplir.

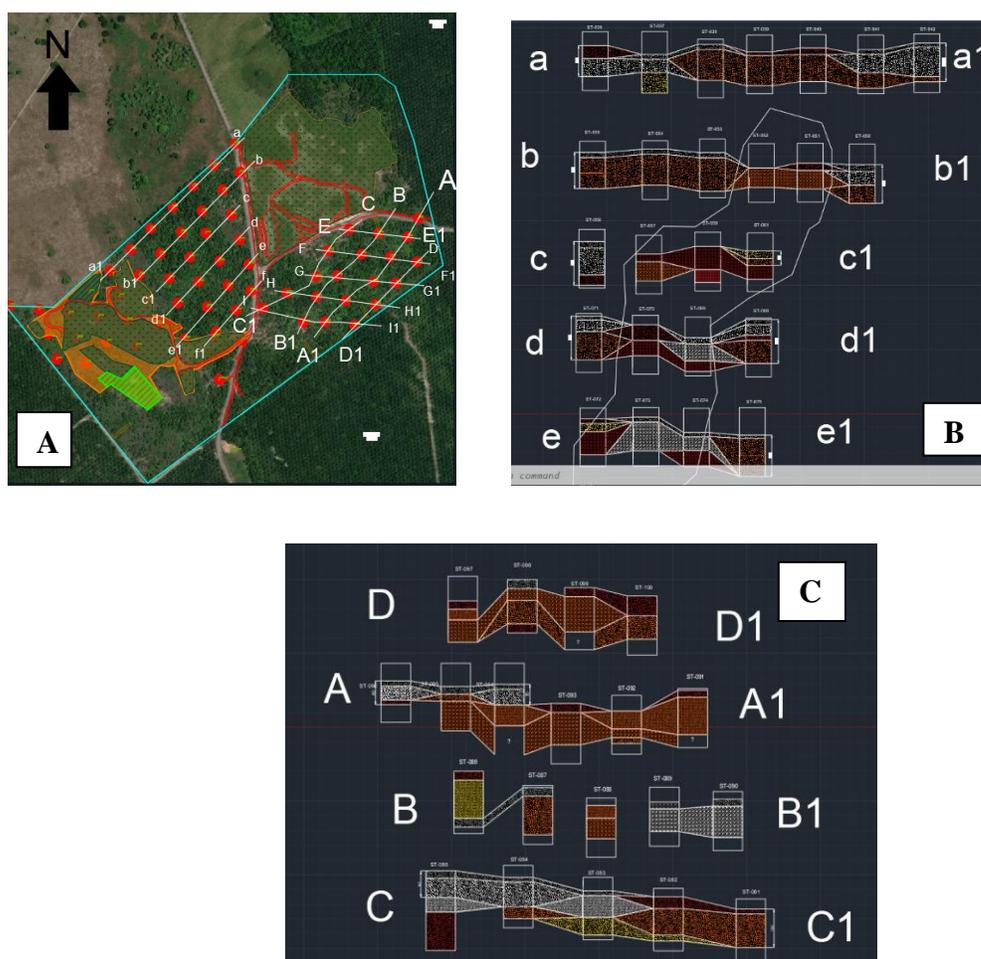


Figura 7. A) Propuesta de perfiles para la construcción de columnas que permitan interpretar el subsuelo. B) Columnas construidas en la zona occidental (el área dentro del polígono se clasifica como gravas y el área fuera como arenas). C) Columnas construidas en la zona oriental del predio.

Se plantea entonces a partir de estos nuevos resultados, un muestreo con una malla de 60x60m en las zonas inexploradas y una malla de 20x20m en las áreas ya perforadas con el fin de que en la zona inexplorada se amplie el conocimiento litológico y en la zona ya explorada hacer una verificación de litologías y calidades químicas. La Figura 8 muestra el mapa realizado para la campaña 1 de muestreo en la zona de estudio. Por recomendación de un colaborador de la mina, se inicia la campaña de muestreo por la zona que cubre el polígono de color azul mostrado en la Figura 8, pues hay indicios de que existe arena blanca, sin embargo, esto se verificaría con el resultado de los análisis químicos posterior.

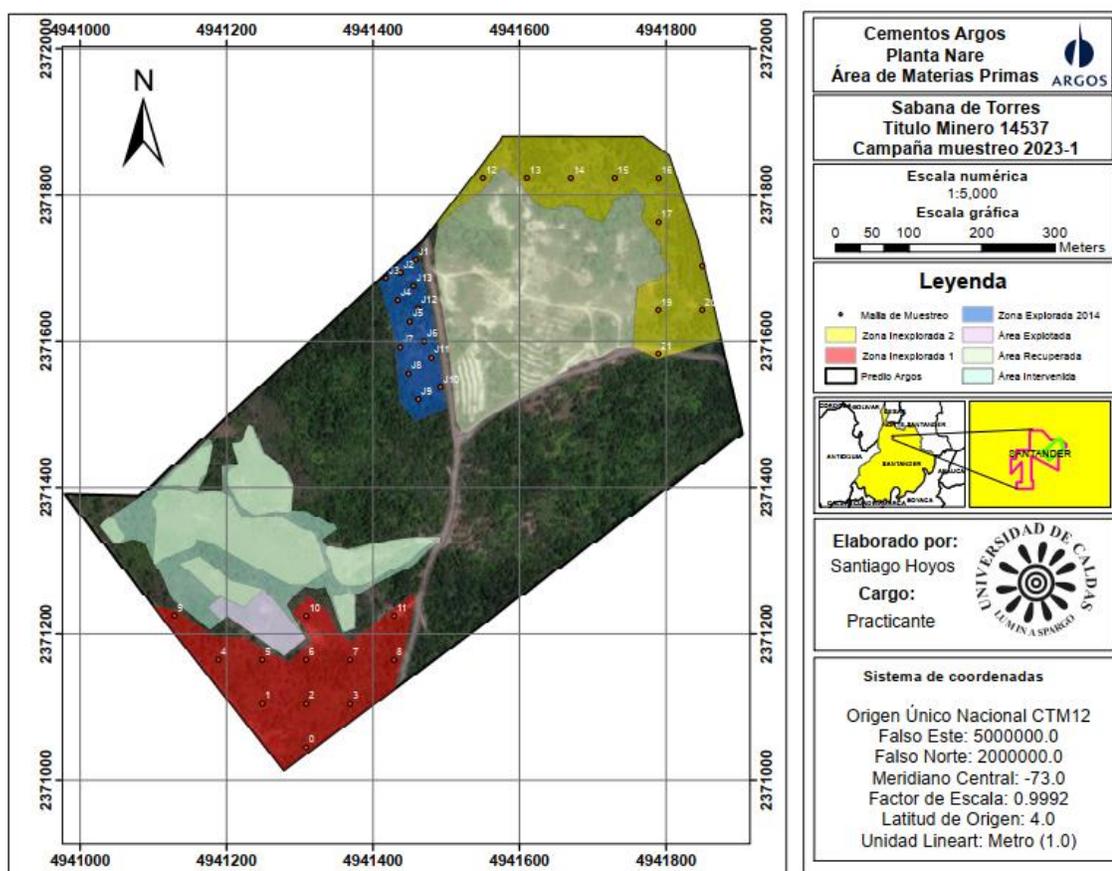


Figura 8. Mapa final para la campaña de muestreo 2023-1 en la mina El Progreso en Sabana de Torres, Santander.

8.2 Fase de Campo

El muestreo que se planea hacer es netamente superficial debido a que la explotación en la mina es manual y se hace con pala como se puede observar en la Figura 9, por esto los estratos de arena tienden a ser superficiales y las perforaciones se hacen con una profundidad máxima de 1.5 metros. Para las perforaciones se planea tomar muestras de canal, esta consiste en tomar una muestra de todo el largo de la perforación para garantizar una representatividad a la hora de muestrear el pozo. Los elementos necesarios entonces para la campaña se muestran en la Figura 10 y son los siguientes: Paladraga, cinta, marcadores industriales, bolsas plásticas, aerosoles y plásticos. De igual manera se establecen unas etiquetas como las de la Figura 11 para codificar las muestras de tal manera que se identifiquen según el lugar de muestreo.



Figura 9. Explotación actual de manera manual en la mina El Progreso.



Figura 10. elementos necesarios para realizar el muestreo.

 ARGOS	MUESTREO PERFORACION
FECHA:	_____
ID MUESTRA:	<u>S1</u>
MUESTREADOR:	_____
ANALISIS SOLICITADOS:	_____
OBSERVACIONES:	_____

Figura 11. Etiquetas para codificar las muestras para su posterior análisis.

Como se mencionó en apartados anteriores, la mina queda a 217 kilómetros de Planta Nare, por esto el acceso a la zona tenía que hacerse en un día en específico y solo se contaba con este tiempo establecido para realizar el muestreo. Se planeó entonces la primera visita para el día 29 de marzo.

Una vez en la zona de estudio se procede a reunir al personal de la mina para explicarles de qué manera se tenía previsto realizar el muestreo debido a que ellos serían los encargados de materializarlo; para este día únicamente se realizaría la marcación de los sitios de interés plasmados con anterioridad en la Figura 8.

Después de realizada la socialización de la actividad con los colaboradores, se procede a realizar un ejemplo práctico para mejor comprensión de lo que se necesitaba. Para el ejercicio se utilizó el punto número 10 de la campaña gracias a que su ubicación era de fácil acceso. El proceso básicamente consiste en hacer una perforación de aproximadamente 1.5 metros, hacer el muestreo de canal (con la pala draga después de haber hecho la excavación, se hace un corte hasta lo más profundo, seleccionando material de todo el tramo) y depositar el material extraído en un plástico para la descripción visual de las arenas (color únicamente). El muestreo de canal es muy práctico y garantiza que la muestra tomada representa el contenido de todo el pozo perforado. Lo descrito anteriormente lo podemos observar en la Figura 12.



Figura 12. A) Codificación acordada con su respectiva profundidad para las perforaciones a realizar. B) Perforación con paladraga en el proceso de muestreo.

Después de tomar la muestra de canal, es depositada en la bolsa con la etiqueta correspondiente. Todas las etiquetas están debidamente marcadas para los números de los sitios de perforación y muestreo. Las etiquetas fueron mostradas en la Figura 11 y en la Figura 13 se muestran el resultado de las muestras colectadas para su posterior entrega.



Figura 13. Muestras listas para su entrega a laboratorio de calidad de Planta Nare para su análisis químico.

Una vez terminado el ejercicio práctico, se procede a hacer la marcación de los puntos a perforar, se hace una división de personal para efectos de rapidez y con la ayuda del GPS y del

teléfono móvil se cubrieron los puntos S0, S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10 y S11. Por cuestiones de tiempo y horario de los colaboradores, no se pudo culminar con el resto de la marcación, sin embargo, se planea otra visita al sector para finalizar con la actividad. En la Figura 14 se puede evidenciar el trabajo de campo y la manera en que se dejaron marcados los puntos para su posterior perforación. Por otra parte, se llega a la conclusión de descartar la “zona inexplorada 2” pues según información de los colaboradores, esta zona tiene una capa considerablemente gruesa encima del material de interés y corresponde a un lleno donde se depositaba todo el material sacado de un frente antiguo de explotación y como ya se mencionó, la mina no tiene permisos para maquinaria amarilla.



Figura 14. A) Apertura de caminos en las rutas establecidas. B) Marcación de los puntos para posterior perforación y muestreo.

Las muestras que recolectaron los colaboradores fueron enviadas a través de las tractomulas que transportan la arena de la mina El Progreso hasta la Planta Nare para su análisis químico que se mostrará en el apartado de Fase de Oficina. Por otra parte, el día 15 de junio se

realizó la segunda visita con el fin de marcar y faltantes para iniciar con el trabajo de oficina. Las muestras que se pudieron marcar fueron las denominadas J1, J2, J3, J4, J5, J6, J7, J8, J9, J10, J11, J12 y J13. En los días posteriores se enviaron las muestras en las tractomulas que transportan la arena a Planta Nare, así como en el muestreo anterior. Este sector es el denominado en el mapa de la Figura 8 como “zona explorada 2014” y en la Figura 15 se puede evidenciar la marcación y



toma de algunas de las muestras, trabajo de campo realizado para esta fecha.

Figura 15. Campo para la fecha 15 de junio-2023

Finalmente, este día se pudo marcar y muestrear con éxito el sector denominado “zona explorada 2014” en el mapa de la Figura 8 y con esto se tendrían los sectores de interés para este proyecto, muestreados y gracias a esto poder pasar a la etapa de oficina.

8.3 Fase de Oficina

Esta fase se inició una vez se obtuvieron todos los resultados químicos de laboratorio. El objetivo final de esta fase es construir un modelo geológico y un modelo de bloques para la zona del depósito de arenas, a partir de los resultados químicos de las muestras colectadas en la Fase de Campo anteriormente descrita.

Para iniciar esta fase, lo que se hizo fue la separación de las dos zonas de muestreo logradas, pues como ya se mencionó, por condiciones de tiempo solo se logró muestrear la zona inexplorada 1 y la zona explorada de 2014, plasmadas en el mapa de la Figura 8.

Una vez entendido esto, para efectos de practicidad se nombran a la “zona inexplorada 1” como “Zona Santiago” y a la “zona explorada 2014” como “Zona Jorge” por ser la zona que sugirió el colaborador a intervenir en primer lugar.

Una vez obtenidos los resultados, estos se guardaron en una base de datos para cada uno de los dos sectores. En estas, se mostraron las coordenadas de cada punto muestreado en el sistema de coordenadas Origen Único Nacional CTM 12, la altura obtenida gracias a las curvas de nivel generadas por un dron de una empresa contratista encargada de actualizar el PTO, los resultados químicos de óxidos como SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 y CaO , y la nomenclatura que se le dio a cada muestra. Para el caso del sector “Zona Santiago” se denominaron PS# (Punto Santiago Número de muestra) y para el sector “Zona Jorge” se denominaron PJ# (Punto Jorge Número de muestra). En la tabla 2 y la tabla 3 se muestra la agrupación de los datos como se mencionó anteriormente. Cabe resaltar que en la “Zona Jorge” Se agregaron 3 puntos más, pertenecientes a las perforaciones realizadas en 2014 y son los PJ14, PJ15 y PJ16.

Y	X	Z	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	samp_id
2371044.284	4941308.755	135.000	96.64	0.95	0.32	0.22	PS0
2371104.381	4941248.948	134.500	98.10	0.13	0.02	0.09	PS1
2371104.091	4941368.851	135.000	95.94	1.50	0.32	0.00	PS3
2371164.476	4941189.141	132.000	98.52	0.18	0.02	0.74	PS4
2371164.332	4941249.092	133.500	96.94	0.90	0.44	0.00	PS5
2371164.188	4941309.044	135.500	95.41	1.68	0.51	0.00	PS6
2371164.043	4941368.996	135.000	98.35	0.72	0.01	0.00	PS7
2371163.899	4941428.947	135.000	95.21	2.12	0.34	0.00	PS8
2371224.573	4941129.333	130.500	98.72	0.25	0.02	0.40	PS9
2371224.139	4941309.189	137.000	99.20	0.16	0.02	0.01	PS10
2371223.851	4941429.092	137.000	99.35	0.18	0.01	0.00	PS11

Tabla 2. Tabla con las coordenadas, resultados químicos y nomenclatura de los puntos pertenecientes a la "Zona Santiago".

Y	X	Z	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	samp_id
2371710.889	4941458.684	122.592	96.43	1.61	0.04	0.03	PJ1
2371693.4	4941437.68	123.006	99.09	0.26	0.01	0.00	PJ2
2371685.93	4941417.7	123.74	96.68	1.38	0.15	0.07	PJ3
2371655.75	4941434.01	125.56	97.17	0.92	0.14	0.00	PJ4
2371626.93	4941450.46	125.8	97.36	0.77	0.22	0.25	PJ5
2371599.26	4941469.94	126.02	99.35	0.15	0.01	0.00	PJ6
2371591.2	4941437.4	126	98.71	0.18	0.01	0.42	PJ7
2371555.11	4941448.69	126.842	99.08	0.16	0.01	0.10	PJ8
2371520.35	4941462.09	127.409	99.08	0.15	0.01	0.06	PJ9
2371537.11	4941492.42	127.332	99.18	0.15	0.01	0.08	PJ10
2371577.1	4941479.92	126.446	99.05	0.15	0.01	0.02	PJ11
2371644.62	4941461.75	125.21	98.09	0.23	0.01	0.00	PJ12
2371675.38	4941455.38	124.81	97.37	1.46	0.28	0.03	PJ13
2371529.5	4941474.79	126.842	98.51	0.05	0.85	0.01	PJ14
2371635.5	4941439.08	125.8	96.87	0.14	1.78	0.01	PJ15
2371732.36	4941464.29	122.592	98.30	0.12	1.67	0.01	PJ16

Tabla 3. Tabla con las coordenadas, resultados químicos y nomenclatura de los puntos pertenecientes a la "Zona Jorge".

Uno de los objetivos para el proyecto es determinar cuanta cantidad en toneladas existe para arena blanca y arena gris, esto porque la arena que necesita Planta Nare para la producción de cemento es la denominada arena blanca y debe de cumplir los parámetros que se presentaron en Tabla 1 (arena para cemento blanco). La arena gris es descartada del proceso productivo de la planta, pero no se descarta su posible comercialización. Con esto claro, para la estimación se debe elegir un parámetro que separe netamente las arenas que sirven para la fabricación de cemento y las que no, para ello, se escogió el parámetro de hierro (Fe₂O₃) pues es un parámetro crítico a la hora de determinar si la arena es apta o no, es decir, el valor de Fe₂O₃ tiene que ser estrictamente ≤ 0.08 , si no es así, la arena no sirve para cemento blanco. Los otros parámetros como SiO₂ y Al₂O₃ pueden ser corregidos y complementados con arenas de otros sectores, el Fe₂O₃ como ya se mencionó, no se puede corregir.

Para poder realizar la estimación por medio de geoestadística, se utilizó el software SURPAC gracias a la licencia suministrada por Cementos Argos S.A. el procedimiento se hace a partir del método de estimación Kriging Ordinario, este método, le da un valor de Fe₂O₃ a cada bloque generado en el modelo de bloques que se realizó a partir del modelo geológico y gracias a esto estandarizar así las arenas del depósito.

Para poder hacer la geoestadística, se hizo un análisis de los resultados de Fe₂O₃ de cada sector y, se determinó que hay valores muy altos comparados con los más bajos y esto podría afectar la estimación a la hora de aplicar el método de kriging, es decir podría aplicar valores poco equitativos de Fe₂O₃ a los bloques y dar resultados erróneos. Gracias a este análisis, se determinó usar el método de Outlayer, que consiste en bajar los picos más altos de Fe₂O₃ a niveles coherentes que permitan dar una mejor distribución a la hora de estimar, este proceso se compara con el efecto pepita cuando se debe hacer estimación de Au (oro), para esto se hace lo siguiente:

Como primera medida, se realiza la estadística descriptiva desde Excel de los valores de Fe₂O₃ para cada sector. La estadística de la tabla 4 corresponde a los resultados de Fe₂O₃ de la “Zona Santiago” y la estadística de la tabla 5 corresponde a los resultados de Fe₂O₃ de la “Zona Jorge”.

Columna1	
Media	0.18454545
Error típico	0.06039813
Mediana	0.02
Moda	0.02
Desviación estándar	0.20031793
Varianza de la muestra	0.04012727
Curtosis	-1.716041
Coefficiente de asimetría	0.47765559
Rango	0.5
Mínimo	0.01
Máximo	0.51
Suma	2.03
Cuenta	11

Tabla 4. Estadística descriptiva de Fe2O3 para la "Zona Santiago".

Columna1	
Media	0.325625
Error típico	0.14655195
Mediana	0.025
Moda	0.01
Desviación estándar	0.5862078
Varianza de la muestra	0.34363958
Curtosis	2.96042973
Coefficiente de asimetría	2.02814043
Rango	1.77
Mínimo	0.01
Máximo	1.78
Suma	5.21
Cuenta	16

Tabla 5. Estadística descriptiva de Fe2O3 para la "Zona Jorge".

Una vez aplicada la estadística descriptiva, se obtienen dos parámetros muy importantes para poder aplicar el método Outlayer, siendo estos el rango y la cuenta. Cuando no sabemos decidir el ancho de un intervalo, como por ejemplo en este caso con los valores más altos de Fe2O3, por la gran variabilidad que tiene este elemento en el depósito, utilizamos la siguiente fórmula:

$$K: 1 + 3.3 * \log(n)$$

Donde K es el número aproximado de clases y n el número de datos. Este resultado nos va a permitir sacar la amplitud (A) del parámetro evaluado y este va a ser el valor máximo que se podrá utilizar al momento de hacer la estimación. La amplitud se obtiene con la siguiente fórmula:

$$A: \text{Rango}/K$$

Donde el Rango lo obtenemos de la estadística descriptiva y la K es la variable de encontrada anteriormente. Una vez se tiene el resultado de la amplitud (A) procedemos a reemplazar en los resultados químicos de Fe₂O₃, los valores que den mayores a este dato de amplitud. Los resultados del número aproximado de clases (K) y amplitud (A) para cada zona son los siguientes:

Zona Santiago:

$$K = 1 + 3.3 \log(10) = 4.3 \quad A = 0.5 / 4.3 = 0.12$$

Zona Jorge:

$$K = 1 + 3.3 \log(16) = 5 \quad A = 1.77 / 5 = 0.35$$

Con los resultados anteriores entonces se podrán reemplazar los valores mencionados. Para la “Zona Santiago” los valores de Fe₂O₃ que superen 0.12 serán reemplazados por ese mismo valor y para la “Zona Jorge” los valores que superen 0.35 de igual manera serán reemplazados con ese mismo valor. Con esto establecido, en la Tabla 6 y la Tabla 7 se pueden observar cuales fueron los valores reemplazados para cada una de las zonas.

Fe2O3	Fe2O3estadistico	samp_id
0.32	0.12	PS0
0.02	0.02	PS1
0.32	0.12	PS3
0.02	0.02	PS4
0.44	0.12	PS5
0.51	0.12	PS6
0.01	0.01	PS7
0.34	0.12	PS8
0.02	0.02	PS9
0.02	0.02	PS10
0.01	0.01	PS11

Tabla 6. Datos reemplazados de Fe2O3 para la "Zona Santiago"

Fe2O3	Fe2O3estadistico	samp_id
0.04	0.04	PJ1
0.01	0.01	PJ2
0.15	0.15	PJ3
0.14	0.14	PJ4
0.22	0.22	PJ5
0.01	0.01	PJ6
0.01	0.01	PJ7
0.01	0.01	PJ8
0.01	0.01	PJ9
0.01	0.01	PJ10
0.01	0.01	PJ11
0.01	0.01	PJ12
0.28	0.28	PJ13
0.85	0.35	PJ14
1.78	0.35	PJ15
1.67	0.35	PJ16

Tabla 7. Datos reemplazados de Fe2O3 para la "Zona Jorge".

Para poder utilizar el método de estimación de Kriging Ordinario se deben obtener los variogramas a partir de las muestras utilizadas es por esto que, para la obtención de ellos, se utilizó el programa de uso libre de estadística SGeMs. Este software estadístico recibe los datos en formato txt y así fueron preparados para su ingreso. En la Figura 16 se observa la manera en que fueron subidos los datos al programa para su posterior análisis.

depo_arena_santi					muestreo_arenas_jorge				
4					4				
Y					Y				
X					X				
Z					Z				
Fe					Fe				
2371044.284	4941308.755	122.592	0.12		2371710.889	4941458.684	122.592	0.04	
2371104.381	4941248.948	123.006	0.02		2371693.395	4941437.678	123.006	0.01	
2371104.091	4941368.851	123.740	0.12		2371685.931	4941417.701	123.74	0.15	
2371164.476	4941189.141	125.560	0.02		2371655.753	4941434.008	125.56	0.14	
2371164.332	4941249.092	125.800	0.12		2371626.927	4941450.457	125.8	0.22	
2371164.188	4941309.044	126.020	0.12		2371599.262	4941469.938	126.02	0.01	
2371164.043	4941368.996	126.000	0.01		2371591.199	4941437.398	126	0.01	
2371163.899	4941428.947	126.842	0.12		2371555.108	4941448.694	126.842	0.01	
2371224.573	4941129.333	127.409	0.02		2371520.346	4941462.093	127.409	0.01	
2371224.139	4941309.189	127.332	0.02		2371537.114	4941492.422	127.332	0.01	
2371223.851	4941429.092	126.446	0.01		2371577.101	4941479.919	126.446	0.01	
					2371644.622	4941461.746	125.21	0.01	
					2371675.382	4941455.376	124.81	0.28	
					2371529.496	4941474.792	126.842	0.35	
					2371635.497	4941439.077	125.8	0.35	
					2371732.359	4941464.29	122.592	0.35	

Figura 16. Datos organizados para ser cargados en el software estadístico SGeMs. Allí se encuentran organizados por coordenadas en N, E y Z de cada muestra y su resultado químico de Fe₂O₃.

Una vez cargados los datos al software, el paso siguiente es generar los variogramas, estos son herramientas estadísticas que nos permiten comparar la diferencia que hay entre las muestras con la distancia. La información que debemos sacar de los variogramas es el Sill o meseta que es el valor hasta donde están correlacionados mis datos y el rango, que es la zona hasta donde se nos van a correlacionar los datos, para explicar esto, se tiene la Figura 17.

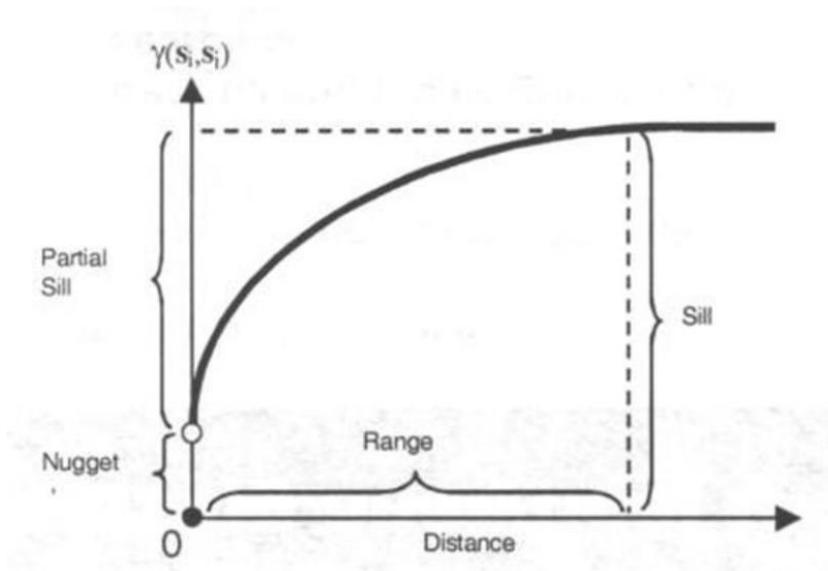


Figura 17. Variograma explicativo que muestra la ubicación del Sill o Meseta y el rango. (Adaptado de Curso de Geoestadística3. Análisis estructural, Ramón Giraldo, PhD Estadística, Universidad Nacional de Colombia).

Para los análisis de las zonas, los variogramas obtenidos fueron los siguientes, el variograma obtenido a partir de las muestras de la “Zona Santiago” el valor del Sill o meseta es de 0.035 y el rango es de 169.2, estos datos se tomaron de manera visual, debido al comportamiento de las muestras en el análisis, tal y como se muestra en la Figura 18.

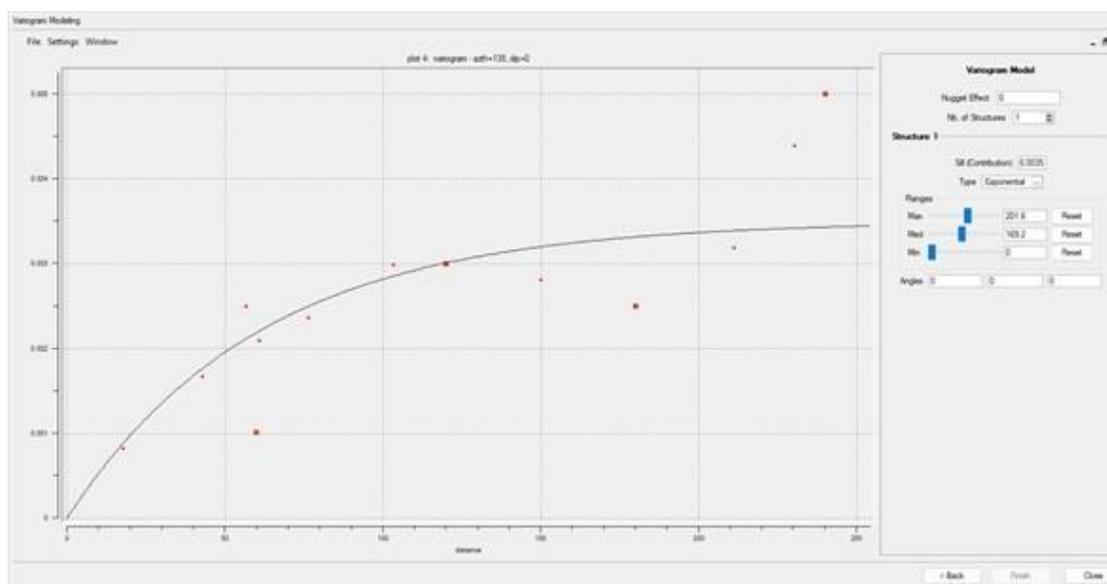


Figura 18. Variograma obtenido a partir de las muestras de Fe_2O_3 de la "Zona Santiago".

Para el variograma obtenido a partir de la “Zona Jorge” el valor de Sill o meseta es de 0.025 y el rango de 86.4, estos datos también se tomaron de manera visual, debido al comportamiento de las muestras en el análisis, como se muestra en la Figura 19.

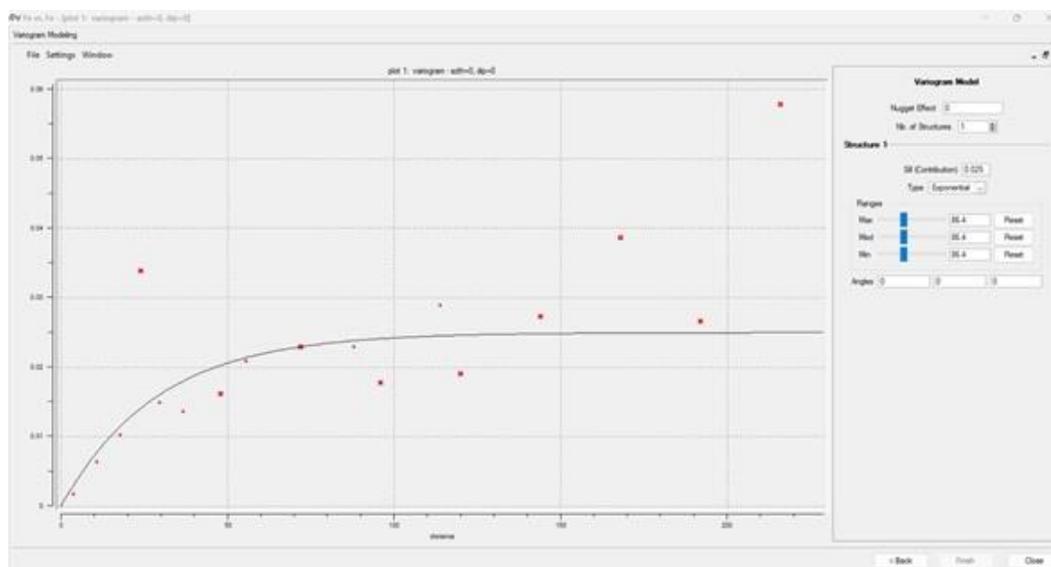


Figura 19. Variograma obtenido a partir de las muestras de Fe_2O_3 de la "Zona Jorge".

Después de obtener los valores estadísticos necesarios para realizar la estimación por medio del método de Kriging Ordinario se procede a realizar los modelos geológicos y modelos de bloques para los depósitos de la "Zona Santiago" y la "Zona Jorge".

8.3.1 Elaboración del modelo geológico en Surpac.

Con los datos que se necesitan para hacer la geoestadística listos, como primera medida, se diferencian por carpetas los dos modelos, pues estos tienen que realizarse de manera separada para que los resultados sean óptimos a la hora de hacer la estimación. Como lo muestra la Figura 20, se eligió una carpeta para el modelo de la "Zona Jorge" y otra para el modelo de la "Zona Santiago" y a su vez, dos subcarpetas dentro de estas nombradas "Modelo Geológico" y "Modelo de Bloques". También una carpeta con datos de topografía para poder modelar las superficies del depósito, pues debido a que es una depositación reciente no se observa con claridad una diferencia en alturas, por esto y para efectos de visualización, la topografía ayuda a mostrar el relieve de la zona modificando también la escala vertical en los modelos.

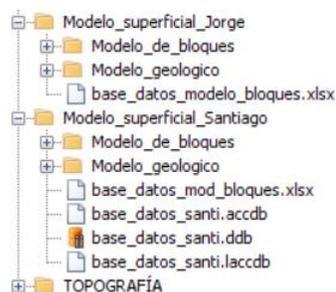


Figura 20. Base de datos creada para la realización de modelo geológico y de bloques.

El primer archivo que se necesita en la base de datos para modelar el sólido, es la topografía pues como ya se aclaró, esta ayudará a darle un relieve al terreno. Esta topografía o curvas de nivel se obtuvieron gracias a fotografías aéreas tomadas por un dron y una estación total entre los meses de junio y julio, esto permite tener una topografía totalmente actualizada y precisa de la zona de estudio. La separación de las curvas de nivel se hizo metro a metro y se pueden apreciar en la Figura 21.

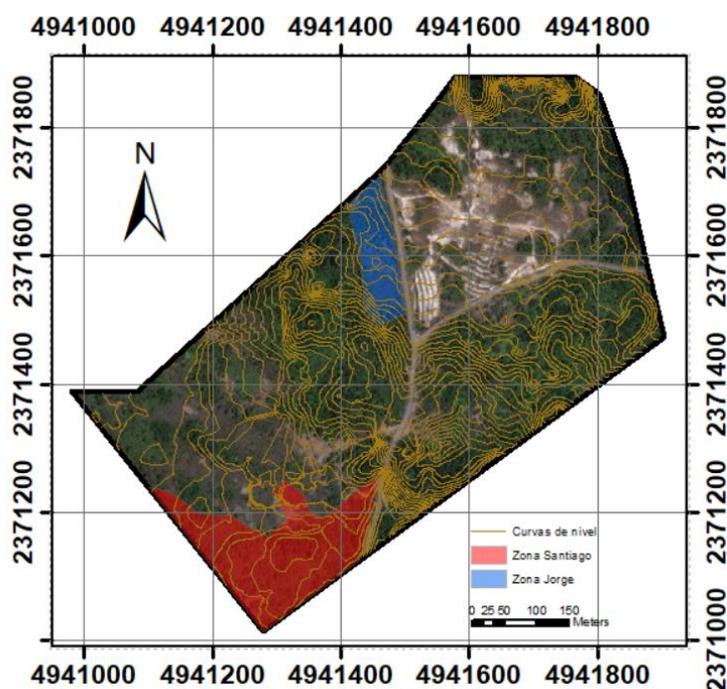


Figura 21. Mapa topográfico de la zona de estudio con las zonas de interés.

Las curvas mostradas en la Figura 21, se trasladan al programa Surpac para la creación del modelo geológico. Cabe resaltar que gracias a la licencia de uso para este programa con la que cuenta Cementos Argos, se pudo utilizar. La Figura 22 muestra las curvas de nivel en 3 visualizaciones desde el programa Surpac, estos son archivos tipo string y su extensión es .str y la conversión de estos archivos se realiza por medio de Surpac.

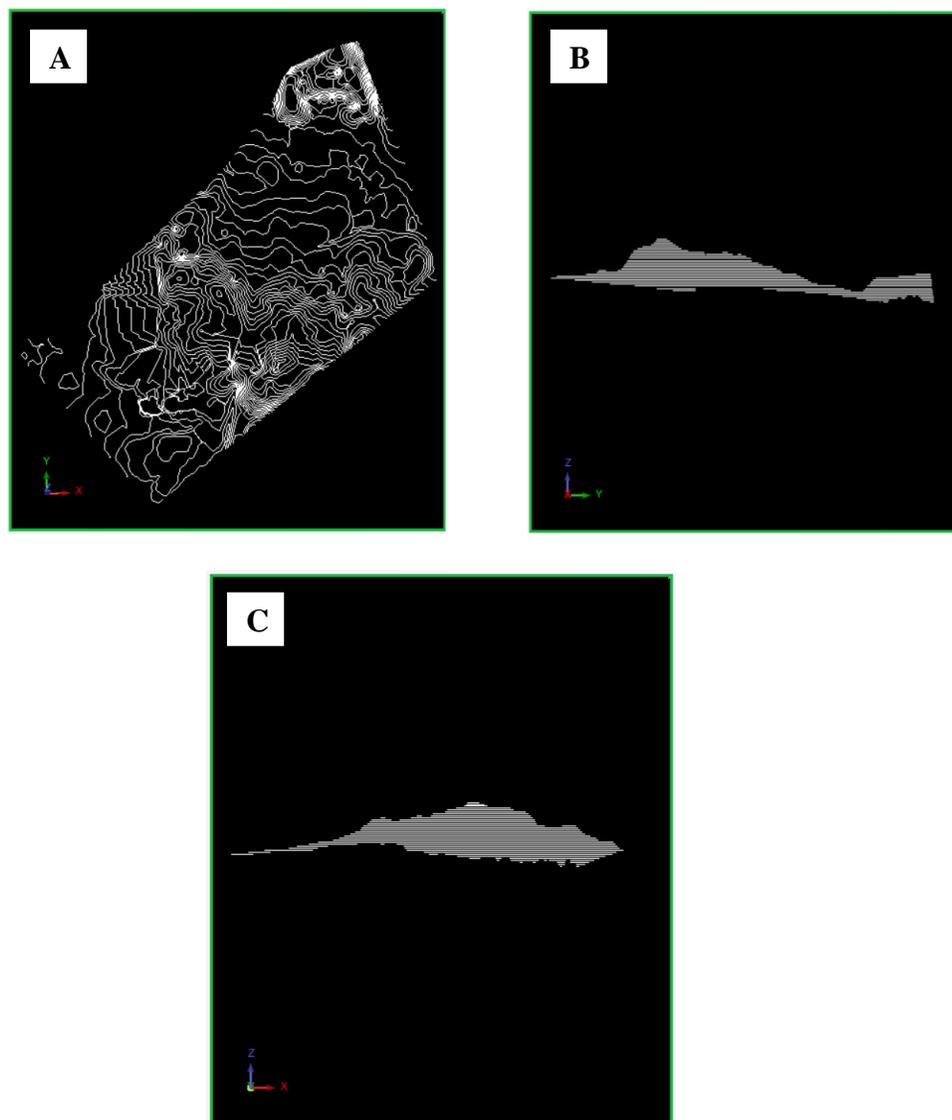


Figura 22. A) Curvas de nivel desde una vista de planta X, Y. B) Curvas de nivel desde una vista de perfil Z, X. C) Curvas de nivel desde una vista de perfil Z, Y.

Con las curvas de nivel en el programa, se modifican las alturas del modelo. Teniendo en cuenta que las perforaciones están entre 1.5 y 0.6 m y el descapote de capa vegetal es de 0.10 m se toma un promedio de espesor de 1 metro para el modelo, por esto, las curvas se disminuyen en un metro en la vertical como se muestra en la Figura 23, para que tanto base como techo, queden con la topografía del terreno y quede de manera precisa a las perforaciones realizadas

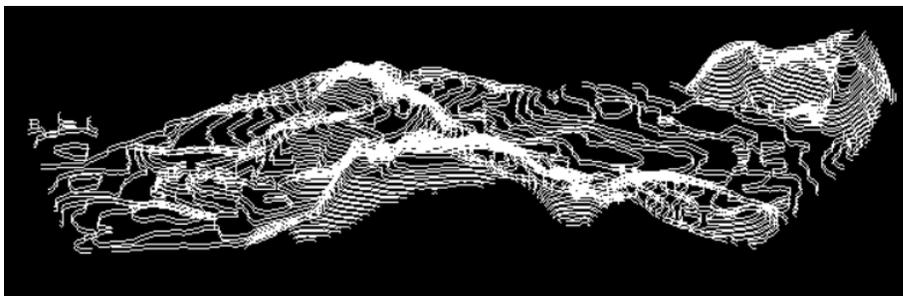


Figura 23. Curvas de nivel con altura normal vs curvas de nivel con altura disminuida en un metro. La escala vertical es exagerada en 5 puntos.

Después de tener las curvas de nivel con las alturas requeridas, se procede a realizar la superficie de las mismas. Surpac permite crear superficie a cualquier tipo de archivo Sting, pasando de tener archivos .str como lo son las curvas, a archivos .dtm pertenecientes a las superficies y sólidos, como se muestra en la figura 24.

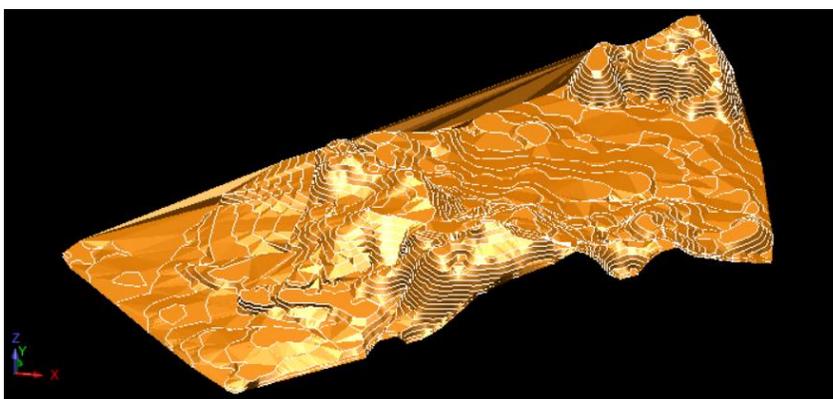


Figura 24. Superficie creada a partir de las curvas de nivel. Estos archivos son tipo .dtm. La escala vertical es exagerada en 5.

El paso siguiente es generar el sólido para cada una de las zonas y cortarlos a partir de las superficies de las curvas de nivel, esto para tener el modelo de los sectores por separado y tener limitada el área de muestreo en vista de planta.

Para tener el área de cada una de las zonas, se genera una base de datos con coordenadas, resultados químicos y nomenclaturas en un documento de texto .txt que será cargado al programa, la Figura 25 muestra la manera en que deben ir los datos para ser visualizados en Surpac.

Y	X	Z	Fe203	samp_id		
2371044.284	4941308.755	135.000	0.12	PS0		
2371104.381	4941248.948	134.500	0.02	PS1		
2371104.091	4941368.851	135.000	0.12	PS3		
2371164.476	4941189.141	132.000	0.02	PS4		
2371164.332	4941249.092	133.500	0.12	PS5		
2371164.188	4941309.044	135.500	0.12	PS6		
2371164.043	4941368.996	135.000	0.01	PS7		
2371163.899	4941428.947	135.000	0.12	PS8		
2371224.573	4941129.333	130.500	0.02	PS9		
2371224.139	4941309.189	137.000	0.02	PS10		
2371223.851	4941429.092	137.000	0.01	PS11		

Y	X	Z	Fe203	samp_id		
2371710.889	4941458.684	129.00	0.04	PJ1		
2371693.395	4941437.678	131.00	0.01	PJ2		
2371685.931	4941417.701	129.50	0.15	PJ3		
2371655.753	4941434.008	133.50	0.14	PJ4		
2371626.927	4941450.457	132.00	0.22	PJ5		
2371599.262	4941469.938	132.50	0.01	PJ6		
2371591.199	4941437.398	133.00	0.01	PJ7		
2371555.108	4941448.694	134.00	0.01	PJ8		
2371520.346	4941462.093	136.50	0.01	PJ9		
2371537.114	4941492.422	134.50	0.01	PJ10		
2371577.101	4941479.919	133.00	0.01	PJ11		
2371644.622	4941461.746	131.50	0.01	PJ12		
2371675.382	4941455.376	131.00	0.28	PJ13		
2371529.496	4941474.792	135.00	0.35	PJ14		
2371635.497	4941439.077	133.00	0.35	PJ15		
2371732.359	4941464.29	128.00	0.35	PJ16		

Figura 25. Datos organizados de cada una de las áreas en archivo .txt para ser cargados a Surpac.

Cuando los datos son cargados al programa, se genera un archivo .str en donde se podrán visualizar los puntos de las muestras con el contenido de Fe₂O₃. Este archivo genera el área de interés donde están contenidas las muestras y gracias a ello, se podrá realizar el sólido necesario para ser cortado con la superficie topográfica mostrada en la Figura 24. La Figura 26 muestra la visualización de los puntos y el área de interés que genera el programa. Cabe aclarar que para que el modelo de bloques contenga todos los puntos muestreados, el área de interés generada en cada zona se debe ampliar un poco como se muestra en la Figura 26.

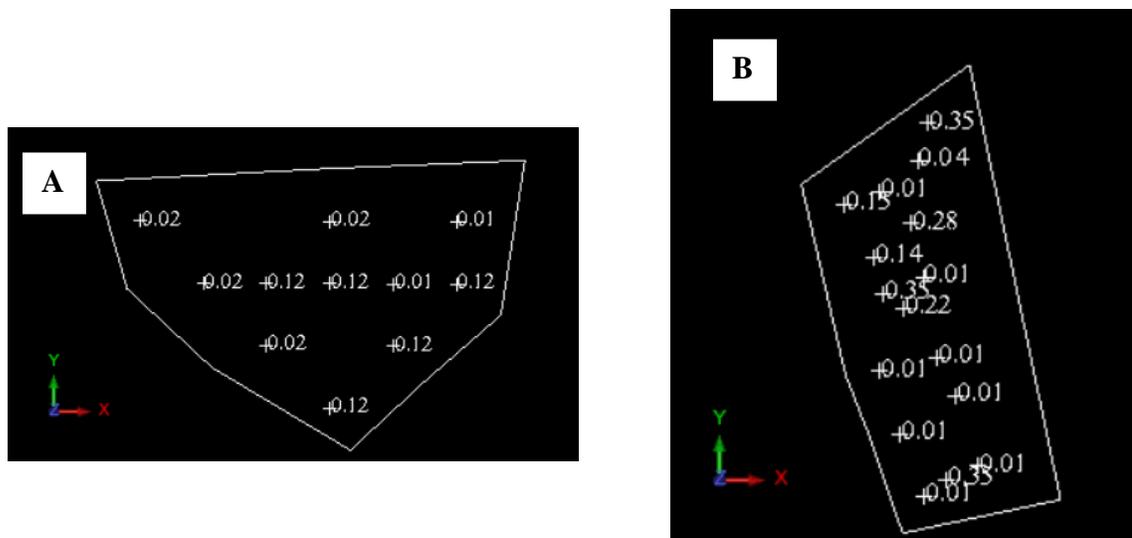


Figura 26. A) Área con los puntos de muestreo de la "Zona Santiago". B) Área con los puntos de muestreo de la "Zona Jorge".

Con las áreas listas, se hace el mismo procedimiento que con las curvas de nivel, solo que, en este caso, el sólido debe tener una altura mayor a la superficie topográfica tanto en base como en techo, para posteriormente ser cortado cortados por esta misma superficie. Las Figura 27 y Figura 28 muestran cómo queda el sólido generado para cada área, contrapuesto con la superficie topográfica para posteriormente ser cortado.

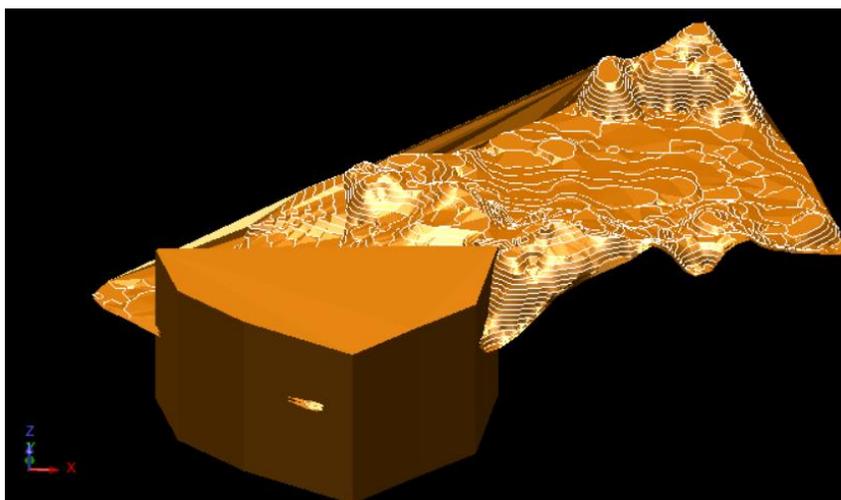


Figura 27. Sólido generado para la "Zona Santiago".

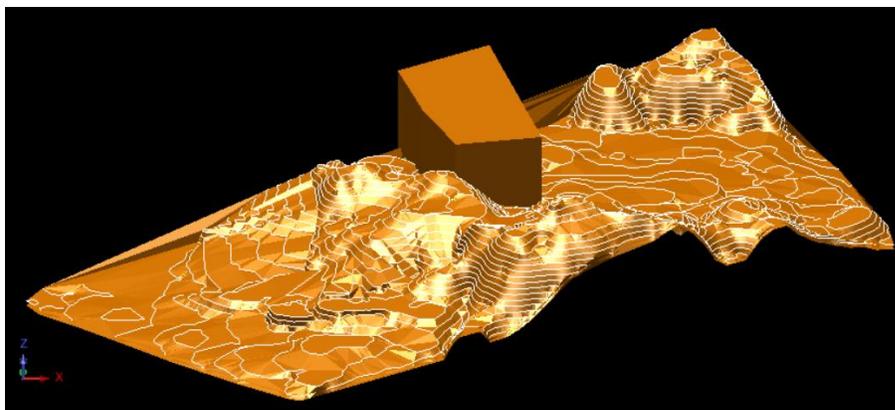


Figura 28. Sólido generado para la "Zona Jorge".

Una vez cortados los sólidos, se obtienen los modelos geológicos para cada zona a partir de la topografía, estos serán mostrados en el apartado de RESULTADOS.

8.3.2 Elaboración del modelo de bloques en Surpac.

La generación del modelo de bloques es una gran herramienta con la que cuenta Surpac y permite como su nombre lo indica, generar bloques o cubos con determinadas medidas según el tamaño del depósito en interés. La geoestadística permitirá gracias al programa, asignar valores en este caso de Fe_2O_3 a los bloques según las muestras tomadas y permite dar un estimado de cuanto material de interés hay en toneladas.

Como primera medida se tienen que establecer los límites del modelo de bloques según las coordenadas del área y las dimensiones de cada bloque, que en este caso estas fueron de 5 x 5 x 1 (este último representa la profundidad), se recomienda ampliar los datos de coordenadas del polígono para que el modelo contenga el área en su totalidad y evitar la elaboración de nuevos modelos. La Figura 29 y la Figura 30 muestran los modelos ampliados para cada una de las zonas

de interés. Cabe resaltar que a cada modelo se le crean atributos tales como la estimación por contenido de Fe_2O_3 , volumen, densidad y toneladas.

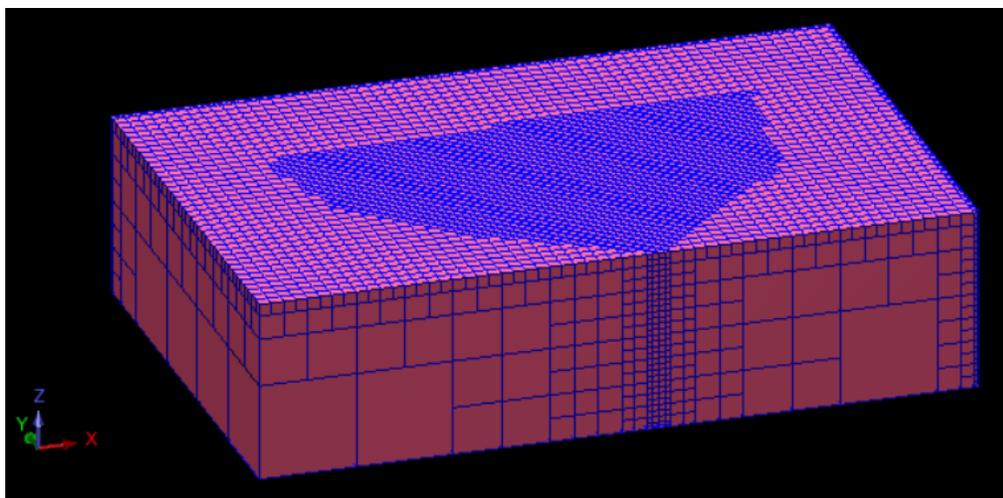


Figura 29. Modelo de bloques ampliado para la "Zona Santiago".

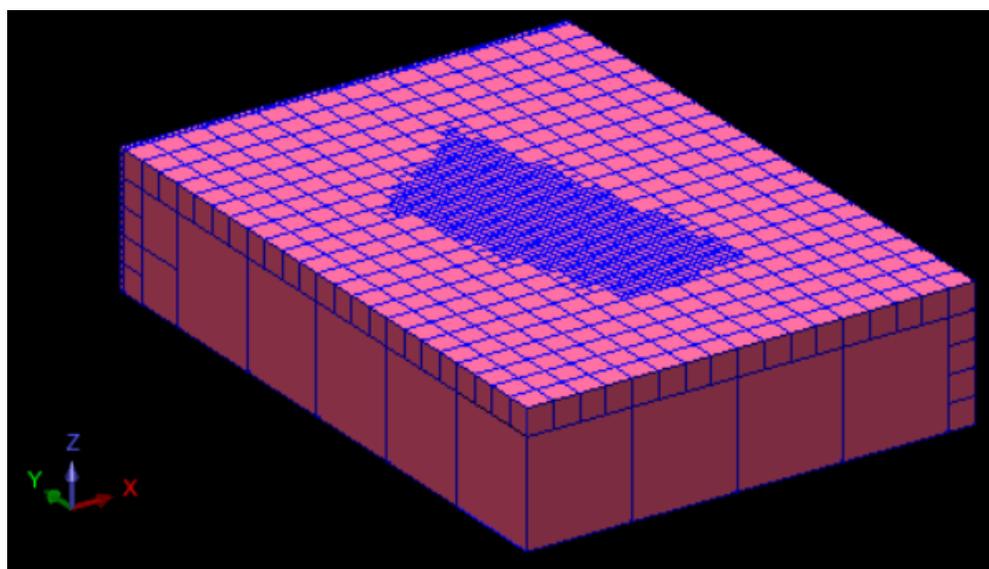


Figura 30. Modelo de bloques ampliado para la "Zona Jorge".

Después de generar los dos modelos, se realiza la estimación de recursos con los datos estadísticos obtenidos en el SGeMs, para que cada bloque tenga su respectivo contenido de Fe_2O_3

según los puntos de muestreo tomados. Por otra parte, se hace una restricción para que el modelo quede limitado al área de trabajo, como se observa en la Figura 31 y la Figura 32.

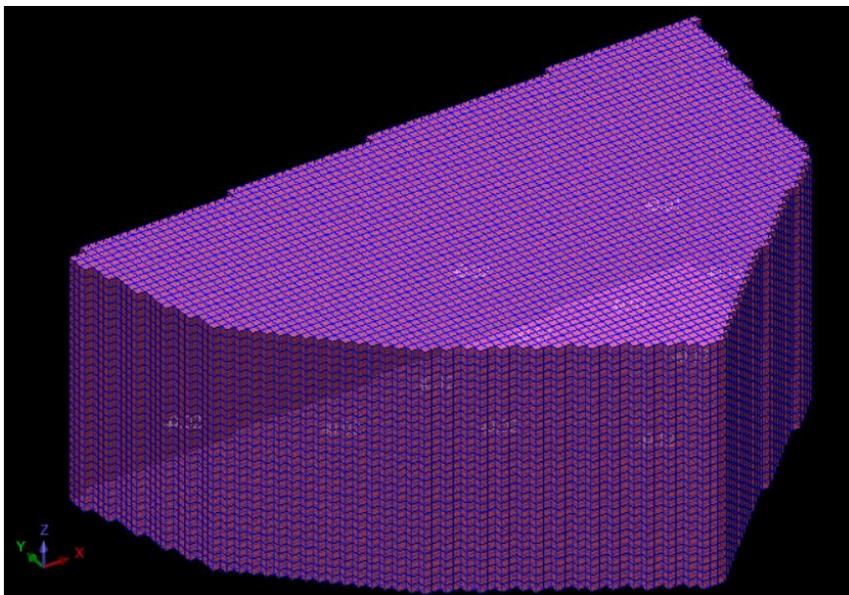


Figura 31. Modelo de bloques limitado al área perteneciente a la "Zona Santiago".

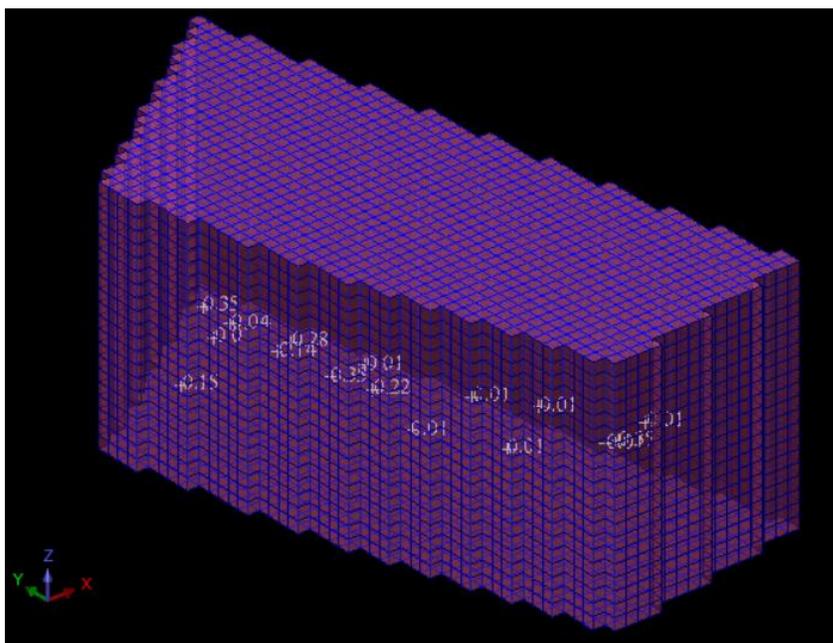


Figura 32. Modelo de bloques limitado al área perteneciente a la "Zona Jorge".

9 RESULTADOS

Como resultado final de todo el proyecto, se obtuvieron los modelos geológicos y de bloques del depósito de arena y, a partir de este último se obtuvo una estimación de recursos para el mismo. Se logró diferenciar que sectores de arena cumplieran con los estándares de calidad para ser usada en la fabricación de cemento blanco y que sectores de arena eran no conformes y que posiblemente su uso final sea comercializarla.

9.1 Modelo geológico en Surpac

Como resultado de haber cortado los sólidos del área con la topografía, la Figura 33 y la Figura 34, muestran el resultado de los modelos geológicos para cada una de las zonas del estudio.

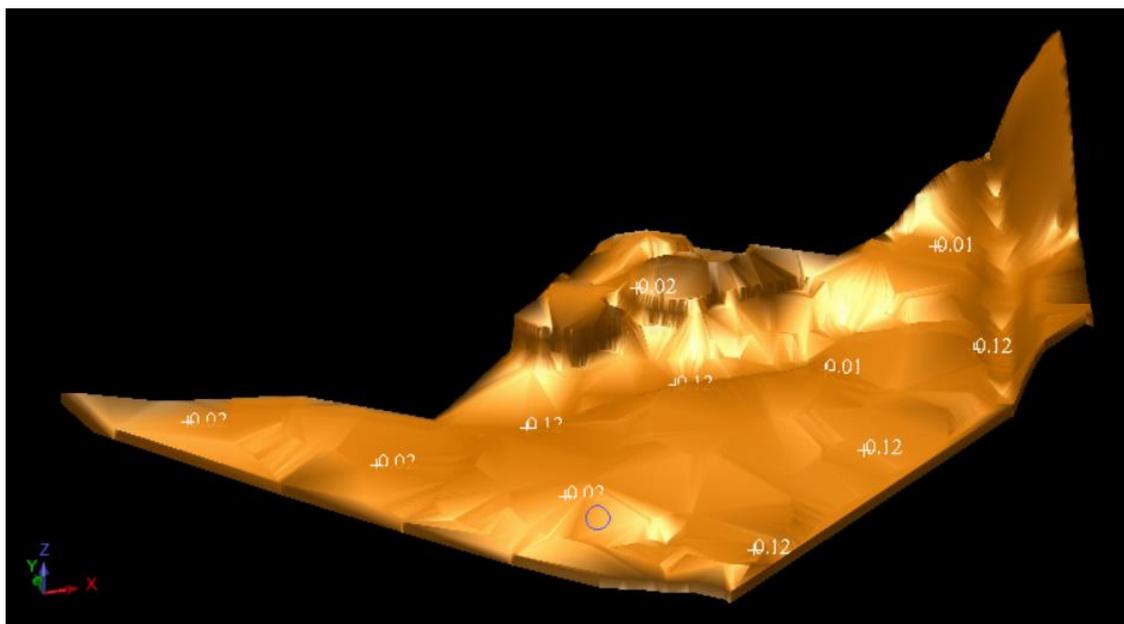


Figura 33. Modelo geológico a partir de la topografía de la "Zona Santiago". Cabe resaltar que la escala vertical se encuentra exagerada en 5 puntos.

muestran la vista en planta de las dos zonas para relacionar el modelo con los resultados químicos de Fe_2O_3 .

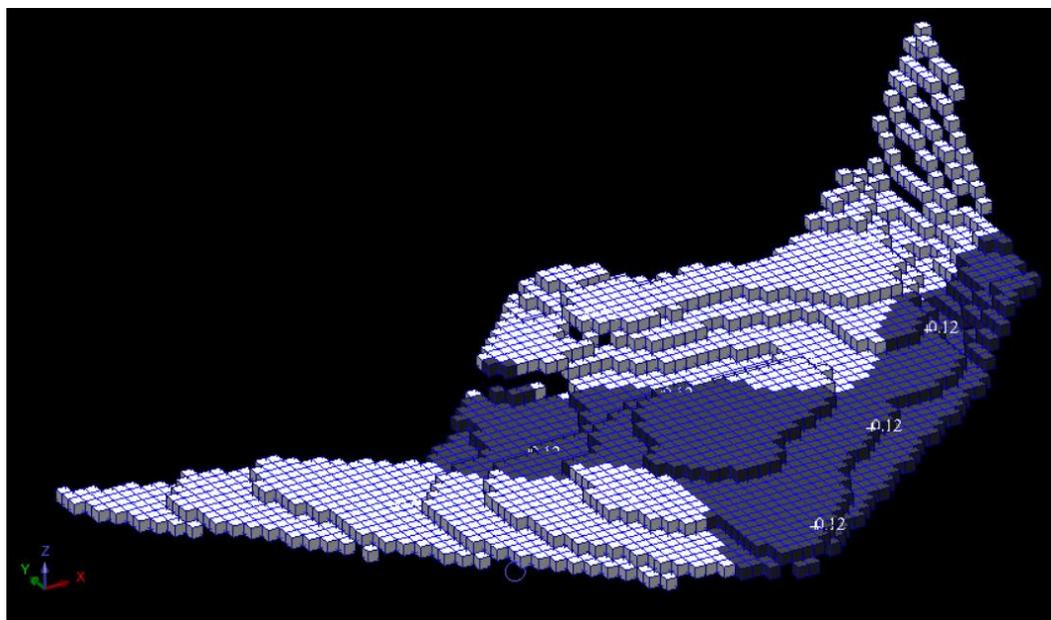


Figura 35. Modelo de bloques para la "Zona Santiago" con los atributos de Fe_2O_3 según la estimación. La escala vertical se encuentra exagerada en 5 puntos.

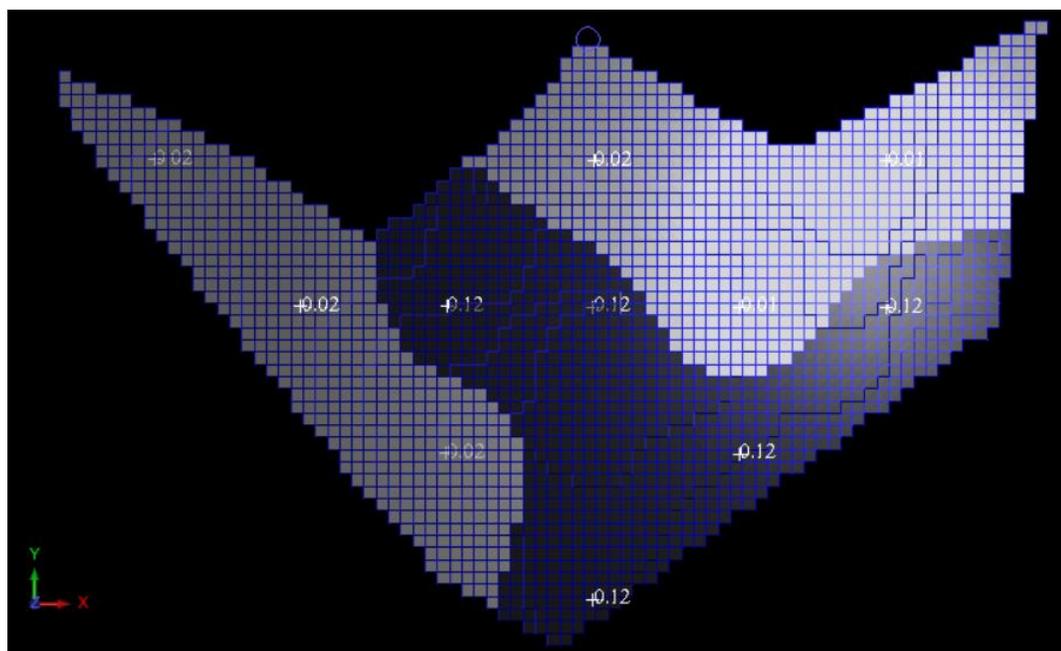


Figura 36. Vista en planta del modelo de bloques para la "Zona Santiago" con los resultados químicos de cada muestra. La escala vertical se encuentra exagerada en 5 puntos.

Después de haber construido los modelos de bloques, se pueden construir restricciones para cada uno de los contenidos de Fe_2O_3 y saber cuánto hay en toneladas para arena blanca y arena gris. La Figura 39 y la Figura 40 muestran los bloques asociados a cada material para la “Zona Santiago” y la Figura 41 y la Figura 42 para la “Zona Jorge”. Para calcular el tonelaje, se multiplica el volumen resultante de los modelos con la densidad de las arenas y se categorizan los recursos entre inferidos, indicados y medidos, sin embargo, por políticas de privacidad de Cementos Argos, las toneladas y la categorización no pueden ser publicados.

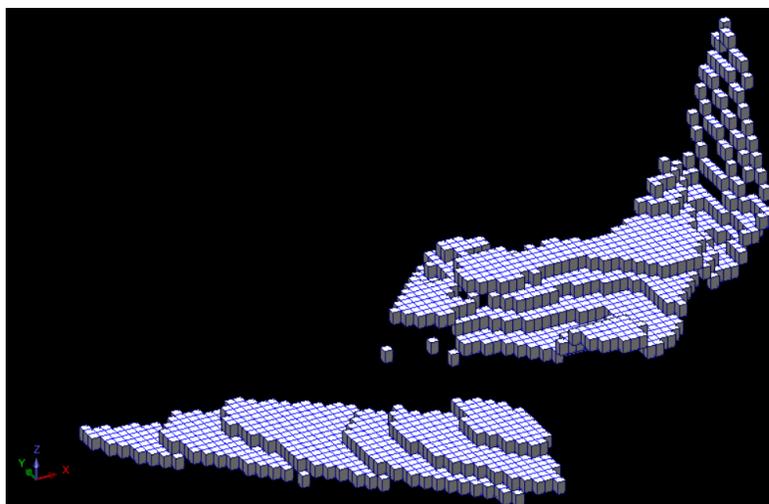


Figura 39. Bloques asociados a la arena blanca para la “Zona Santiago”.

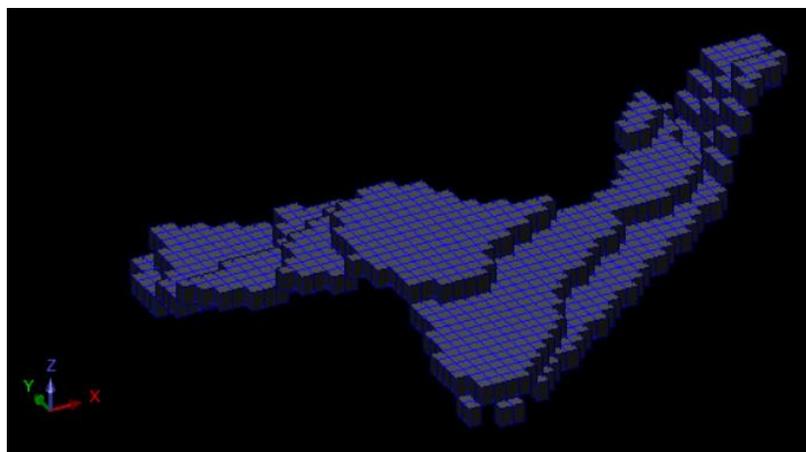


Figura 40. Bloques asociados a la arena gris para la "Zona Santiago".

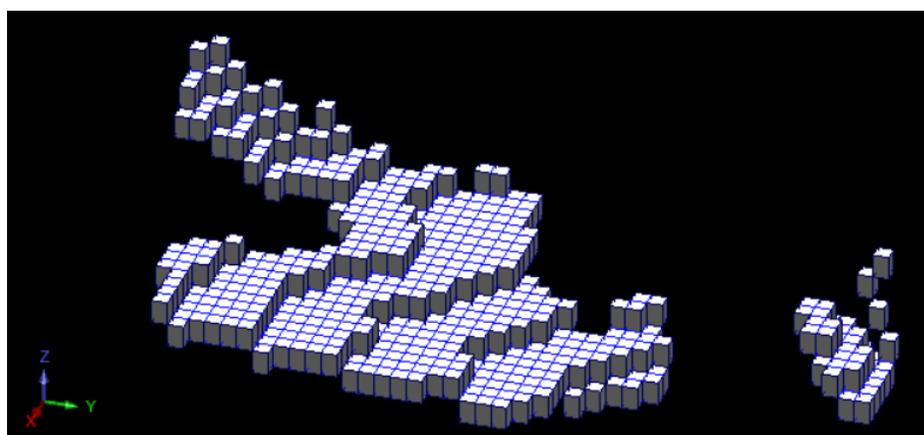


Figura 41. Bloques asociados a la arena blanca para la "Zona Jorge".

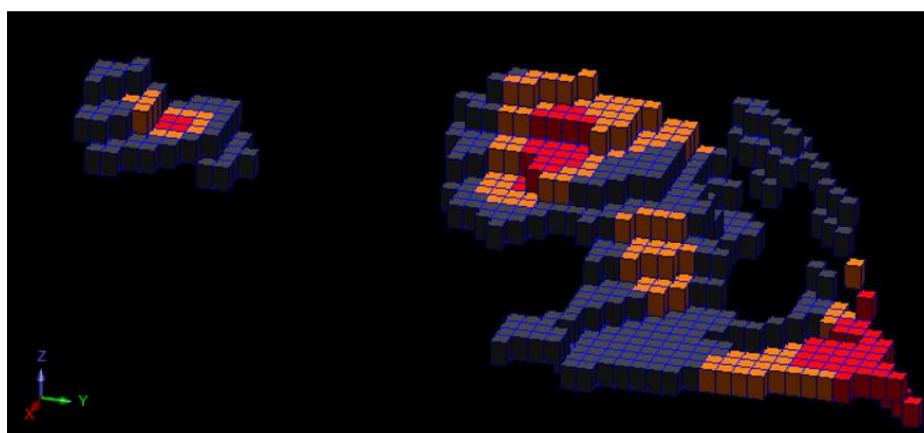


Figura 42. Bloques asociados a la arena gris para la "Zona Jorge"

10 CONCLUSIONES

- El depósito de arena de cuarzo presenta una gran variación en su contenido de Fe_2O_3 , pues este puede tener un gran contenido de este elemento en un sector y en el sector inmediatamente aledaño no tener.
- Los muestreos con una malla de ubicación de menor tamaño permiten tener datos más exactos a la hora de sectorizar las arenas con el contenido de Fe_2O_3 debido al contenido tan variable del mismo.
- Realizar un adecuado procedimiento de muestreo permite obtener datos verídicos a la hora de dar resultados químicos. Es importante no contaminar la arena debido a la pureza que necesita para ser materia prima del cemento blanco.
- Se requiere una explotación manual debido a la importancia en cuanto a pureza que necesita la arena de cuarzo, cualquier contaminante puede ser impedimento para usarse en el proceso productivo del cemento.
- El depósito también está compuesto por gravas, esta litología no es apta para la fabricación de cemento, así cuenta con algo contenido en sílice, por eso los sectores en donde se encuentre grava en un primer estrato, quedan descartados automáticamente.
- Debido a que la explotación es manual, si el material de interés no se encuentra en el sector más superficial del depósito, se descarta, esto incluye litologías como gravas y arenas con muy alto contenido en Fe_2O_3 .

- El tiempo es un factor muy importante en las campañas exploratorias y de muestreo debido a la distancia a la que se encuentra la mina de Planta Nare. Un buen cubrimiento del área de exploración requiere de una excelente optimización del tiempo.
- La profundidad de las perforaciones es sumamente importante a la hora de realizar la estimación. Estas, son el punto de partida para saber elegir entre diversas herramientas que se aplican mejor a unos depósitos que a otros.
- Identificar las variables que puedan afectar los resultados finales en cuanto a estimación de recursos es de vital importancia, esto para tener una estimación eficaz y no tener datos errados con los resultados finales.
- Contar con un laboratorio propio como lo tiene Planta Nare, permite agilizar las labores del proyecto y poder hacerlo en el menor tiempo posible.

11 RECOMENDACIONES

- Se recomienda hacer un muestreo con una malla de trabajo más pequeña en el sector denominado “Zona Santiago” para tener una mayor veracidad del contenido de Fe_2O_3 entre los sectores que arrojaron resultados positivos para arena blanca, pues el contenido de este elemento en el depósito es muy variable.
- Para altos contenidos de Fe_2O_3 o altos erráticos se recomienda usar la fórmula estadística usada en los datos químicos antes de ingresarlos a la estadística de la estimación pues los valores muy altos podrían afectar el resultado de la estimación y dar contenidos errados a los bloques generados.
- Se sugiere destinar más días a la hora de hacer realizar las campañas de marcación y muestreo con el fin de cubrir más zonas en los terrenos deseados.
- Continuar con la exploración del depósito de arenas y de los depósitos de las demás materias primas adscritos a Planta Nare para una correcta proyección de las minas de los títulos.

12 BIBLIOGRAFÍA

INDERENA (1995): Estudio de geología e impacto ambiental para la explotación y aprovechamiento de las arenas silíceas. Municipio Sabana de Torres. Unidad de investigación y gestión ambiental - INDERENA. Bucaramanga, p. 154.

Fonseca, H. & Fuquen, J., (2012), *Cartografía geológica de la Plancha 108 “Puerto Wilches”*, Escala 1:100000, UPTC e INGEOMINAS. p 165.

Hubach, E. (1957): *Contribución a las Unidades Estratigráficas de Colombia. Informe 1212*. Instituto Geológico Nacional (INGEOMINAS).

Ward D., Goldsmith R., Cruz J. & Restrepo H., (1973), *Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona departamento de Santander*. Boletín Geológico (Bogotá), Vol. XXI, N.º 1-3.

Orshansky, M. et al. (2007). *Diseño para la Manufacturabilidad y Diseño Estadístico: Un Enfoque Constructivo*. Springer Science & Business Media.

De Porta, J. (1965). *La estratigrafía del Cretácico Superior y Terciario en el Extremo S del valle Medio del Magdalena*. Boletín De Geología, (19), 5–50. Recuperado a partir de www.revistas.uis.edu.co.

UPME (2012 – 2016). *Balance del Mineral 2012 – 2016*. UPME. Consultado el 10 de julio de 2023. www.upme.gov.co.

Slide Player (2015). *Curso de Geoestadística 3. Análisis estructural*. Slide Player, Consultado el 17 de julio de 2023. www.slideplayer.es.

Ordóñez-Carmona, (2001). *Caracterização isotópica RbSr e SmNd dos principais eventos magmáticos nos Andes Colombianos*. Tesis de doctorado, Univ. de Brasília, pp 1-177.