

**GEOLOGÍA DE DESARROLLO MINERO USANDO PERFORACIONES CON
TRACK DRILL PARA DELIMITAR Y MEDIR EL ESPESOR DEL CONTACTO
ESTÉRIL-ARENA EN LOS TAJOS 1, 2, 6 Y EL FRENTE ACTIVO CARDENAS
DE LA MINA EL TUNAL. ZIPAQUIRÁ, CUNDINAMARCA**

CESAR AUGUSTO OJEDA SANABRIA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA**

2015

**GEOLOGÍA DE DESARROLLO MINERO USANDO PERFORACIONES CON
TRACK DRILL PARA DELIMITAR Y MEDIR EL ESPESOR DEL CONTACTO
ESTÉRIL-ARENA EN LOS TAJOS 1, 2, 6 Y EL FRENTE ACTIVO CARDENAS
DE LA MINA EL TUNAL. ZIPAQUIRÁ, CUNDINAMARCA**

CESAR AUGUSTO OJEDA SANABRIA

Trabajo de grado para optar al título de:

GEÓLOGO

Director

JUAN DIEGO COLEGIAL

Geólogo PhD.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA**

2015

*“... Aunque no estés presente aquí para celebrar este
triunfo, se que desde el cielo estas junto a mi...”*

A mi abuela † (2004)

AGRADECIMIENTOS

Inicialmente, quiero agradecer a Dios todopoderoso por todas las maravillosas experiencias que viví durante mi paso por la academia, cada momento de felicidad y tristeza que hoy influyeron de manera positiva en la finalización de este largo camino.

A mi madre Ludy por ser el motor de mi vida.

A mi padre Cesar por demostrarme que se puede ser un guerrero incluso en los momentos difíciles.

A mi hermana Leidy y a su mascota Kloe por enseñarme el verdadero valor de la amistad.

A mis tías Yaneth y Rosalba por el apoyo moral y económico durante este proceso

A mi familia entera por estar pendientes de cada paso que di.

A mis compañeros de la universidad porque fueron excelentes amigos.

A mi director Juan Diego colegial por el tiempo y apoyo durante el proceso académico administrativo en la realización de este trabajo de grado.

A Karina y Alejandra por compartir conmigo tantas sonrisas alegres.

A la compañía Peldar S.A. y a sus ingenieros Carlos Jaime, Carlos Melo, Iván Tarazona, Gustavo Álvarez y Anabel Castañeda por el acompañamiento en esta práctica empresarial

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	16
1 OBJETIVOS	17
1.1 GENERAL.....	17
1.2 ESPECÍFICOS.....	17
2 GENERALIDADES.....	18
2.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	18
2.2 METODOLOGÍA	21
3 GEOLOGÍA	23
3.1 GEOLOGÍA REGIONAL.....	23
3.2 ESTRATIGRAFIA.....	23
3.3 GEOLOGÍA LOCAL	25
3.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	28
4 EXPLORACIÓN GEOLÓGICA.....	30
4.1 PERFORACIONES CON TRACK DRILL.....	30
4.2 RESULTADOS OBTENIDOS.....	33
5 MODELO GEOLÓGICO MINERO.....	42
5.1 PERFILES GEOLÓGICOS	42
5.2 MODELO DE BLOQUES	46
5.3 CARACTERIZACIÓN DE RECURSOS.....	49
6 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS MUESTRAS DE ARENA	62
6.1 PROCESO DE LAVADO Y SECADO	62
6.2 PROCESO DE ANÁLISIS CON DIFRACCIÓN DE RAYOS X	64
6.3 PROCESO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	66
6.4 NIVELES DE CALIDAD	67

7 CONCLUSIONES.....	72
BIBLIOGRAFÍA.....	74

LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Localización del título minero 2604 de Induprimas.	18
Figura 2. Diseño general de la mina.	19
Figura 3. Ubicación de las zonas de perforación.	20
Figura 4. Mapa geológico Generalizado.	23
Figura 5. Mapa geológico Detallado.	26
Figura 6. Columna estratigráfica generalizada.....	27
Figura 7. Perfil Geológico Generalizado.	28
Figura 8. Red estereográfica con las familias de discontinuidades presentes.	29
Figura 9. Distribución espacial de las Perforaciones Tajo 1 Sur.	34
Figura 10. Distribución espacial de las Perforaciones Tajo 1 Norte.	36
Figura 11. Distribución espacial de las Perforaciones Tajo 6.	37
Figura 12. Distribución espacial de las Perforaciones Tajo 2.	38
Figura 13. Distribución espacial de las Perforaciones La Campiña.	40
Figura 14. Distribución espacial de las Perforaciones Mina Vieja.	41
Figura 15. Modelo en 3D generado en Surpac de la mina mostrando el bloque de la zona tajo 6.	42
Figura 16. Ejemplo de Líneas de Perfiles tajo 6.	43
Figura 17. Integración del contacto Estéril Arena en el perfil.	44
Figura 18. Grilla del contacto tajo 6. Software Carlson Mining.	45
Figura 19. Cruce de las grillas contacto (Rojo) y topografía (Azul). Software Carlson Mining.	45
Figura 20. Restricciones usadas en Surpac (Der), niveles Estratigráficos (Izq.).....	47
Figura 21. Restricción del Contacto cortando el bloque generado para las zonas Tajo 1 Norte y Tajo 1 Sur. Software Surpac.	47
Figura 22. Modelo de bloque preliminar de la Zona tajo 1 Sur. Software Surpac.	48
Figura 23. Modelo de bloque Tajo 1 Sur cortado por el diseño final de la mina. Software Surpac.....	49
Figura 24. Localización y perfiles geológicos Tajo 1 Norte.	50
Figura 25. Modelo de Bloque Tajo 1 Norte.	51
Figura 26. Localización y Perfiles Geológicos Tajo 1 Sur.	52

Figura 27. Modelo de Bloque Tajo 1 Sur.	53
Figura 28. Localización y Perfiles Geológicos Tajo 6.....	54
Figura 29. Modelo de Bloque Tajo 6.	55
Figura 30. Localización de perfiles geológicos Tajo 2.....	56
Figura 31. Modelo de Bloque Tajo 2.	57
Figura 32. Localización de perfiles geológicos La Campiña.	58
Figura 33. Modelo de Bloque La Campiña.....	59
Figura 34. Localización de perfiles geológicos Mina Vieja.....	60
Figura 35. Modelo de Bloque Mina Vieja.	61
Figura 36. Intervalos de Calidad.	67
Figura 37. Mapa de Isotenes Tajo 1 Sur.....	69
Figura 38. Mapa de Isotenes Tajo 1 Norte.	71

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Zonas de Perforación.....	20
Tabla 2. Familias de Discontinuidades presentes.....	29
Tabla 3. Coordenadas Tajo 1 Sur.....	33
Tabla 4. Perforaciones Tajo 1 Sur.....	33
Tabla 5. Coordenadas Tajo 1 Norte.....	35
Tabla 6. Perforaciones Tajo 1 Sur.....	35
Tabla 7. Coordenadas Tajo 6.....	36
Tabla 8. Perforaciones Tajo 6.....	37
Tabla 9. Coordenadas Tajo 2.....	38
Tabla 10. Perforaciones Tajo 2.....	38
Tabla 11. Coordenadas La Campiña.....	39
Tabla 12. Perforaciones La Campiña.....	39
Tabla 13. Coordenadas Mina vieja.....	40
Tabla 14. Perforaciones Mina Vieja.....	41
Tabla 15. Volumen de estéril por el método de Grillas. Software Carlson.....	46
Tabla 16. Muestras Analizadas Tajo 1 Sur.....	68
Tabla 17. Resultados Obtenidos de los análisis Tajo 1 Sur.....	68
Tabla 18. Porcentajes Obtenidos Tajo 1 Sur. Fuente: Autor.....	69
Tabla 19. Muestras Analizadas Tajo 1 Norte.....	70
Tabla 20. Resultados Obtenidos de los análisis Tajo 1 Sur.....	70
Tabla 21. Porcentajes Obtenidos Tajo 1 Norte.....	71

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

pág.

Fotografía 1. Panorámica Frente de Explotación Cárdenas. Contacto entre suelo franco arenoso y la unidad arenisca Tierna Nivel Inferior (Octubre 2014).	25
Fotografía 2. Equipo de perforación TRACK DRILL (Nov. 2014).	30
Fotografía 3. Trochas de Acceso tajo 1 norte (Izq.), Perforación alcanzando el techo de la arenisca tajo 1 norte. (Der).	31
Fotografía 4. Perforación en los 3 horizontes, Suelo, Arcilla, Arenisca.	31
Fotografía 5. Perforación tapada por niveles de Arcilla muy Húmeda.....	32
Fotografía 6. Perforación alcanzando el nivel de arenisca.....	32
Fotografía 7. Equipo Scrubber para lavado.	62
Fotografía 8. Eliminación de finos mediante el proceso de Lavado.	63
Fotografía 9. Proceso de Secado.	63
Fotografía 10. Implementos de Laboratorio para pulverizar la muestra. ...	64
Fotografía 11. Molino.	64
Fotografía 12. Prensa Hidráulica.	65
Fotografía 13. Equipo de Fluorescencia de Rayos x.....	65
Fotografía 14. Equipo de Tamizado.....	66

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. COORDENADAS TOPOGRAFICAS PARA CADA PERFORACION.

ANEXO B. PERFILES GEOLOGICOS TAJO 1 SUR.

ANEXO C. PERFILES GEOLOGICOS TAJO 1 NORTE.

ANEXO D. PERFILES GEOLOGICOS TAJO 6.

ANEXO E. PERFILES GEOLOGICOS TAJO 2.

ANEXO F. PERFILES GEOLOGICOS LA CAMPIÑA.

ANEXO G. PERFILES GEOLOGICOS MINA VIEJA.

ANEXO H. MAPA DE ISOTENSORES TAJO 1 NORTE.

ANEXO I. ANALISIS GRANULOMETRICO.

RESUMEN

TITULO: GEOLOGÍA DE DESARROLLO MINERO USANDO PERFORACIONES CON TRACK DRILL PARA DELIMITAR Y MEDIR EL ESPESOR DEL CONTACTO ESTÉRIL-ARENA EN LOS TAJOS 1, 2, 6 Y EL FRENTE ACTIVO CARDENAS DE LA MINA EL TUNAL. ZIPAQUIRÁ, CUNDINAMARCA*

AUTOR: CESAR AUGUSTO OJEDA SANABRIA**

PALABRAS CLAVES: Arenas Silíceas, Perforaciones, Track Drill. Desarrollo Minero.

El título minero 2604 conocido como Mina el Tunal, localizado en los municipios de Zipaquirá, Cogua, Tocancipá, y Nemocón en donde Industrial de Materias Primas (INDUPRIMAS S.A.S.) lleva a cabo la explotación de arenas silíceas de la formación geológica Arenisca Labor-Tierna; Grupo Guadalupe. La empresa ha venido operando continuamente suministrando material a OWENS ILLINOIS-PELDAR S.A.

Se suministran tres tipos de arena conocidos internamente como Arena Común, Arena de Cristalería y Arena común Bajo Hierro con características diferentes en cuanto al color, tamaño de grano y contenido de Óxidos de Hierro.

Las perforaciones con Track Drill para el Modelamiento minero son un método de aplicación en la exploración geológica para conocer la forma y los espesores de los niveles más someros del subsuelo.

Para obtener un modelo detallado del subsuelo del área de interés de la mina y con el fin de calcular el espesor real del descapote en zonas adyacentes a los frentes de explotación, se trabajó con un equipo de perforación Track Drill para realizar una campaña de sondeos de perforación en 6 zonas dentro del título minero para delimitar con mayor precisión el contacto estéril – arena. Para tal fin, se realizó la ejecución, procesamiento e interpretación de las perforaciones en los tajos 1, 2 y 6 y el frente activo Cárdenas para establecer un estimado de reservas de arena silícea.

El título minero dentro de su geología además de las areniscas cuarzosas, presenta flujos de lodo y arcilla depositados durante el periodo Cuaternario que alcanzan profundidades mayores a 12 metros para lo cual se busca precisar la ubicación y la forma de dichos flujos en las zonas de interés minero. Este estudio de exploración geológica guiará a la empresa en el desarrollo minero por zonas a corto plazo conociendo los costos operacionales en la extracción del mineral.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Geología. Director: Juan Diego Colegial, Ph. D. Geología

ABSTRACT

TITLE: GEOLOGY OF MINING DEVELOPMENT USING TRACK DRILL FOR DRILLING TO IDENTIFY AND MEASURE THE THICKNESS OF SAND - BARREN CONTACT IN PITS 1, 2, 6 AND FRONT CARDENAS ACTIVE OF THE MINE THE TUNAL. ZIPAQUIRÁ, CUNDINAMARCA*

AUTHOR: CESAR AUGUSTO OJEDA SANABRIA**

KEYWORDS: Silica sand, Drilling, Track Drill. Mining Development.

The mining title 2604 known as Mina Tunal, is located in the municipalities of Zipaquirá, Cogua, Tocancipá and Nemocon, where Industrial Raw Materials (INDUPRIMAS SAS) performs the operation of silica sand sandstone of geological formation Labor- Tierna; Guadalupe Group. It has been operating continuously supplying material to OWENS-ILLINOIS Peldar SA Company for the production of glass containers and glassware.

Three types of sand known internally as, common sand, Glassware sand and common Under Iron sand with different characteristics in terms of color, grain size and content of Iron Oxides are supplied.

Drilling with Track Drill for the mining modeling is a method of application in geological exploration to determine the shape and thickness of the shallow subsurface levels.

For a detailed subsurface within the area of interest of mine and to calculate the actual thickness of overburden in areas adjacent to the fronts operating model, is working with a rig Track Drill for a campaign of polls Drilling into 6 zones within the mining title to define more precisely the sterile contact - sand.

I realized the acquisition, processing and interpretation of the perforations in the pits 1, 2 and 6 and active front Cardenas was performed and establish estimated reserves of silica sand.

The mining title in their geology presents mudflows and clay deposited during the Quaternary period reaching depths greater than 12 meters for which it seeks to pinpoint the location and geometry of these flows within the areas of mining interest.

This study geological exploration could guide the company in the development for areas in short time knowing the operational costs of extracting the mineral.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Geología. Director: Juan Diego Colegial, Ph. D. Geología.

INTRODUCCIÓN

En el presente informe se muestran los resultados obtenidos a partir de los trabajos de exploración geológica usando perforaciones con Track Drill realizados dentro de la mina, con el fin de modelar el contacto estéril-arena en las zonas de explotación a corto plazo y definir la geometría de los depósitos cuaternarios que son uno de los principales obstáculos a la hora del desarrollo minero.

Durante los meses de Octubre, Noviembre, Diciembre (2014) y Enero (2015) se llevó a cabo la exploración de areniscas cuarzosas y consistió en perforar seis zonas dentro de la mina con una profundidad del orden de los 14.10 metros.

Inicialmente se llevó a cabo el trazo de unas trochas para facilitar el acceso del equipo de perforación y cubrir en totalidad todas las áreas.

El trabajo de campo, tanto para la realización de las perforaciones como para realizar los muestreos de roca fueron programados para ser ejecutados en 3 meses. En total se ejecutaron 281 sondeos con Track Drill distribuidos en las seis zonas así: 79 sondeos de 1 varilla; 124 sondeos de 2 varillas; 61 sondeos de 3 varillas y 17 sondeos de 4 varillas. Se usaron tres varillas con una longitud de 3.70 metros y una cuarta varilla con 3 metros de longitud.

El total de muestras obtenidas por área perforada son: 48 muestras en tajo 1 sector sur; 32 muestras en tajo 1 sector norte; 39 muestras en tajo 6; 36 muestras en tajo 2; 6 muestras en cárdenas la campiña y 9 muestras en cárdenas mina vieja para un total de 170 muestras.

El trazado definitivo de las vías o trochas de acceso fue propuesto de tal manera que en una etapa posterior y dependiendo de los resultados obtenidos sirva como vía de acceso principal para la maquinaria de explotación y el respectivo transporte del material a la planta de arena.

1 OBJETIVOS

1.1 GENERAL

- Caracterizar la geometría del contacto estéril-arena para determinar el volumen de arena en los niveles superior e inferior de la formación Arenisca Labor tierna, Grupo Guadalupe y medir el espesor del descapote por medio de perforaciones con Track Drill separados cada 20 m en los tajos 1,2,6 y el frente activo cárdenas.

1.2 ESPECÍFICOS

- Localización y registro geológico de las perforaciones en el desarrollo minero.
- Diferenciación de unidades litoestratigráficas (Características composicionales, texturales y estructuras).
- Integración de los registros obtenidos en las perforaciones con la geología existente o levantada, correlaciones litológicas.
- Obtener la geometría del contacto Estéril- Arena.
- Determinar el espesor y la relación de Descapote.
- Calcular el volumen de arena de los niveles superior e inferior de la formación Arenisca Tierna, Grupo Guadalupe.
- Analizar el comportamiento de óxidos de hierro en las areniscas de los niveles superior e inferior para definir niveles de calidad.

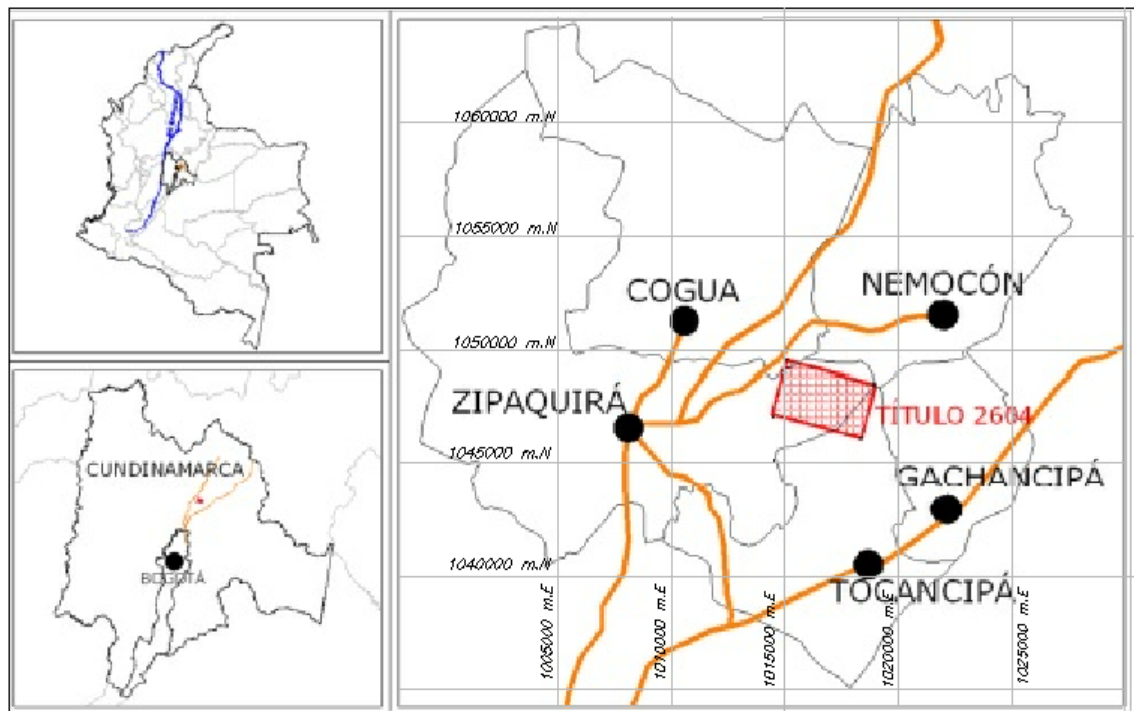
2 GENERALIDADES

2.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área minera en donde se realizó la práctica empresarial corresponde a la denominada mina “El Tunal” que es propiedad de la compañía Induprimas S.A.S. y se localiza dentro del polígono definido como el Título Minero 2604 que abarca una superficie de 984 Hectáreas.

El polígono minero se encuentra localizado mayoritariamente en jurisdicción del municipio de Zipaquirá, pero igualmente se relaciona muy marginalmente con los municipios de Tocancipá, Cogua y Nemocón en el Departamento de Cundinamarca.

Figura 1. Localización del título minero 2604 de Induprimas.



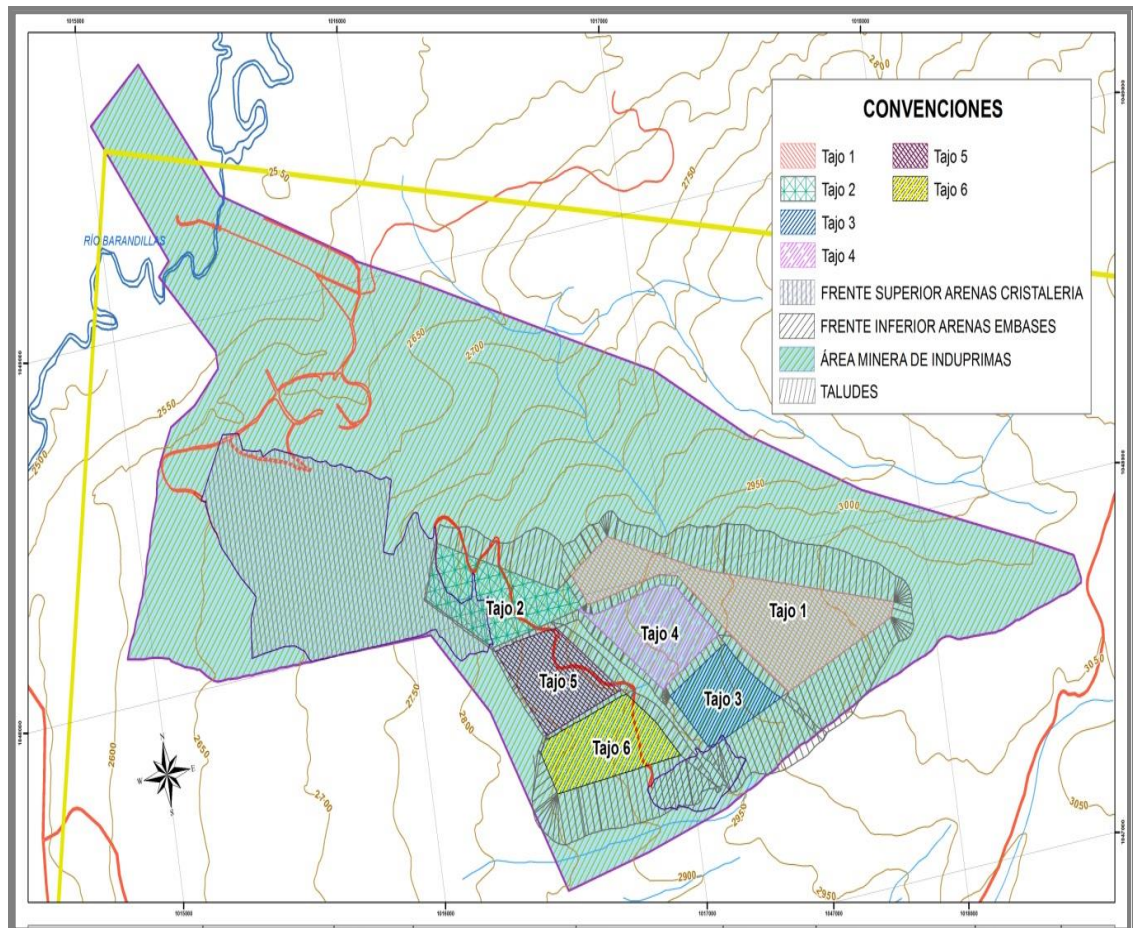
Fuente: Rocas y Minerales S.A.S., 2012.

La vía de acceso al área minera de Induprimas es la carretera que de Zipaquirá conduce a Nemocón desde la cual en un trayecto de aproximadamente 500 metros se llega a las instalaciones de Industrias Peldar desde donde se puede ingresar al área minera. Dentro del área minera como tal, la principal vía de acceso a la zona

de explotación es un carreteable interno y privado que transcurre a las diversas zonas del área minera.

El desarrollo general de la mina se dividió en 6 tajos que involucra la explotación de los niveles superior e inferior de la formación Arenisca Labor Tierna, Grupo Guadalupe dentro de los límites de la propiedad. (Rocas y Minerales S.A.S., 2012).

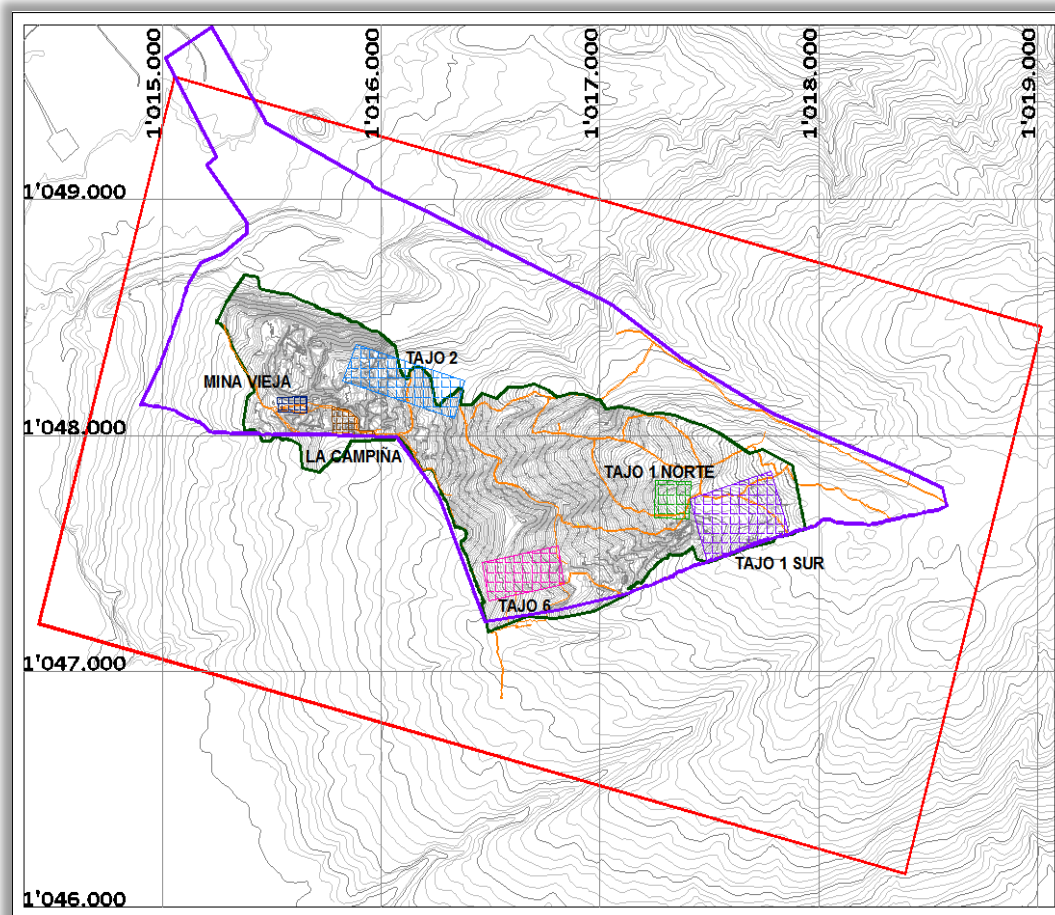
Figura 2. Diseño general de la mina.



Fuente: Rocas y Minerales S.A.S., 2012.

La figura No. 3 muestra la localización de las seis zonas de exploración geológica y que fueron objeto de las perforaciones. Estas zonas fueron denominadas como Tajo 1 Norte, Tajo 1 Sur, Tajo 6, Tajo 2, La Campiña, y Mina Vieja.

Figura 3. Ubicación de las zonas de perforación.



Fuente: Rocas y Minerales S.A.S. y Autor, 2015

En la tabla 1 se describen las áreas de las seis zonas de perforación y el número de sondeos con Track Drill realizados.

Tabla 1. Zonas de Perforación.

ZONA	AREA (Ha)	No. PERFORACIONES
TAJO 1 NORTE	2.52	43
TAJO 1 SUR	10.98	96
TAJO 6	5.8	50
TAJO2	8.6	54
LA CAMPIÑA	1.43	22
MINA VIEJA	0.88	20

2.2 METODOLOGÍA

PERFORACIONES CON TRACK DRILL

Las zonas de exploración fueron definidas teniendo en cuenta los siguientes aspectos: zonas que contienen estudios geológicos anteriores (Tomografías, Perfiles geoelectricos y perforaciones con recuperación de núcleo); zonas con afloramientos de arena y zonas que aún no han sido exploradas. Como resultado se concluyó que en los tajos 1, 2 y 6 junto con dos sectores dentro de la mina vieja conocido como frente Cárdenas deberían llevarse a cabo los sondeos con Track Drill.

En las zonas Tajo 1 sector Norte y Sur más el Tajo 6 se abrieron trochas de acceso para el libre desplazamiento del equipo, también se definió iniciar las perforaciones desde la zona más distante a la planta.

El equipo de perforación contó con tres varillas de 3.70 metros de longitud y una cuarta varilla de 3 metros de longitud sumando una longitud máxima de 14.10 metros.

Se definió una malla de perforación en sentido Norte-Sur, Este-Oeste en los sectores altos de la mina y perforaciones sobre la vía en los sectores bajos de la mina.

Las perforaciones están separadas cada 20 metros de longitud y el sondeo se realizó iniciando la perforación en superficie hasta encontrar el contacto de la arenisca, después de ese punto se avanzó 2 a 3 metros más en profundidad para tomar la muestra de arena.

TOPOGRAFIA

Una vez realizadas las perforaciones, se realizó el levantamiento topográfico de la zona a escala 1:5000; La firma de ingenieros consultores *Rocas y Minerales (R&M)* realizó esta labor bajo mi supervisión.

MODELO GEOLÓGICO

Con base en los estudios existentes, la información obtenida en las perforaciones, el levantamiento topográfico realizado, el equipo de trabajo de la compañía hizo la integración de la información con el propósito de establecer el modelo geológico de las zonas de interés.

En esta etapa se trabajó usando los software Autocad, Surpac, y Carlson aplicados a minería a cielo abierto en donde se generaron perfiles geológicos de cada zona, geometría de los contactos, modelos de bloques y la estimación de los volúmenes de estéril y arenas que se describirán en este informe.

ANÁLISIS DE GRANULOMETRIA Y DIFRACCION DE RAYOS X.

Los análisis fueron realizados en el laboratorio de Materias Primas de Peldar en donde a cada muestra de arena se le aplicó un proceso de lavado, secado y separación magnética para obtener una muestra de arena similar a la procesada en la planta de arena, esto para conocer el porcentaje de óxidos de hierro presentes en la muestra después del proceso.

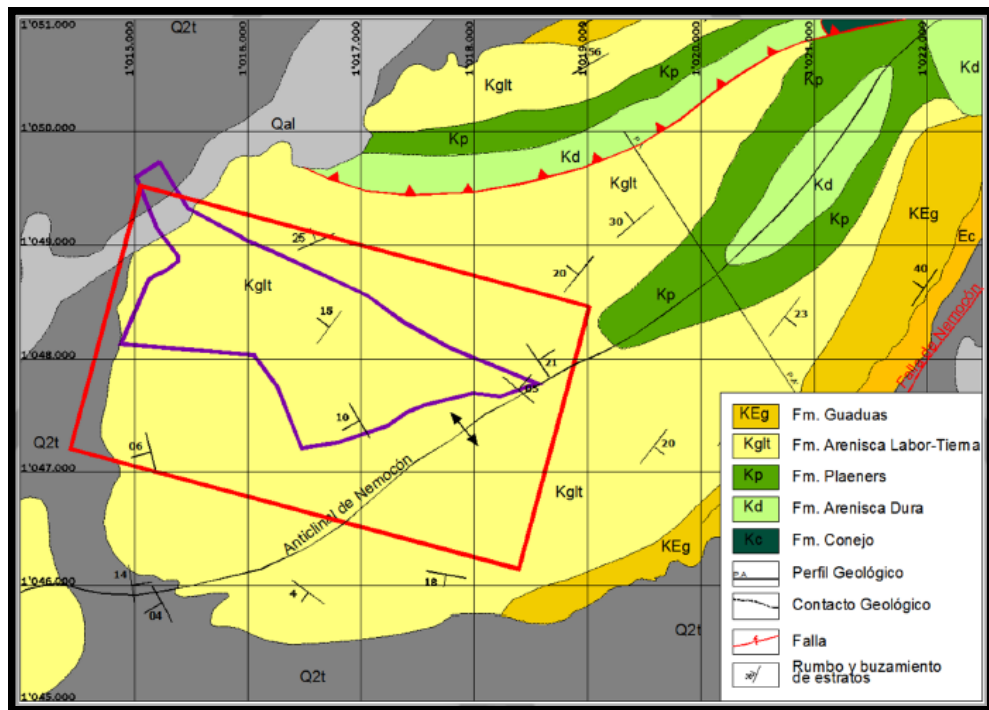
Otro análisis realizado fue granulometría ya que según los requerimientos necesarios para la industria del vidrio se exigen un tamaño de grano específico en el momento de ingresar la materia prima a los hornos de fundición.

3 GEOLOGÍA

3.1 GEOLOGÍA REGIONAL

El Título Minero 2604 se localiza sobre el flanco occidental del Anticlinal de Nemocón. En el núcleo de este anticlinal afloran las formaciones Arenisca Dura y Conejo y en los flancos y cierre del mismo afloran las formaciones Arenisca Dura, Plaeners y Labor-Tierna (ver figura No 4). (Rocas y Minerales S.A.S., 2012).

Figura 4. Mapa geológico Generalizado.



Fuente: Modificado de la plancha 209-Zipacquirá (Montoya Arenas & Reyes Torres, 2005.)

Dentro del título minero aflora la formación Arenisca Labor tierna, depósitos cuaternarios de origen coluvial y depósitos aluviales del rio brandillas.

3.2 ESTRATIGRAFIA

La estratigrafía dentro del título minero esta abarcada por el nivel superior del grupo Guadalupe y depositos cuaternarios de origen coluvial y aluvial.

GRUPO GUADALUPE

Definido en los Cerros Orientales de Bogota, esta conformado por las formaciones arenisca dura, Plaeners y arenisca Labor-Tierna, presenta cambios faciales y de espesores. (Montoya Arenas & Reyes Torres, 2005)

- ✓ **Formación Arenisca Dura:** Compuesta por intercalaciones de capas muy gruesas de areniscas de grano fino con capas delgadas de lodolitas; en la parte inferior presenta foraminiferos bentonicos en las intercalaciones con lodolitas siliceas. (Montoya Arenas & Reyes Torres, 2005).
- ✓ **Formación Plaeners:** Compuesta por Intercalaciones de lodolitas y arcillolitas con gran abundancia de foraminiferos bentonicos en la parte inferior, presenta niveles liditicos e intercalaciones de lodolitas y areniscas. El contacto inferior con la arenisca dura es neto y concordante y con la formacion arenisca labor tierna su contacto es gradual rapido. (Montoya Arenas & Reyes Torres, 2005)
- ✓ **Formación Arenisca Labor tierna:**

Arenisca de Labor: En la parte inferior presenta intercalaciones de capas muy gruesas de arenisca de grano muy fino con estratificación flaser y limolitas con laminación lenticular. En la parte media se presenta un intervalo siliceo, constituido por chert y limolitas siliceas muy gruesas con delgadas intercalaciones de arcillolitas. (Montoya Arenas & Reyes Torres, 2005).

Nivel de Plaeners Superior: Es una secuencia fina de capas delgadas de chert, limolitas siliceas, arcillolitas y limolitas con estratificación paralela, continua y esporadicamente capas de areniscas. (Montoya Arenas & Reyes Torres, 2005).

Arenisca Tierna: En la base presenta bancos y capas muy gruesas de arenisca de grano fino a muy fino, compactas, algunos bancos son macizos y otros presentan laminación lenticular. La parte media presenta capas gruesas y muy gruesas de areniscas de grano fino y de color blanco con intercalaciones de capas delgadas y medias de areniscas de grano muy fino y de color gris y su parte superior esta compuesto por areniscas de grano medio a fino, de color blanco a amarillo, friables, sin matriz y buena selección. (Montoya Arenas & Reyes Torres, 2005).

Estos tres niveles se agrupan como una sola unidad cartografica dada la similitud litologica y su expresion morfologica. (Montoya Arenas & Reyes Torres, 2005).

CUATERNARIO: Se presentan una serie de depositos arcillo arenosos que en general rellenan los valles de las depresiones secas, estas depresiones tienen una

orientación NE-SW y alcanzan profundidades promedio entre los 3 metros y 5 metros aunque en zonas de antiguos canales alcanza una profundidad de 12 a 16 metros. (Rocas y Minerales S.A.S., 2013)

Por otra parte se observan zonas planas con rellenos arcillosos no asociados a rellenos de depresiones. En general este material es considerado como descapote, que corresponde a materiales afectados por procesos de meteorización.

Fotografía 1. Panorámica Frente de Explotación Cárdenas. Contacto entre suelo franco arenoso y la unidad arenisca Tierna Nivel Inferior (Octubre 2014).



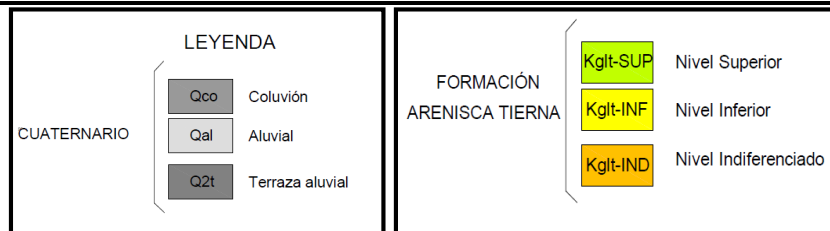
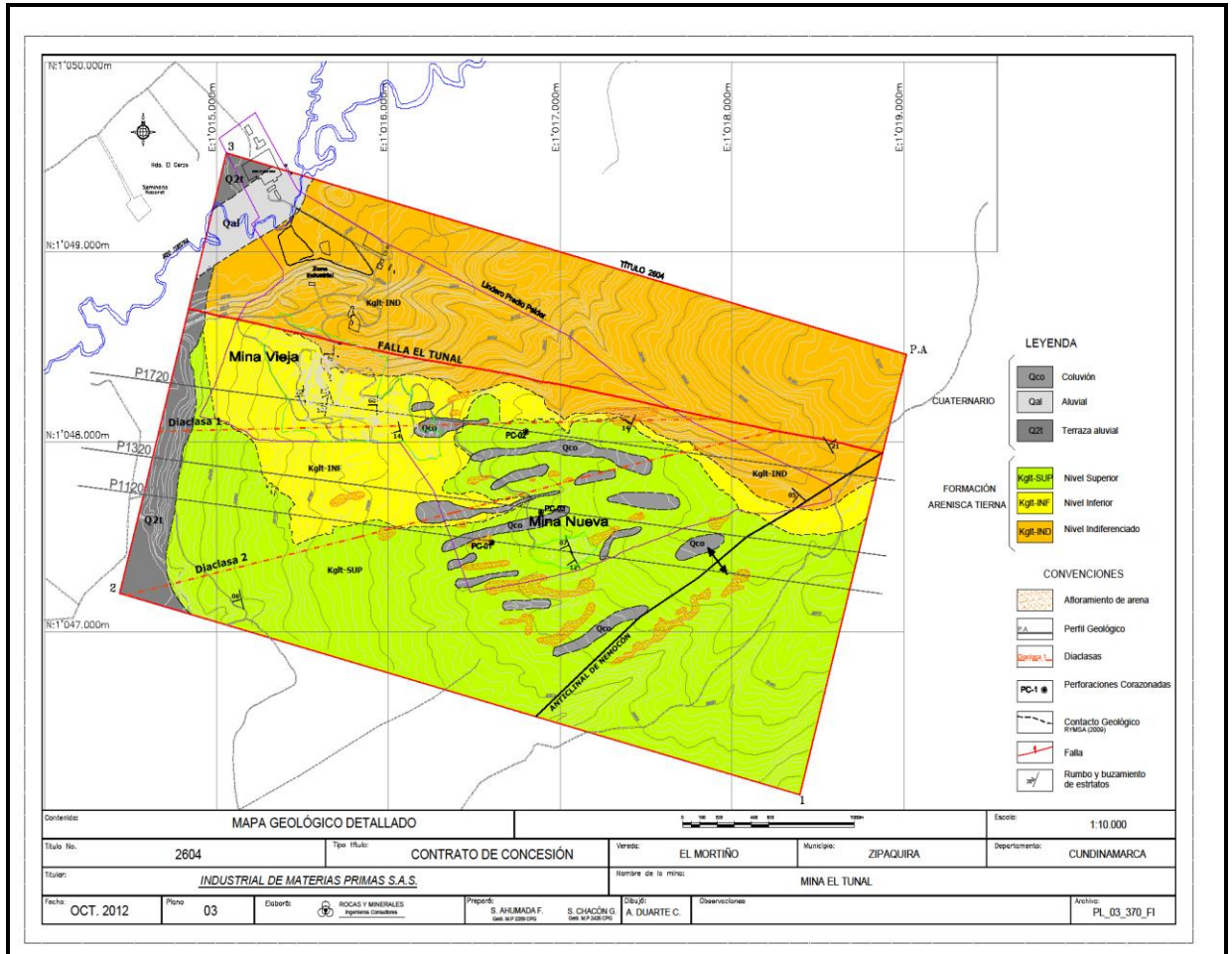
La fotografía No. 1 muestra el contacto entre el suelo franco arenoso depositado sobre arenisca del nivel inferior de la formación tierna.

3.3 GEOLOGÍA LOCAL

Dentro del área del título minero, la formación arenisca tierna se dividió informalmente en dos niveles, Nivel Superior (Kgt-SUP) y Nivel inferior (Kgt-INF), separados por capas de arcillolitas abirragadas de hasta 2 metros de espesor. Estos niveles se definieron con base en el conocimiento de los niveles estratigráficos de

interés para la explotación de arena silicea para vidrio. (Rocas y Minerales S.A.S., 2012)

Figura 5. Mapa geológico Detallado.








Fuente: Rocas y Minerales S.A.S., 2012.

Nivel Superior (Kglt-SUP): Compuesto principalmente por bancos de cuarzoareniscas de 1 a 3 metros de espesor, de grano fino a medio, subangular a subredondeado, bien seleccionado de color blanco a gris claro con niveles de color amarillo claro que están relacionados a la presencia de óxidos de hierro. (Rocas y Minerales S.A.S., 2012)

Se encuentran intercalados laminas de arcillolita de color gris claro y se encuentra aflorando en los sectores altos de la mina. El espesor promedio medido en afloramiento y perforaciones corazonadas es de 25 a 29 metros aproximadamente. (Rocas y Minerales S.A.S., 2012)

Nivel Inferior (Kgt-SUP): Esta compuesto por bancos de arena de 1 a 5 metros de espesor, de grano fino a medio, subangular a subredondeado de color amarillo claro a oscuro y gris claro, presentan costras de oxidacion en los planos de diaclasas. El espesor medido en afloramiento y en perforaciones corazonadas varia de 28 a 35 metros. (Rocas y Minerales S.A.S., 2012)

Figura 6. Columna estratigráfica generalizada.

UNIDAD	NIVEL	PROF.	LITOLOGIA	OBSERVACIONES
FORMACIÓN ARENISCAS TIERNA	NIVEL SUPERIOR (Kgt-SUP)	28 m		Nivel compuesto principalmente por bancos de cuarzoareniscas de 1 a 3 metros de espesor, de grano fino a medio, subangular a subredondeado, bien seleccionada, de color blanco a gris claro, con ocasionales niveles de color amarillo claro que pueden estar relacionados con la presencia de óxidos; con estratificación cruzada.
		2m		Arcillolitas abigarradas con pequeñas intercalaciones de láminas de arena, su espesor varia entre 1.5 a 2.0 m.
	NIVEL INFERIOR (Kgt-INF)	35m		Nivel compuesto por bancos de cuarzoareniscas de 1 a 5 metros de espesor, de grano fino a medio, subangular a subredondeado, bien seleccionada, de color amarillo claro, que varia a amarillo oscuro y gris claro .
		1m		Arcillolitas abigarradas con pequeñas interdigitaciones de arenisca de color gris claro.
NIVEL INDEFERENCIADO (Kgt-IND)		20m		Secuencia de bancos de arenisca con láminas de y/o capas de arcillolitas abigarradas. Areniscas cuarzosas, de grano fino a muy fino, subangular a subredondeado, de color gris claro a habano, de dureza media a alta, dura y compacto debido al cemento siliceo, presenta estratificación gruesa a delgada.

Fuente: Rocas y Minerales S.A.S., 2012.

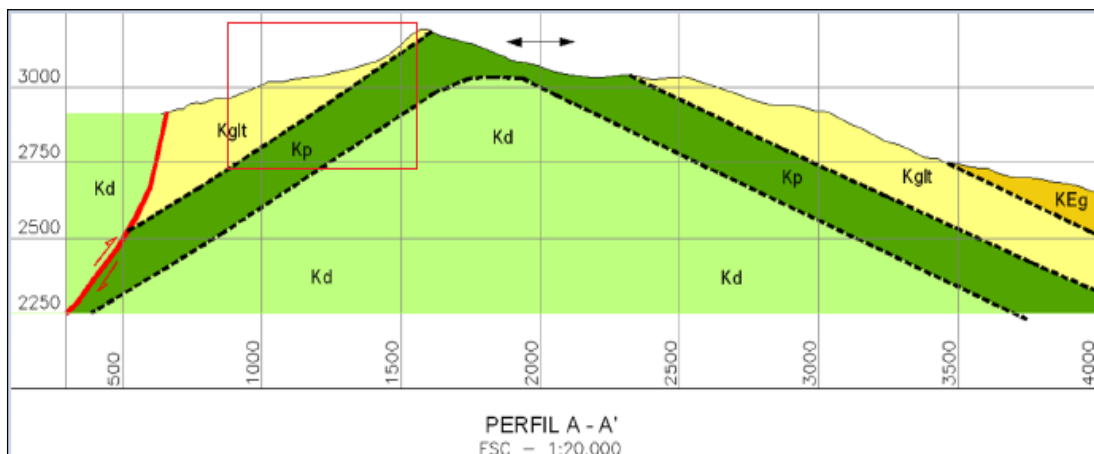
3.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El sector donde se encuentra localizada el área minera está formado por una serie de estratos de arenisca con buzamientos regionales suaves y con rumbo general N(10°-20°)W. (Rocas y Minerales S.A.S., 2012)

Los niveles de areniscas se encuentran cubiertos por suelos residuales y en algunos casos por depósitos cuaternarios localizados en el sector central, sur y occidental de la mina de arena sílicea.

La estructura anticlinal se localiza en cercanías de la planta de tratamiento con una dirección E-W. En el sector de la mina, los estratos varían rumbo entre N13°E y N12°W y el buzamiento entre 12°NW y 12°SW. La figura No. 7 muestra un corte transversal del anticlinal de Nemocon ubicando el título minero con un rectángulo rojo.

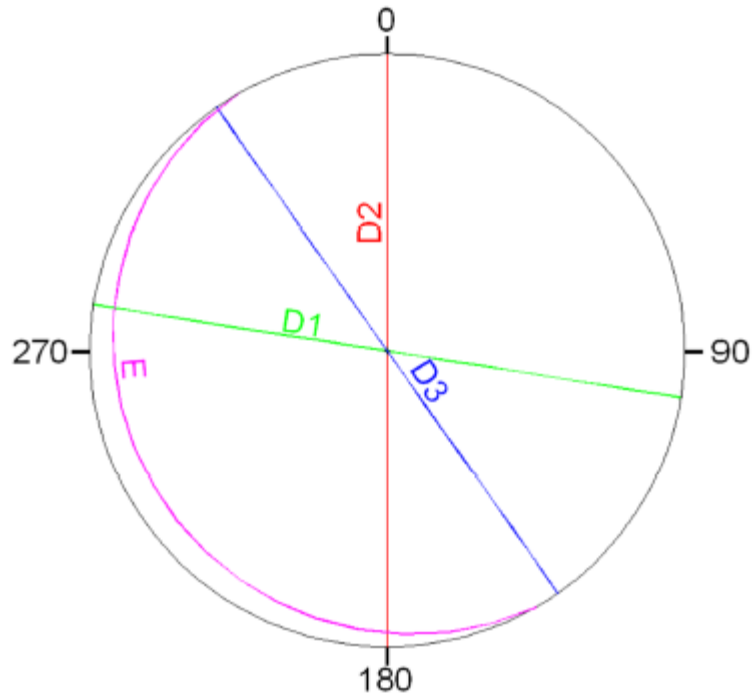
Figura 7. Perfil Geológico Generalizado.



Fuente: Modificado de Montoya Arenas & Reyes Torres, 2005.

Las diaclasas en el área minera tiene rumbo promedio de N70°W con inclinaciones cercanas a la vertical. En los afloramientos de la parte alta del predio, las diaclasas presentan un rumbo entre N85°W y E-W con inclinaciones entre 75° NE y verticales.

Figura 8. Red estereográfica con las familias de discontinuidades presentes.



Fuente: Modificado de Rocas y Minerales S.A.S., 2013

Tabla 2. Familias de Discontinuidades presentes

DISCONTINUIDAD	AZIMUTH	BUZAMIENTO	No. DATOS
D1	189	88	35
D2	90	90	25
D3	55	90	38
E	240	10	5

La separación entre diaclasas principales varía de separadas (1-3 metros) a muy separadas (> 3 metros), son predominantemente planas y en algunos sectores las paredes de las diaclasas se encuentran erosionadas por el carácter friable de la roca, dando una apariencia de muy separadas.

El relleno en otros casos es materia orgánica de consistencia blanda, y en la mayoría de los casos rellenas de material arcilloso de color naranja.

4 EXPLORACIÓN GEOLÓGICA

4.1 PERFORACIONES CON TRACK DRILL

El desarrollo de las perforaciones fue ejecutada con un equipo de perforación Track Drill, este equipo es movido por un compresor que genera aire a altas presiones. Las varillas y la broca de perforación generan movimientos de rotación y percusión que van avanzando en profundidad.

Fotografía 2. Equipo de perforación TRACK DRILL (Nov. 2014).



Las trochas o vías de acceso para el libre desplazamiento del equipo fueron elaboradas con un Buldócer D8N siguiendo las direcciones establecidas.

La metodología usada fue iniciando la perforación en suelo orgánico hasta llegar al techo de la arenisca.

Al encontrar el techo de la arenisca se procedía a perforar 2 o 3 metros más para lograr obtener detritos de las arenas como muestra.

Cada perforación se realizó con una distancia de 20 metros separado entre sí.

Fotografía 3. Trochas de Acceso tajo 1 norte (Izq.), Perforación alcanzando el techo de la arenisca tajo 1 norte. (Der).



Fotografía 4. Perforación en los 3 horizontes, Suelo, Arcilla, Arenisca.



Durante cada perforación se observan los horizontes del suelo hasta llegar a la arenisca. En todos los horizontes los detritos arrojados a superficie por acción del aire.

Algunas perforaciones se vieron interrumpidas por el taponamiento de las varillas y la broca debido a niveles de arcilla muy húmeda.

Fotografía 5. Perforación tapada por niveles de Arcilla muy Húmeda.



Fotografía 6. Perforación alcanzando el nivel de arenisca.



4.2 RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación se describen los principales aspectos de las zonas de estudiadas y el alcance logrado siguiendo el orden en que se fueron ejecutando los sondeos.

✓ Zona Tajo 1 Sur

Se encuentra localizado en el sector Sur-Oeste del título minero teniendo como punto de referencia el frente actual de cristalería Mina Nueva. El polígono del área corresponde a las siguientes coordenadas:

Tabla 3. Coordenadas Tajo 1 Sur

X= 1017490 Y= 1047460	X= 1017865 Y= 1047585
X= 1017780 Y= 1047850	X= 1017410 Y= 1047730

Comprende un área total de 10.98 hectáreas y su cota oscila entre 3015 a 3030 msnm.

En esta zona se realizaron 6 trochas de acceso en dirección NO-SE y se limpiaron 5 cortafuegos existentes para el desplazamiento del equipo.

Cada Perforación se identificó con una estaca debidamente marcada con la siguiente nomenclatura; TR (TRACK) – 14 (Año 2014) -- (Numero de Perforación). En esta zona se inició con la perforación identificada como TR-14-01 hasta la perforación TR-14- 63.

Para este sector en total se ejecutaron 96 sondeos con Track Drill alcanzando una profundidad de 14.10 metros distribuidos de la siguiente manera:

Tabla 4. Perforaciones Tajo 1 Sur

PROFUNDIDAD (m)	No. PERFORACIONES	No. MUESTRAS
1 Varilla (3.70 m.)	18	48
2 Varilla (7.40 m.)	39	
3 Varilla (11.10 m.)	26	
4 Varilla (14.10 m.)	13	

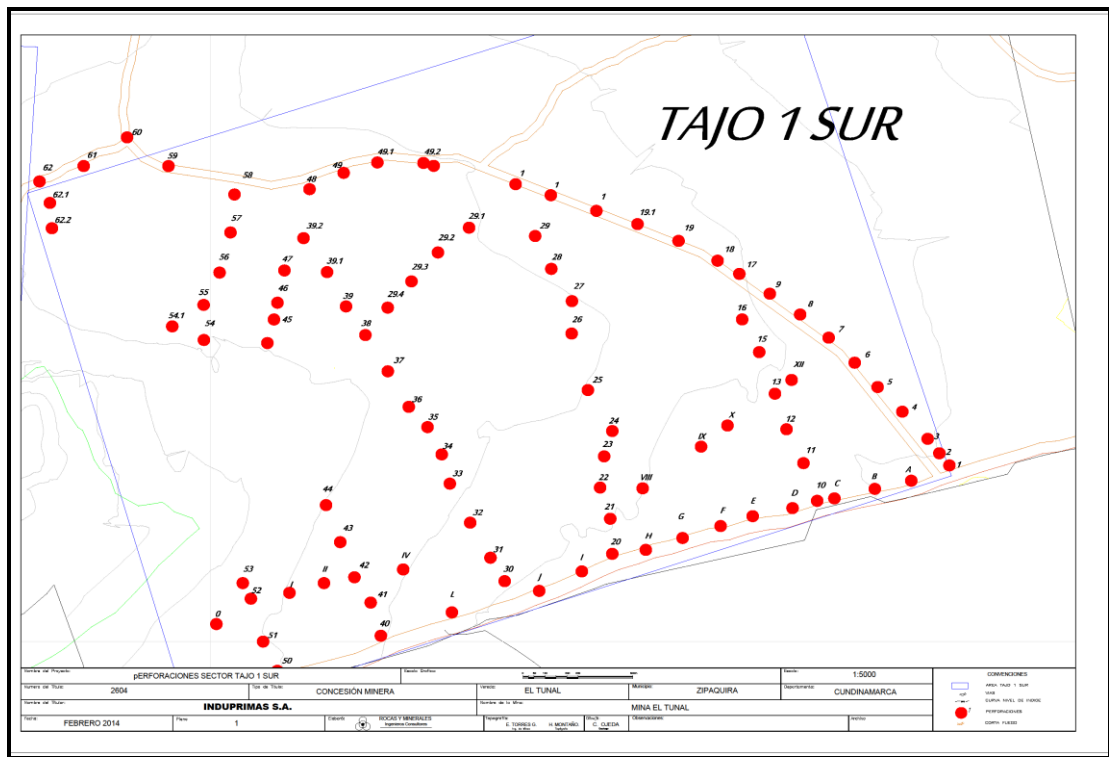
En la mayoría de las perforaciones que alcanzaron los 14 metros no se cumplió el objetivo debido a que la perforación encontraba un canal relleno por suelo orgánico y arcilla lo que generaba que la perforación se tapara con arcilla húmeda y no permitía el flujo de aire por las varillas.

Se obtuvieron 48 muestras de arena silíceea del contacto estéril-arena.

La figura No. 8 muestra la localización de cada perforación. Se identifica cada perforación con un punto de color rojo para ver la distribución espacial en toda el área.

Como se puede observar existen zonas muy despejadas en donde no se logró el acceso con el equipo debido a la alta vegetación nativa existente el cual no se afectó con el fin de generar el menor impacto ambiental posible.

Figura 9. Distribución espacial de las Perforaciones Tajo 1 Sur.



El Anexo No. 1 presenta las tablas con las coordenadas específicas para cada perforación.

✓ **Zona Tajo 1 Norte**

Se encuentra localizado en el sector Nor-Oeste del título minero teniendo como punto de referencia el frente actual de cristalería Mina Nueva. Sus coordenadas son:

Tabla 5. Coordenadas Tajo 1 Norte.

X=1017415 Y=1047805	X=1017405 Y=1047645
X=1017250 Y=1047650	X=1017255 Y=1047810

Comprende un área total de 2.52 hectáreas y su altura oscila entre 3020 a 3035 msnm.

Aquí se realizaron 4 trochas de acceso en dirección NO-SE y 2 trochas en dirección Este-Oeste. A esta zona se tiene acceso por un cortafuego principal.

Las perforaciones correspondientes para esta zona van desde la TR-14-64 a la perforación TR-14-99.

Se ejecutaron en total 43 sondeos con Track Drill alcanzando una profundidad de 14.10 metros.

Tabla 6. Perforaciones Tajo 1 Sur.

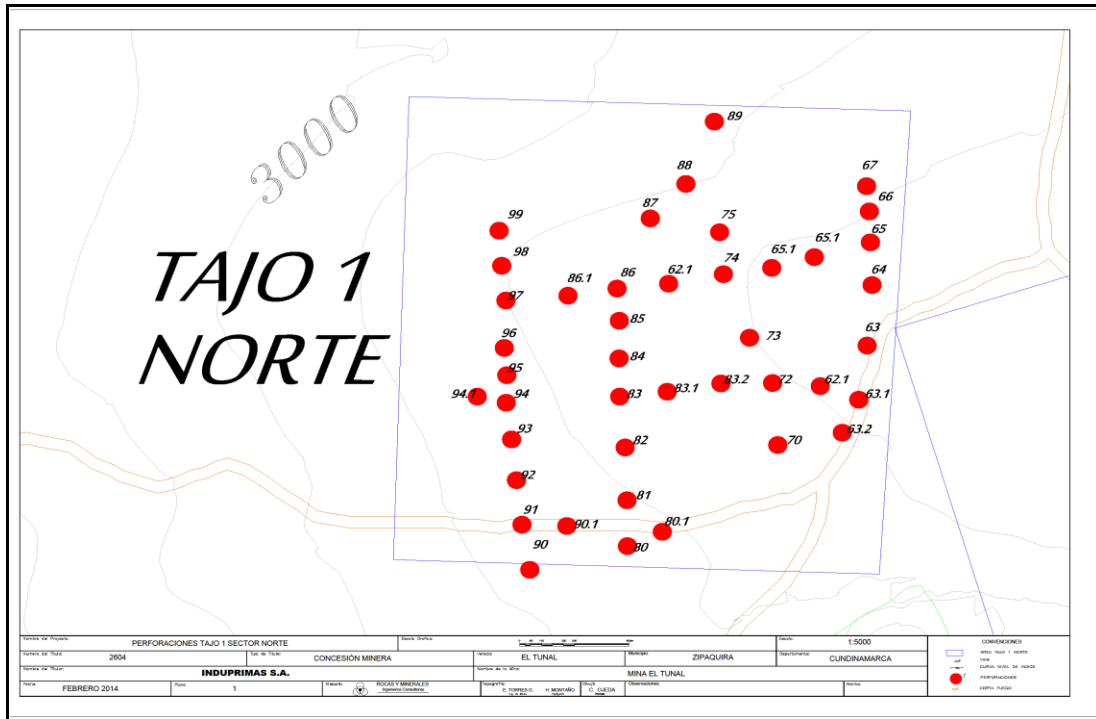
PROFUNDIDAD (m)	No. PERFORACIONES	No. MUESTRAS
1 Varilla (3.70 m.)	11	32
2 Varilla (7.40 m.)	24	
3 Varilla (11.10 m.)	6	
4 Varilla (14.10 m.)	2	

Se obtuvieron 32 muestras de arena para análisis químico.

Como se puede observar el número de perforaciones con una profundidad mayor a 11 metros son solo 8 lo cual indica que el contacto está muy cercano a superficie.

El costado sur de esta zona está limitado con el frente mina nueva por un jarillón de material arcilloso y suelo orgánico dispuesto en un anterior movimiento de descapote. Para acceder en un futuro a este frente se debe remover este material el cual fue cuantificado y tenido en cuenta en el cálculo de recursos y volúmenes de estériles.

Figura 10. Distribución espacial de las Perforaciones Tajo 1 Norte.



✓ **Zona Tajo 6**

Se encuentra localizado en el sector Sur del título minero. Dentro del desarrollo de la mina se encuentra catalogado como de desarrollo minero a largo plazo. Tiene acceso por el cortafuego principal que comunica a la mina Vieja con la Mina nueva. Sus coordenadas son:

Tabla 7. Coordenadas Tajo 6

X=1016835 Y=1047370	X=1016490 Y=1047300
X=1016450 Y=1047535	X=1016795 Y=1047605

Comprende un área total de 5.8 hectáreas y su cota oscila entre 2840 a 2920 msnm. En esta zona se limpiaron 7 trochas de acceso existentes que tienen un rumbo NO-SE. Las perforaciones correspondientes a esta zona están comprendidas entre TR-14-100 Y TR-14 -159

En total se ejecutaron 50 sondeos con Track Drill alcanzando una profundidad de 11.10 metros.

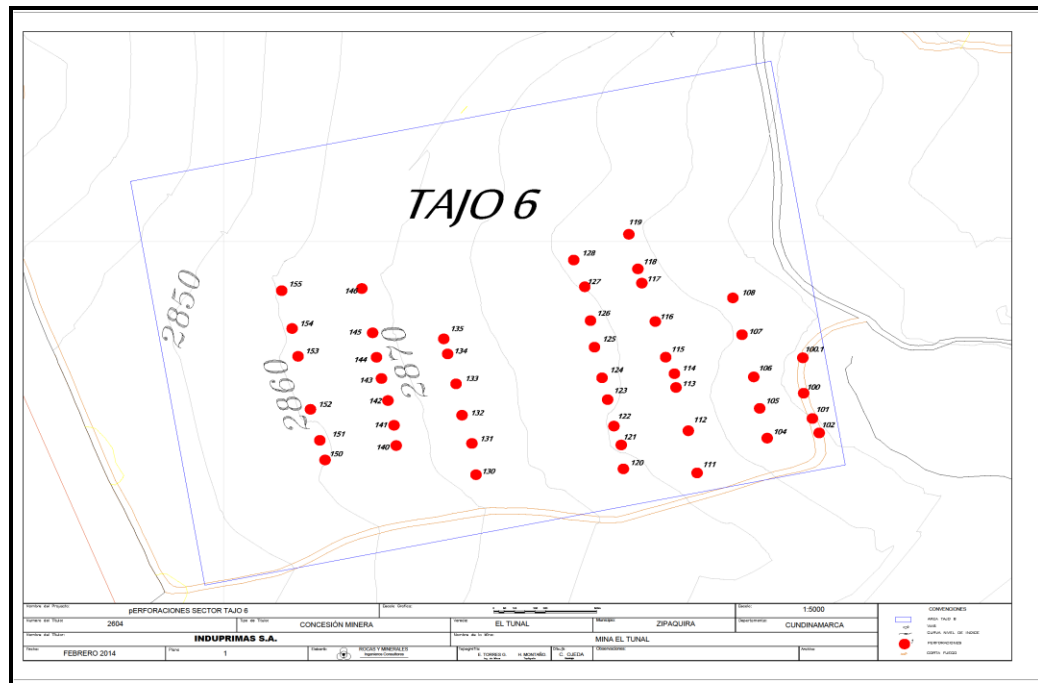
Tabla 8. Perforaciones Tajo 6

PROFUNDIDAD (m)	No. PERFORACIONES	No. MUESTRAS
1 Varilla (3.70 m.)	8	39
2 Varilla (7.40 m.)	39	
3 Varilla (11.10 m.)	3	
4 Varilla (14.10 m.)	---	

En este sector no fue necesaria la utilización de la 4 varilla ya que el contacto arena estéril se encontró a una profundidad máxima de 9 metros.
Se recolectaron 39 muestras de arena para análisis químico.

Existen estudios anteriores realizados a este tajo y corresponden a tomografías (3) y una perforación con recuperación de núcleo que se tuvieron en cuenta en el procesamiento de los datos obtenidos en campo.

Figura 11. Distribución espacial de las Perforaciones Tajo 6



✓ **Zona Tajo 2**

Se encuentra localizado al Noreste de la antigua mina de explotación llamada Mina Vieja. Tiene acceso por la vía principal interna a la altura del sector conocido como la campiña. Sus coordenadas son:

Tabla 9. Coordenadas Tajo 2

X= 1016380 Y= 1048230	X= 1016335 Y= 1048075
X= 1015825 Y= 1048230	X=1015885 Y=1048385

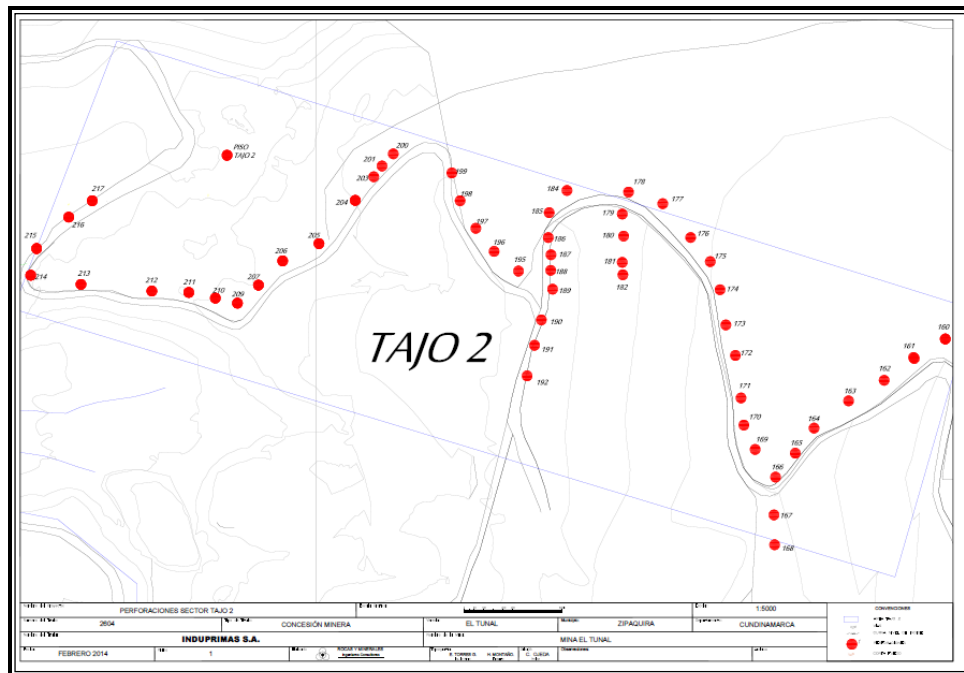
Comprende un área total de 8.6 hectáreas y su cota oscila entre 2710 a 2830 msnm. En esta zona las perforaciones se realizaron siguiendo el carreteable interno. Solo se trazó una trocha nueva para acceder con el equipo a un afloramiento de arenisca. Las perforaciones que corresponden a esta zona van desde la perforación TR-14-160 a la TR-14-217.

Se ejecutaron en total 54 sondeos con Track Drill alcanzando una profundidad máxima de 14.10 metros.

Tabla 10. Perforaciones Tajo 2

PROFUNDIDAD (m)	No. PERFORACIONES	No. MUESTRAS
1 Varilla (3.70 m.)	22	36
2 Varilla (7.40 m.)	22	
3 Varilla (11.10 m.)	9	
4 Varilla (14.10 m.)	1	

Figura 12. Distribución espacial de las Perforaciones Tajo 2.



✓ **Zona La Campiña**

Se encuentra localizado en la mina vieja en cercanías con el frente en revegetalización voladuras, este sector presenta sobre su nivel base de la vía una acumulación de estéril de una explotación pasada. Tiene acceso por la vía principal interna. Sus coordenadas son:

Tabla 11. Coordenadas La Campiña

X=1015779 Y=1047999	X=1015974 Y=1047999	X=1015896 Y=1048071
X=1015962 Y=1048022	X=1015896 Y=1048021	X=1015850 Y=1048108

Comprende un área total de 1.43 hectáreas y su altura oscila entre 2730 a 2750 msnm.

En esta zona las perforaciones se realizaron sobre la vía al igual que en tajo 2. No fue necesario acceder a la parte interna ya que se conoce que es una acumulación de estériles.

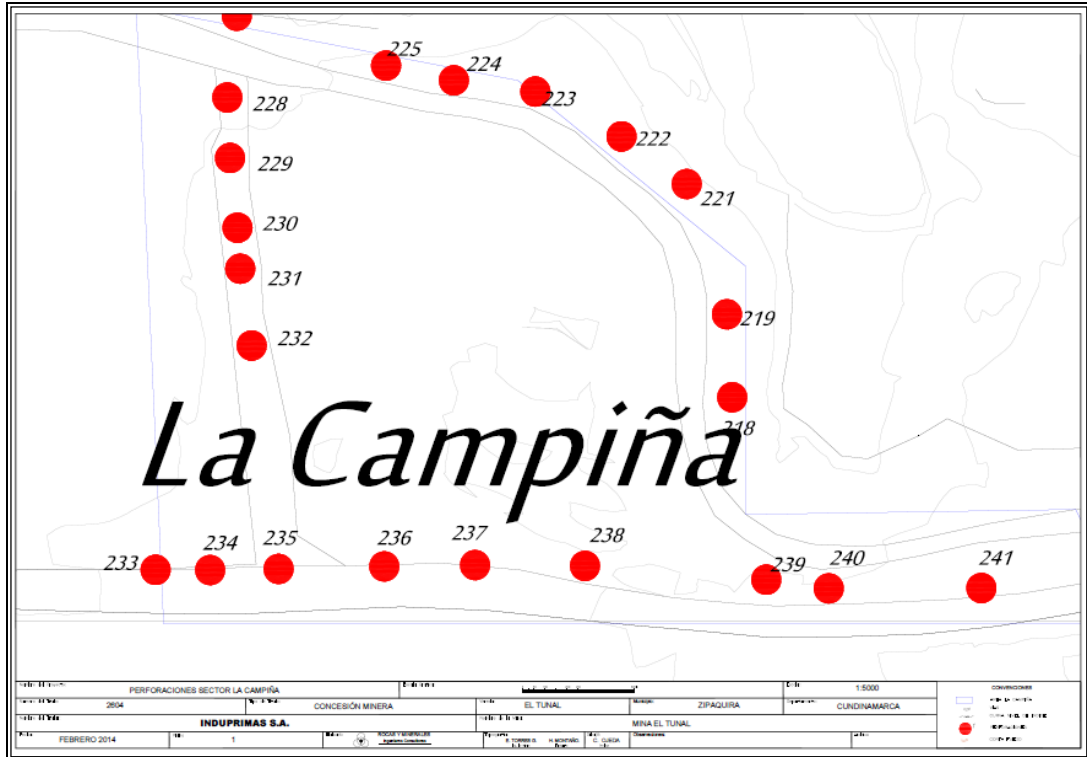
Las perforaciones corresponden desde la TR-14-218 a la TR-14-241 para un total de 22 sondeos alcanzando una profundidad de 11.10 metros.

Tabla 12. Perforaciones La Campiña

PROFUNDIDAD (m)	No. PERFORACIONES	No. MUESTRAS
1 Varilla (3.70 m.)	6	10
2 Varilla (7.40 m.)	6	
3 Varilla (11.10 m.)	10	
4 Varilla (14.10 m.)	---	

En el momento del cálculo de los recursos se tuvo en cuenta el volumen de estéril acumulado anteriormente diferenciándolo del estéril in situ como material de relleno.

Figura 13. Distribución espacial de las Perforaciones La Campiña.



✓ **Zona Mina Vieja**

Es un área que se encuentra localizada entre la zona de retrolleado y el frente cárdenas. Su acceso es por la vía principal de la mina. Sus coordenadas son:

Tabla 13. Coordenadas Mina vieja

X=1015528 Y=1048100	X=1015525 Y=1048163
X=1015661 Y=1048164	X=1015661 Y=1048096

Comprende un área total de 0.8 hectáreas y su altura oscila entre 2721 a 2730 msnm.

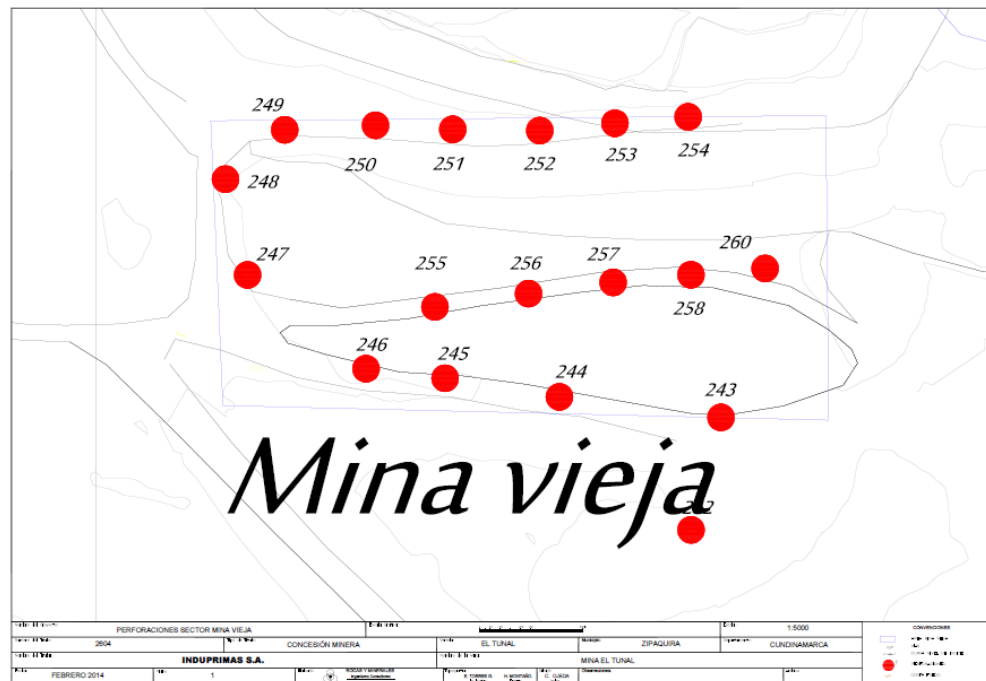
El interés en esta área es conocer la cantidad de arenisca que aún queda en la mina vieja. Aquí las perforaciones se realizaron sobre la vía. Aunque es de poco interés en el desarrollo minero se ejecutaron las perforaciones para estimar los recursos de material silíceo.

Las perforaciones correspondientes a esta zona van desde la TR-14-42 hasta la TR-14-61. Se ejecutaron en total 20 sondeos con Track Drill alcanzando una profundidad de 11.10 metros.

Tabla 14. Perforaciones Mina Vieja

PROFUNDIDAD (m)	No. PERFORACIONES	No. MUESTRAS
1 Varilla (3.70 m.)	14	9
2 Varilla (7.40 m.)	5	
3 Varilla (11.10 m.)	1	
4 Varilla (14.10 m.)	---	

Figura 14. Distribución espacial de las Perforaciones Mina Vieja.



5 MODELO GEOLÓGICO MINERO

El modelo geológico general de la mina se realizó en el año 2009, para este modelo se ejecutaron 3 perforaciones con recuperación de núcleo que alcanzaron profundidades mayores a 80 metros con el fin de conocer la columna litológica. La firma R&M definió los niveles de areniscas y arcillolitas con sus espesores a partir de dichas perforaciones.

Adicionalmente, usamos información de las seis tomografías y de tres perfiles geoelectricos para generar el modelo sectorizado de la mina.

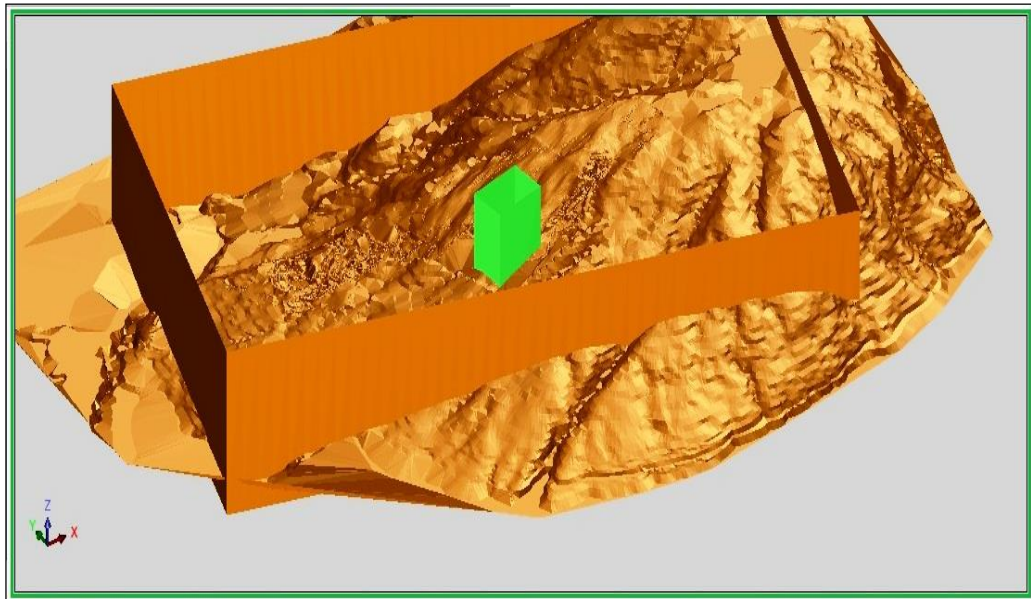
Esta recopilación de información anterior más la información recolectada en campo por las perforaciones permitieron conocer los rasgos litológicos y espesor de las arenas existentes entre las secuencias litológicas.

A continuación se describen los pasos para llegar al modelo geológico por zonas.

5.1 PERFILES GEOLÓGICOS

Usando el software SURPAC se modelaron los bloques de cada zona de perforación y el modelo en 3D de área total de la mina usando la topografía reciente, seguido a esto se traslapan los bloques entres si como lo muestra la Figura 15.

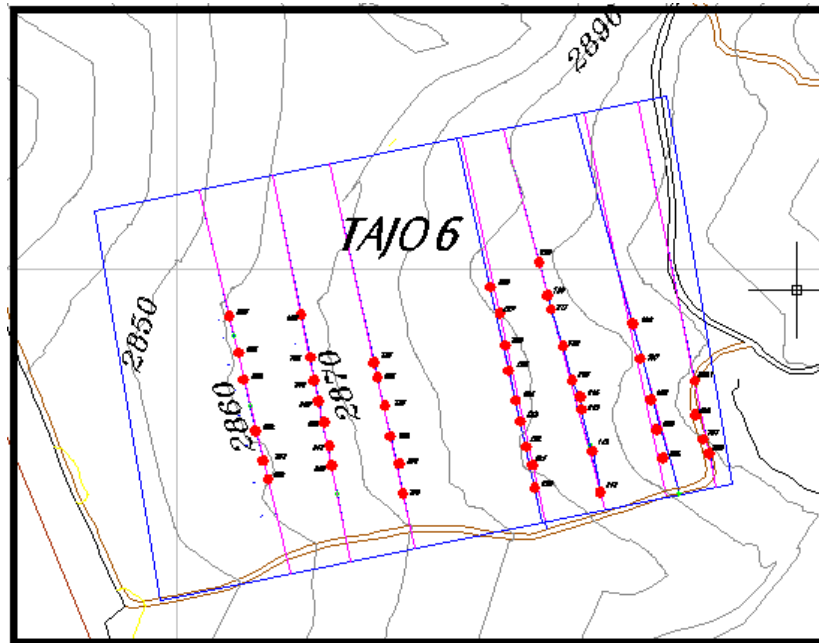
Figura 15. Modelo en 3D generado en Surpac de la mina mostrando el bloque de la zona tajo 6.



Previamente en Autocad se trazan líneas que abarquen las perforaciones para obtener las coordenadas y posteriormente los perfiles topográficos.

La Figura 16 ilustra las líneas de perfiles abarcando las perforaciones.

Figura 16. Ejemplo de Líneas de Perfiles tajo 6.

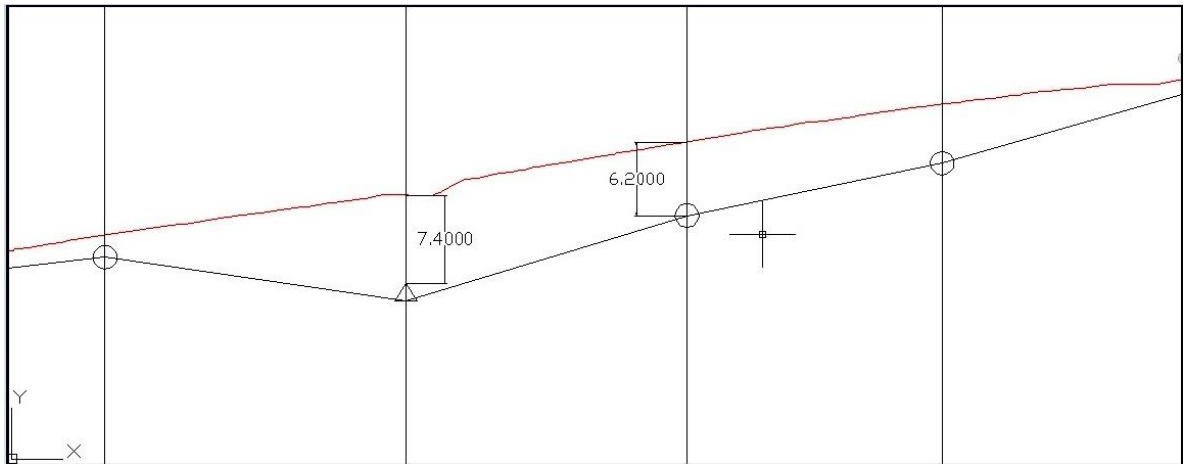


Al generar los perfiles se procede a proyectar la información de las perforaciones con sus respectivos horizontes de suelo, arcilla y arena para determinar el contacto, este paso es realizado en Autocad.

Como se observa en la figura 17 cada perforación se pasa al perfil en coordenadas y se establece la profundidad a la que se encontró la arenisca.

La información del techo de la arenisca se proyecta en la medida real por debajo del perfil topográfico.

Figura 17. Integración del contacto Estéril Arena en el perfil.



Una vez integrada la información en los perfiles se traza una línea que simula el contacto encontrado. Al finalizar se superponen los perfiles de manera paralela entre sí y se visualiza una primera idea del contacto.

El siguiente paso de este modelo es generar una superficie en 3D del contacto. Para generar esta superficie se utilizó el software Carlson y lo que básicamente realiza es una grilla de 2m x 2m para obtener una mejor resolución.

Del mismo modo se realiza la grilla de la topografía.

A partir de estas grillas se realizó un primer cálculo del volumen de estéril en cada zona.

Para este cálculo Carlson superpone la grilla topográfica con la grilla del contacto y calcula el volumen de vacíos que existe entre las dos.

A este volumen se le conoce como el volumen de estéril que se debe remover para llegar al techo de la arenisca.

En algunas ocasiones la grilla del contacto corta la grilla topográfica ubicándola sobre ella, esto indica que el contacto está en superficie y la roca está aflorando y fue certificado en campo.

Figura 18. Grilla del contacto tajo 6. Software Carlson Mining.

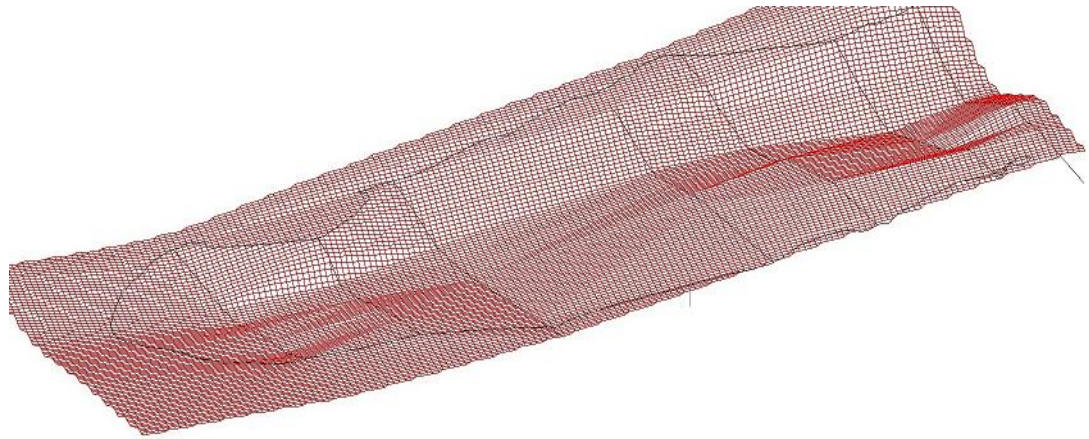
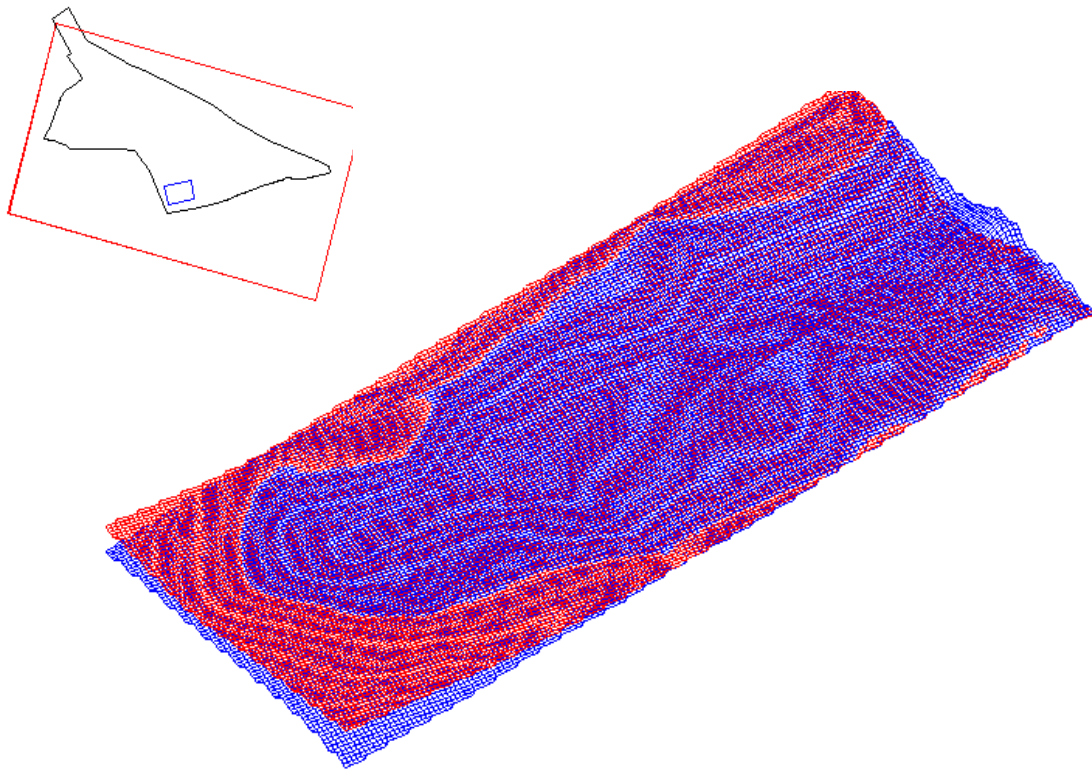


Figura 19. Cruce de las grillas contacto (Rojo) y topografía (Azul). Software Carlson Mining.



A Continuación se muestran los datos de volumen de estéril obtenidos por el método de grillas usando el software Carlson Mining.

Tabla 15. Volumen de estéril por el método de Grillas. Software Carlson.

ZONA	AREA TOTAL (m2)	AREA DE CORTE (M2)	VOLUMEN ESTERIL (m3)
TAJO 1 NORTE	25,237	24,183	129,281
TAJO 1 SUR	109,744	103,45	733,937
TAJO 6	57,982	39,075	184,644
TAJO 2	86,025	71,465	399,368
LA CAMPIÑA	14,323	13,888	112,866
MINA VIEJA	8,777	8,707	42,755

Posteriormente, la información de las grillas del contacto y de topografía se exportó al software Surpac para integrarla con la demás información del modelo geológico. Se tomó como base el modelo geológico elaborado en el año 2009.

5.2 MODELO DE BLOQUES

En el año 2009 R&M genero el modelo de bloques general de la mina como requisito para presentar el plan de Trabajos y Obras a la Agencia Nacional Minera.

Este modelo general se obtuvo conociendo el espesor de los niveles superior e inferior de las areniscas de la formación Labor y el nivel arcilloso que los separa a partir de perforaciones con recuperación de núcleo a una profundidad alcanzada de 80 metros.

Para este estudio se uso la información de dichos niveles ya definidos y se actualizo junto con el modelo del contacto ya generado por zonas. Además se incorporó información de las tomografías del 2009 corroborando las profundidades encontradas con las perforaciones. El software Surpac genera un bloque macizo de cada zona al cual se le agregan las restricciones de cada nivel estratigráfico.

Las restricciones corresponden al espesor de los bancos de arena inferior y arena superior junto al nivel arcilloso que los diferencia.

Figura 20. Restricciones usadas en Surpac (Der), niveles Estratigráficos (Izq.)

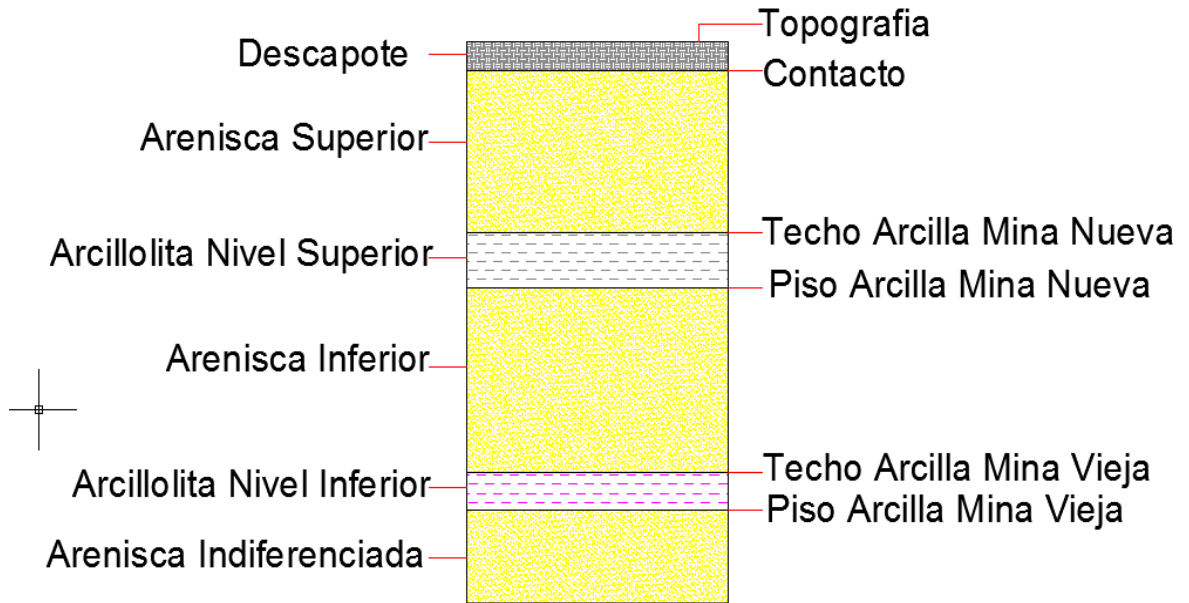
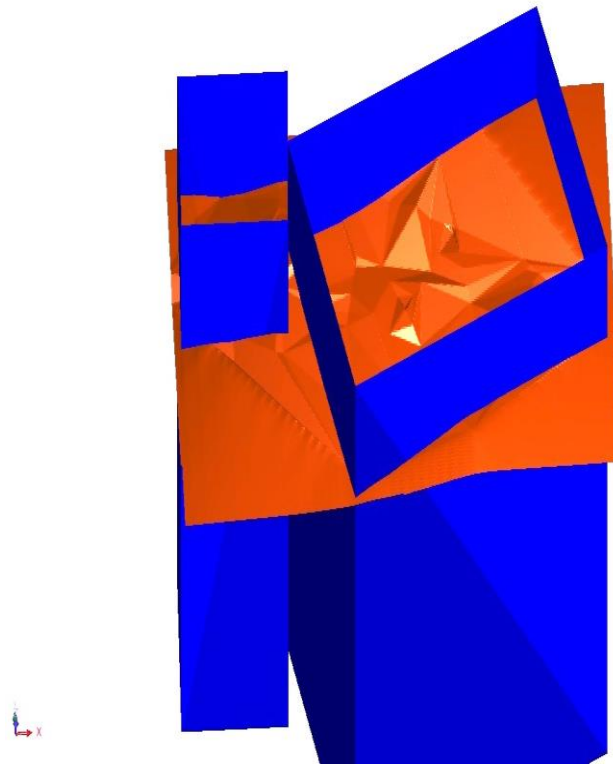
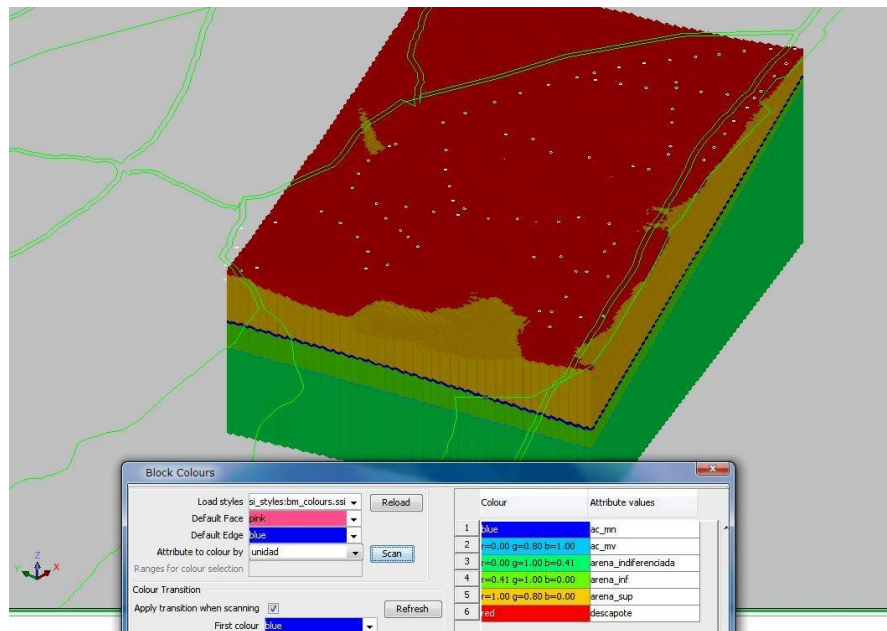


Figura 21. Restricción del Contacto cortando el bloque generado para las zonas Tajo 1 Norte y Tajo 1 Sur. Software Surpac.



De igual manera se interponen las demás restricciones y se definen tonalidades diferentes para cada bloque. Cabe resaltar que cada restricción lleva inmersa en su elaboración el sentido de Rumbo y Buzamiento de las capas obtenido de la geología general y en campo.

Figura 22. Modelo de bloque preliminar de la Zona tajo 1 Sur. Software Surpac.

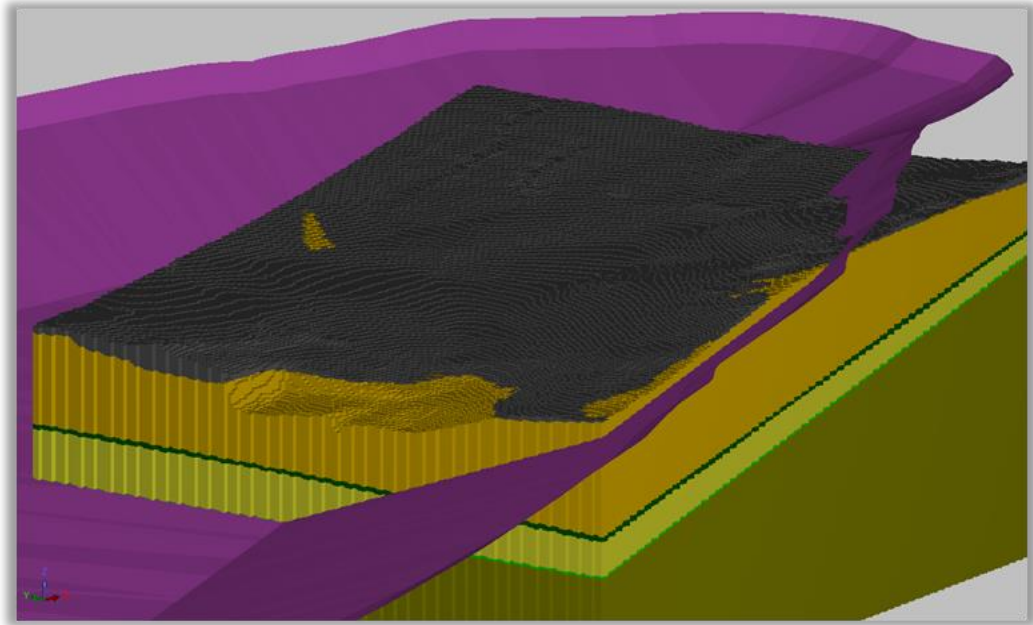


Antes de realizar el cálculo de los recursos para cada zona se tuvo en cuenta el diseño final de la mina contenido en el Plan Minero de Explotación.

El Plan de Trabajo y Obras de la mina con miras a lograr un menor impacto visual y obtener una restauración ecológica en revegetalización y arborización definió finalizar los taludes de trabajo con un ángulo de 26°. (Consortio ASA-GEMI, 2011)

Este ángulo de talud final ya generado en Surpac para el modelo general se tuvo en cuenta en la cuantificación de los recursos de cada zona para obtener el mejor resultado.

Figura 23. Modelo de bloque Tajo 1 Sur cortado por el diseño final de la mina. Software Surpac.



Fuente: Rocas y Minerales S.A.S., 2015.

Como se puede observar en la figura, el talud final del diseño minero no permite acceder a gran cantidad de material silíceo para este sector.

Una vez obtenido todos los modelos de bloques y el diseño final de la mina se calculan los volúmenes para nivel de arenisca en las seis zonas estudiadas.

5.3 CARACTERIZACIÓN DE RECURSOS

Los calculos de los volúmenes de arena son una herramienta de Surpac una vez obtenidos los modelos. Para este calculo solo fue necesario aplicar los comandos necesarios para el calculo. Para cada zona se mostraran los volúmenes obtenidos, dos perfiles geologicos y el modelo de bloques. De esta manera los resultados obtenidos son:

Zona Tajo 1 Norte

Figura 24. Localización y perfiles geológicos Tajo 1 Norte.

TAJO 1 NORTE	
NIVELES	VOLUMEN (m3)
DESCAPOTE	129,252
ARENA SUPERIOR	867,444
ARCILLA NIVEL SUPERIOR	54,698
ARENA INFERIOR	535,344
ARCILLA MINA VIEJA	72

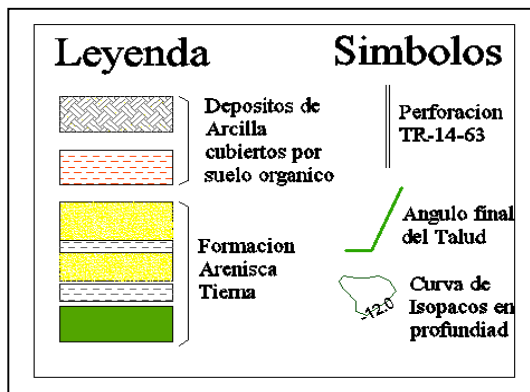
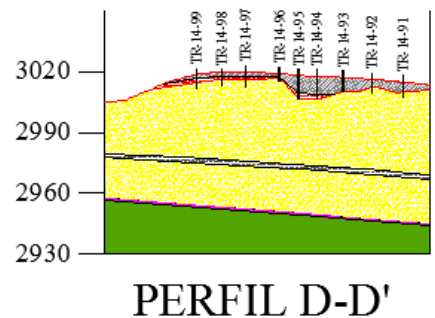
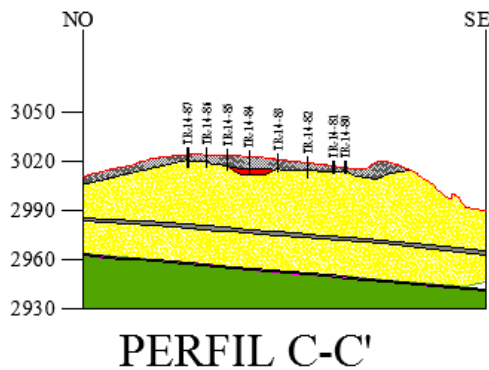
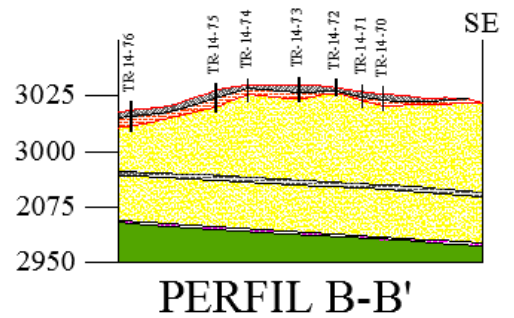
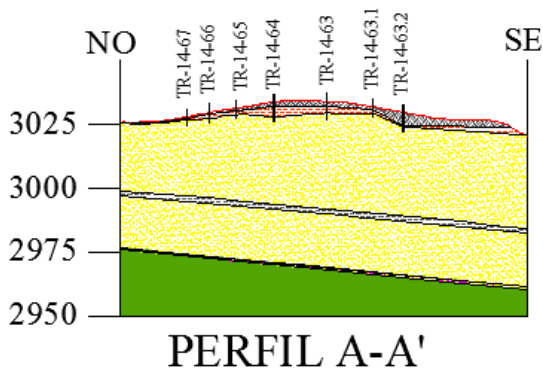
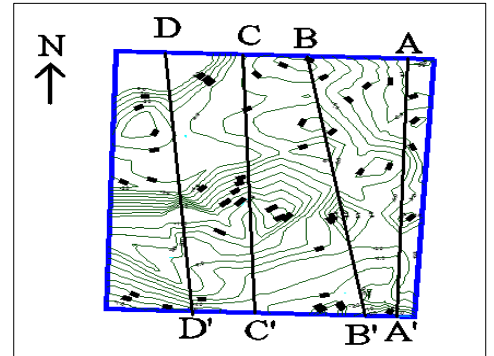
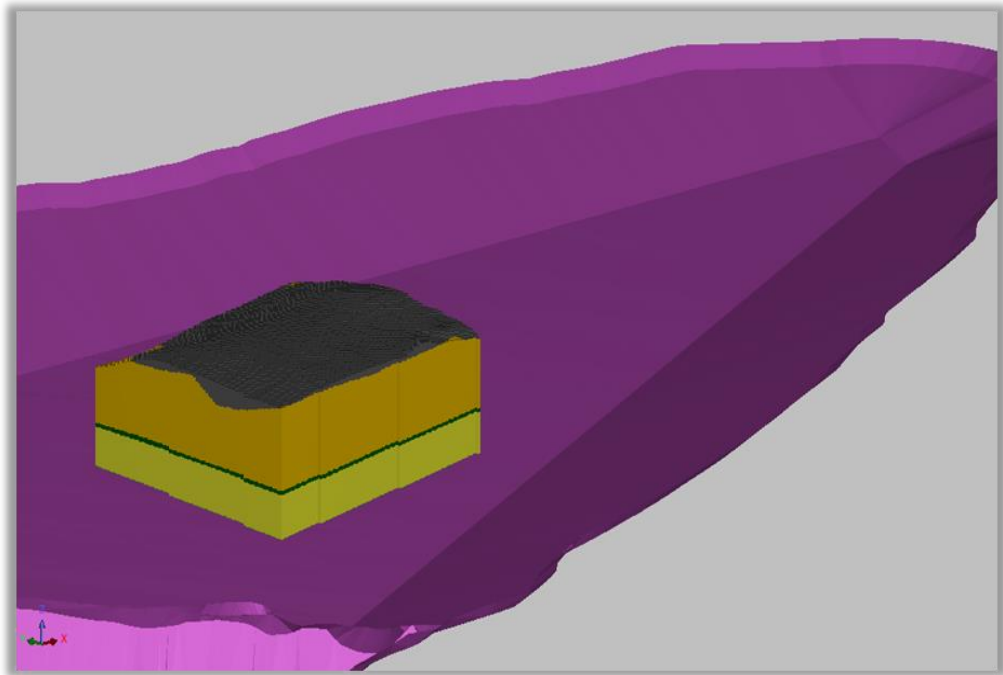


Figura 25. Modelo de Bloque Tajo 1 Norte.

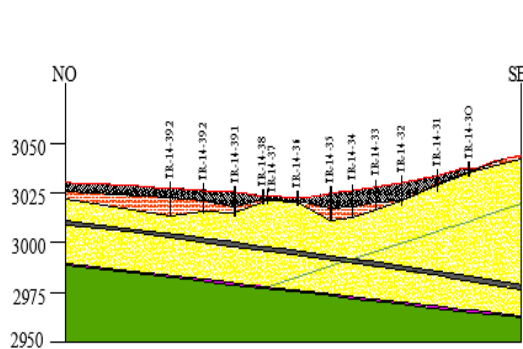
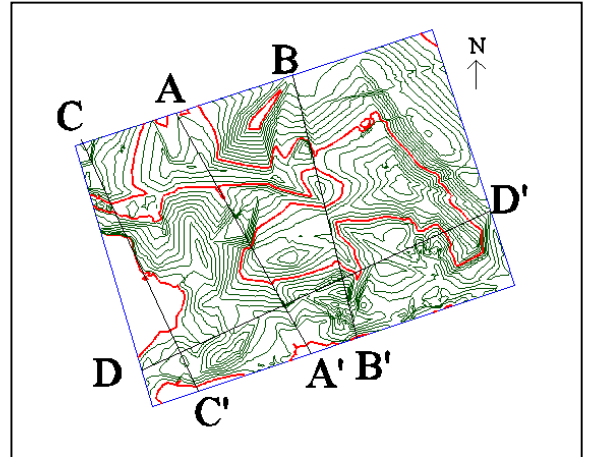


Fuente: Rocas y Minerales S.A.S., 2015.

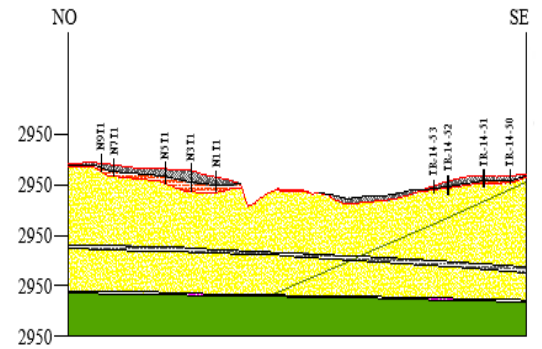
Zona Tajo 1 Sur

Figura 26. Localización y Perfiles Geológicos Tajo 1 Sur.

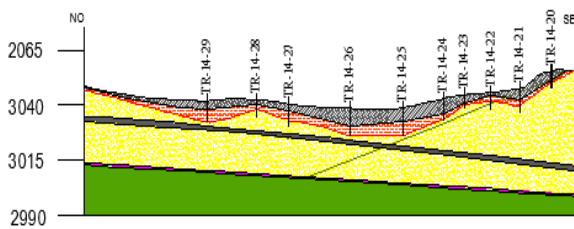
TAJO 1 SUR	
NIVELES	VOLUMEN (m3)
DESCAPOTE	660,866
ARENA SUPERIOR	1'019,004
ARCILLA NIVEL SUPERIOR	116,548
ARENA INFERIOR	1'040,652
ARCILLA MINA VIEJA	158



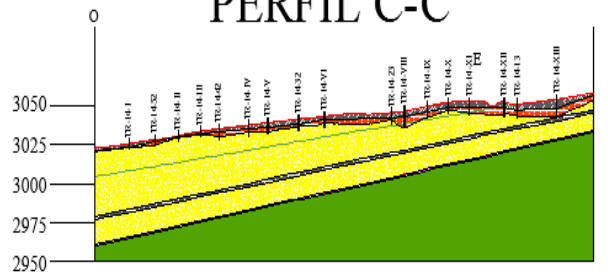
PERFIL A-A'



PERFIL C-C'

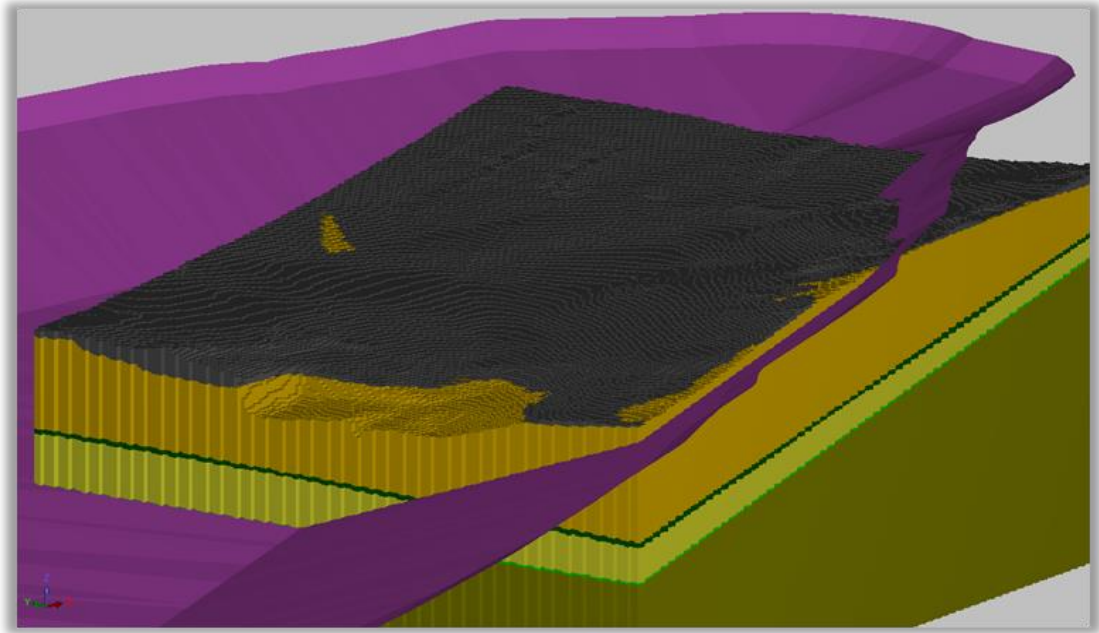


PERFIL B-B'



PERFIL D-D'

Figura 27. Modelo de Bloque Tajo 1 Sur.



Fuente: Rocas y Minerales S.A.S., 2015.

Zona Tajo 6

Figura 28. Localización y Perfiles Geológicos Tajo 6.

TAJO 6	
NIVELES	VOLUMEN (m3)
DESCAPOTE	182,356
ARENA SUPERIOR	832,864
ARCILLA NIVEL SUPERIOR	32,922
ARENA INFERIOR	429,511
ARCILLA MINA VIEJA	294

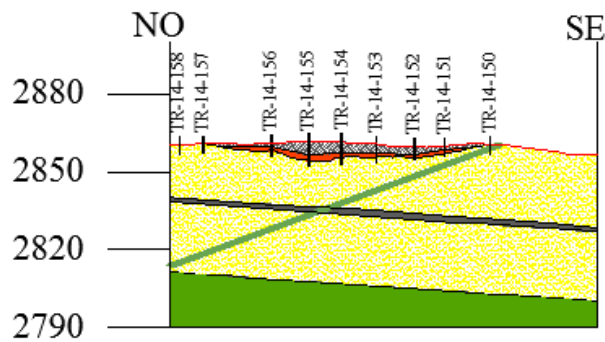
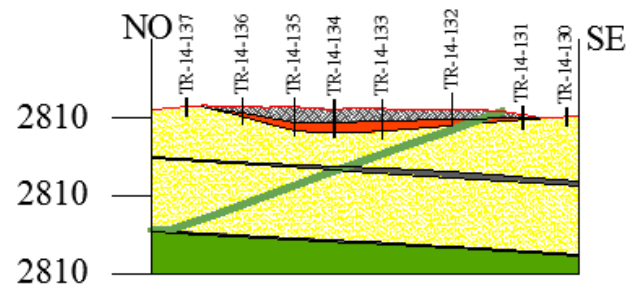
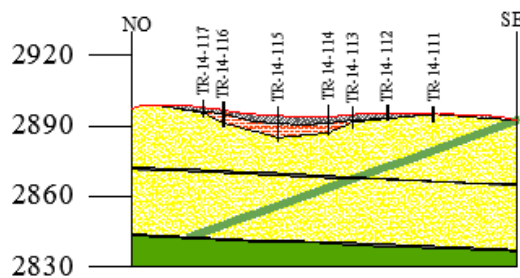
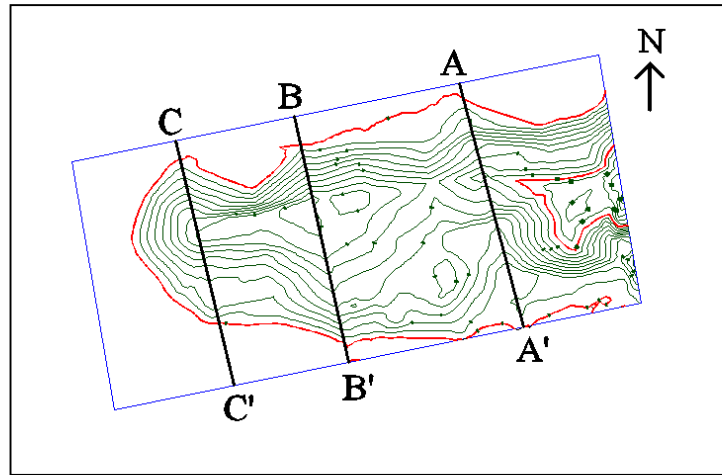
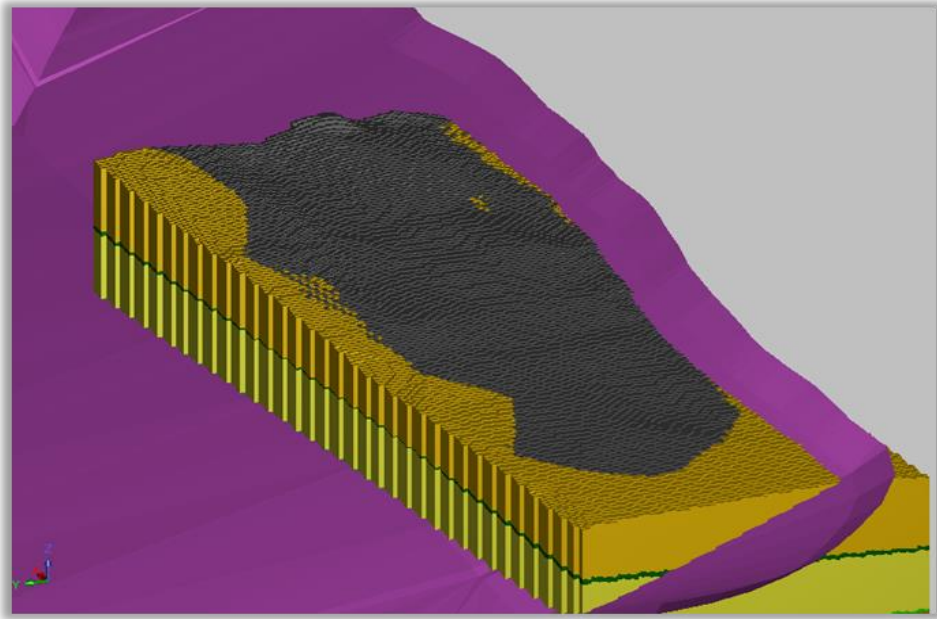


Figura 29. Modelo de Bloque Tajo 6.



Fuente: Rocas y Minerales S.A.S., 2015.

Zona Tajo 2

Figura 30. Localización de perfiles geológicos Tajo 2.

TAJO 2	
NIVELES	VOLUMEN (m3)
DESCAPOTE	383,254
ARENA SUPERIOR	---
ARCILLA NIVEL SUPERIOR	---
ARENA INFERIOR	616,212
ARCILLA MINA VIEJA	672

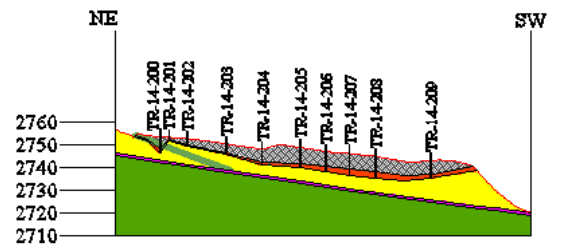
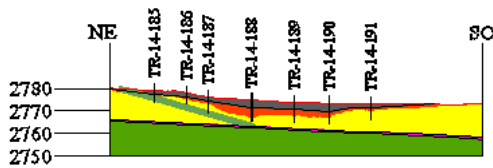
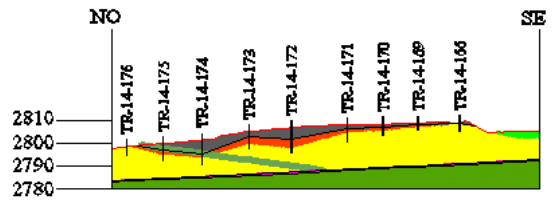
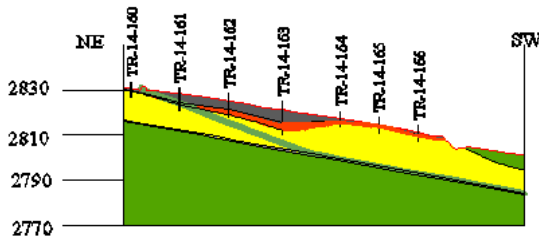
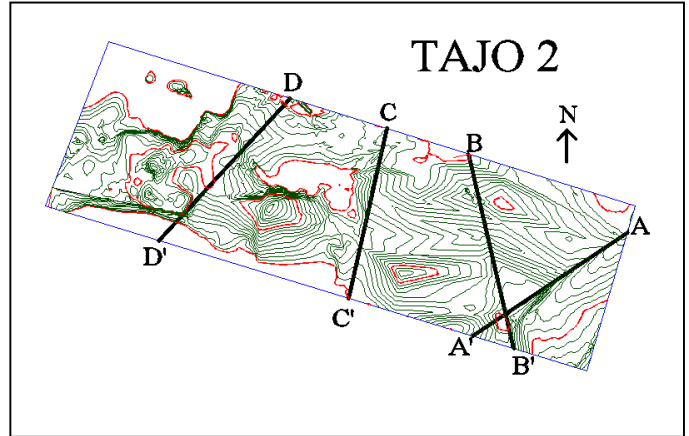
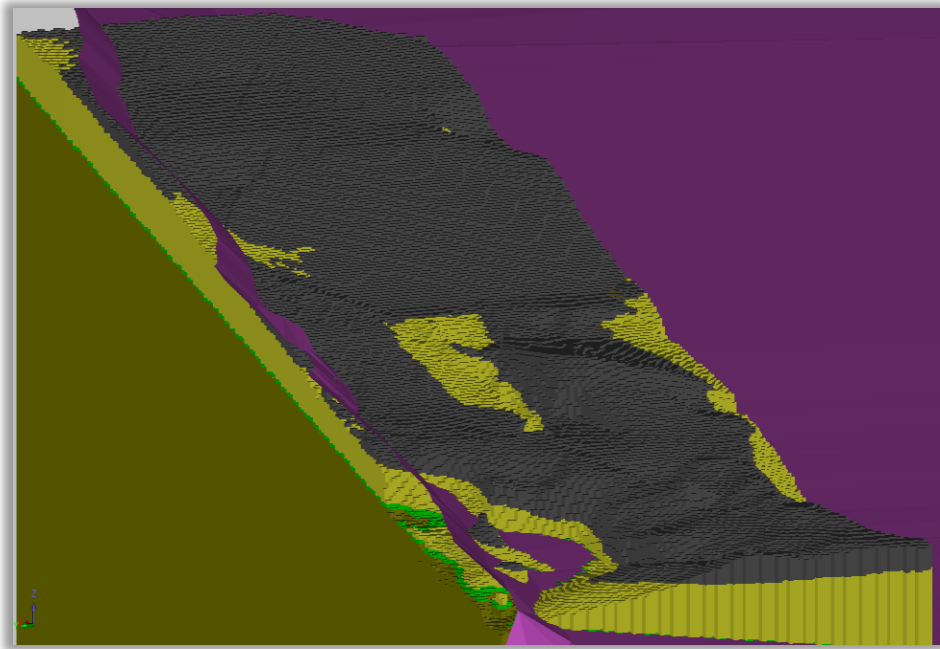


Figura 31. Modelo de Bloque Tajo 2.



Fuente: Rocas y Minerales S.A.S., 2015.

Zona La Campiña

Figura 32. Localización de perfiles geológicos La Campiña.

LA CAMPIÑA	
NIVELES	VOLUMEN (m3)
RELLENO	19,441
DESCAPOTE	92,812
ARENA SUPERIOR	---
ARCILLA NIVEL SUPERIOR	---
ARENA INFERIOR	344,641
ARCILLA MINA VIEJA	---

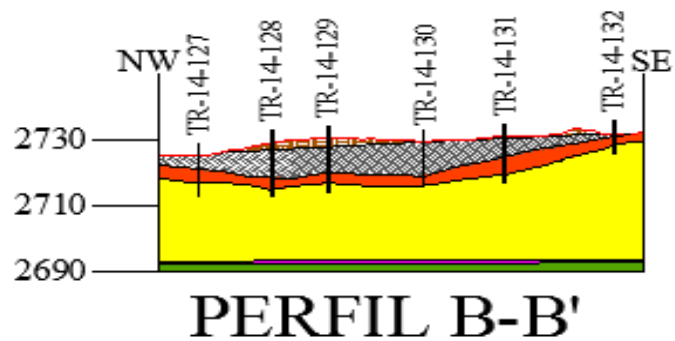
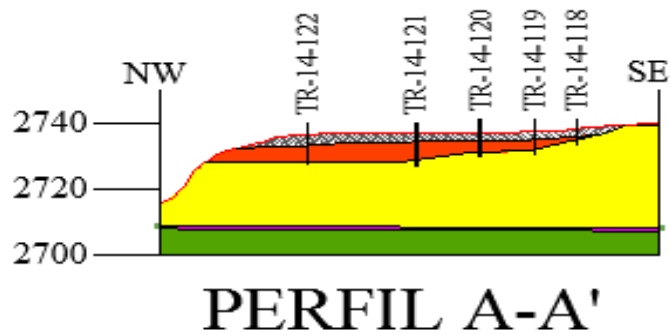
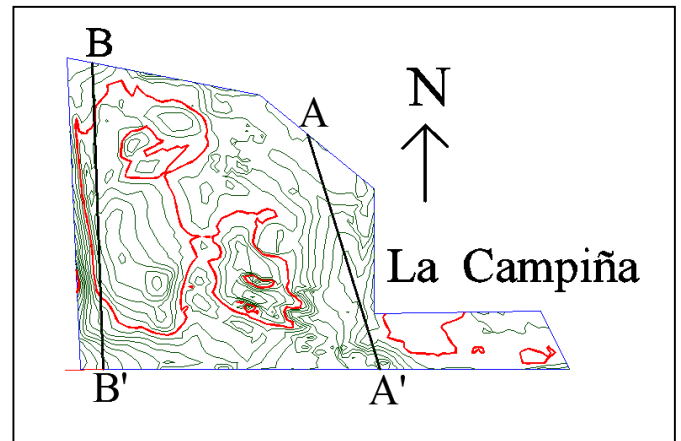
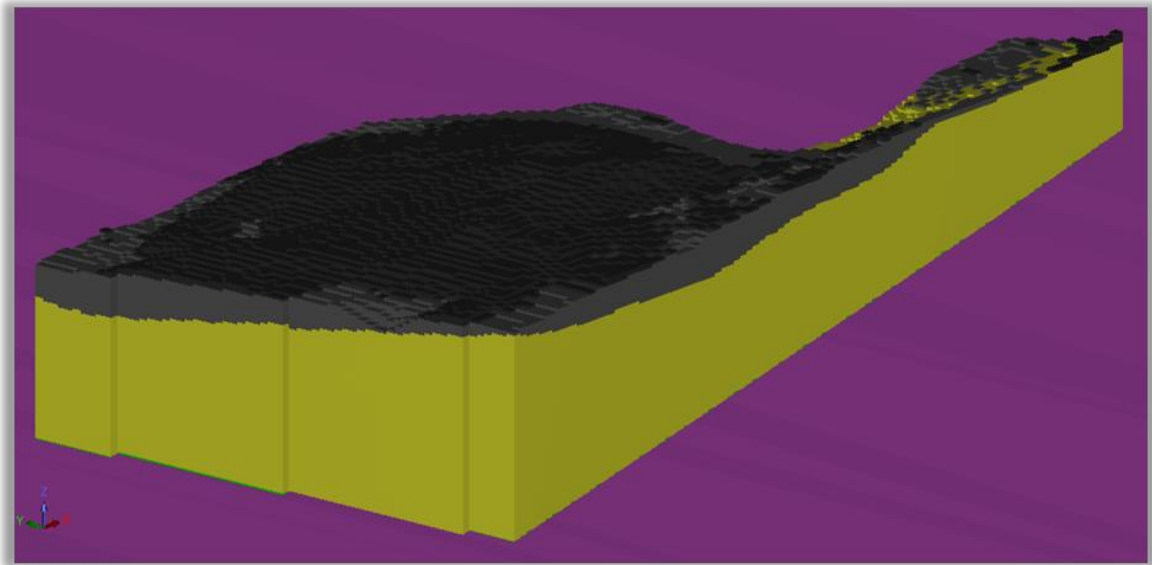


Figura 33. Modelo de Bloque La Campiña.



Fuente: Rocas y Minerales S.A.S., 2015.

Zona Mina Vieja

Figura 34. Localización de perfiles geológicos Mina Vieja.

MINA VIEJA	
NIVELES	VOLUMEN (m3)
DESCAPOTE	42,721
ARENA SUPERIOR	---
ARCILLA NIVEL SUPERIOR	---
ARENA INFERIOR	334,711
ARCILLA MINA VIEJA	2465

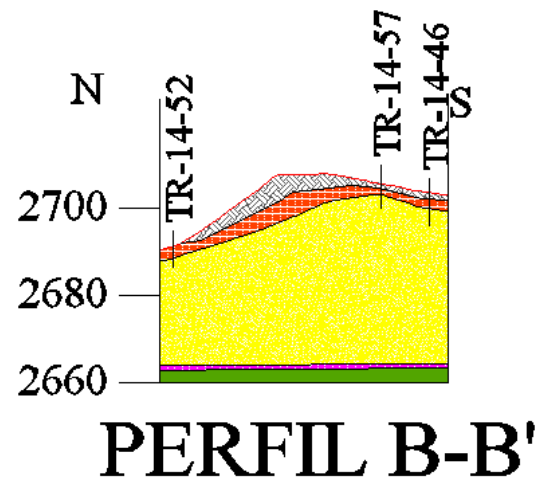
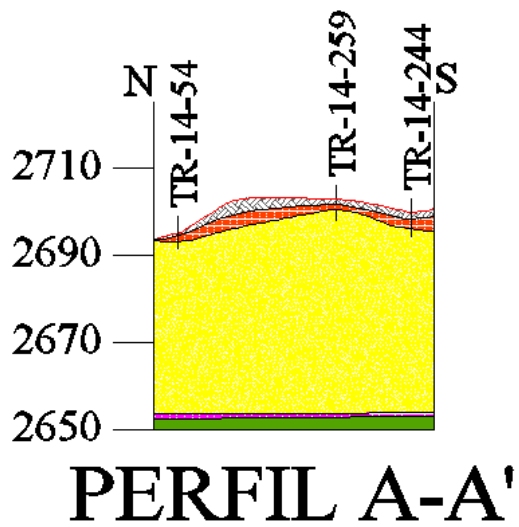
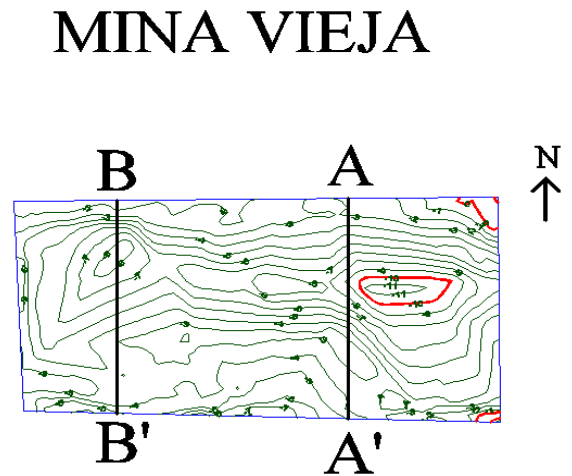
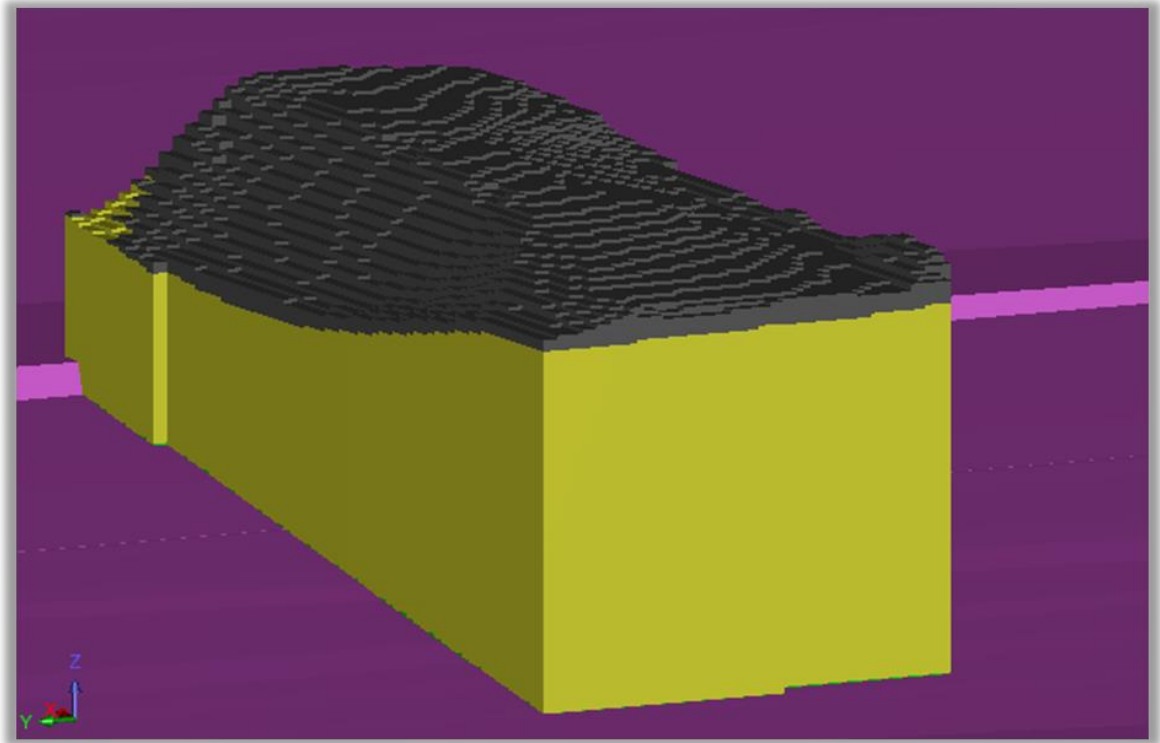


Figura 35. Modelo de Bloque Mina Vieja.



Fuente: (Rocas y Minerales S.A.S., 2015)

6 ANÁLISIS FISICOQUIMICOS MUESTRAS DE ARENA

El análisis de las muestras obtenidas en las perforaciones tiene como objeto definir el contenido de hierro presente en la arena por medio de la técnica de fluorescencia de rayos X. Para obtener el valor en partes por millón de hierro presente, la muestra de arena debe pasar por un procedimiento de lavado y secado que se describe a continuación.

6.1 PROCESO DE LAVADO Y SECADO

1°. Cuarteo del Material hasta dejar una muestra de 3.000 gramos aproximadamente y se separan 500 gramos.

2°. Secado de los 500 gramos en la estufa eléctrica y tamizado por la malla No. 20. Esta primera muestra se envía al laboratorio para análisis químico como muestra ENTERA.

3°. A los 2500 gramos restantes se les adiciona agua hasta obtener una proporción del 70% de sólidos y 30% de agua.

4°. Atricciónado de la muestra anterior en el scrubber durante 8 minutos. El scrubber consiste en un vaso metálico con tapa, paredes internas revestidas con caucho y un motor eléctrico que lava la muestra separando el material fino lodoso de las partículas de arena.

Fotografía 7. Equipo Scrubber para lavado.



5°. Lavado del material con agua limpia durante 5 minutos y luego se elimina la mayor cantidad de agua.

Fotografía 8. Eliminación de finos mediante el proceso de Lavado.



6°. Secado en la estufa eléctrica y tamizado por la malla No. 20. De este material se toma una muestra y se envía al laboratorio para análisis químico como muestra LAVADA.

Fotografía 9. Proceso de Secado.



7°. El material restante se somete a separación Magnética, esto con el fin de eliminar las partículas ferrosas presentes.

8°. El anterior material se toma una muestra y se envía al laboratorio para análisis químico como muestra con Separación Magnética.

6.2 PROCESO DE ANÁLISIS CON DIFRACCIÓN DE RAYOS X

1°. Se pesan 10 gramos de la muestra en la balanza empleando una bandeja de aluminio.

Fotografía 10. Implementos de Laboratorio para pulverizar la muestra.



2°. Los 10 gramos se llevan al Molino de bolas durante 4.30 minutos para pulverizar la muestra de Arena

Fotografía 11. Molino.



3°. Se pesan 0.8 gramos de cera aglomerante en una bandeja de aluminio y se le adicionan 8 gramos del material pulverizado sobre la cera ya pesada.

4°. Transferir la anterior mezcla a un recipiente de plástico. El recipiente debe ser específico para mezclar arena y así evitar contaminaciones. Se mezcla el material hasta obtener una coloración homogénea para dar uniformidad durante 3 minutos.

5°. Preparación para el prensado. Se transfiere el material mezclado cera-arena al molde anillado durante un minuto a una presión de 100kN en la prensa hidráulica.

Fotografía 12. Prensa Hidráulica.



6°. una vez obtenida la pastilla se lleva al equipo de FRX para medir el contenido de hierro presente.

Fotografía 13. Equipo de Fluorescencia de Rayos x.



6.3 PROCESO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

1°. Cuarteo del material hasta obtener una muestra de 200 gramos. Se seca en la estufa para obtener un peso constante.

2°. Se tamiza por las mallas No. 16, 20, 30, 40, 50, 100, y 140 pesando luego el retenido en cada malla.

Fotografía 14. Equipo de Tamizado



3°. Los valores obtenidos de peso se ingresan a una hoja de Excel con las especificaciones requeridas para el vidrio.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ARENA DE CRISTALERÍA									
	Ninguna	0%	MAX 2%	MAX 20%				MAX 5%	
Fecha	+ 16	+ 20	+ 30	+ 40	+ 50	+ 100	+ 140	- 140	TOTAL
TR-14-10	0,0	0,0	0,5	2,0	47,0	50,1	0,5	0,0	100,1
TR-14-30	0,0	0,3	0,1	0,3	43,0	41,0	13,0	3,0	100,7
TR-14-54	0,0	0,5	2,0	14,5	41,0	42,0	0,5	0,0	100,5

4°. De acuerdo a los resultados se definen las áreas que mejor resultado presentan y menor porcentaje retenido.

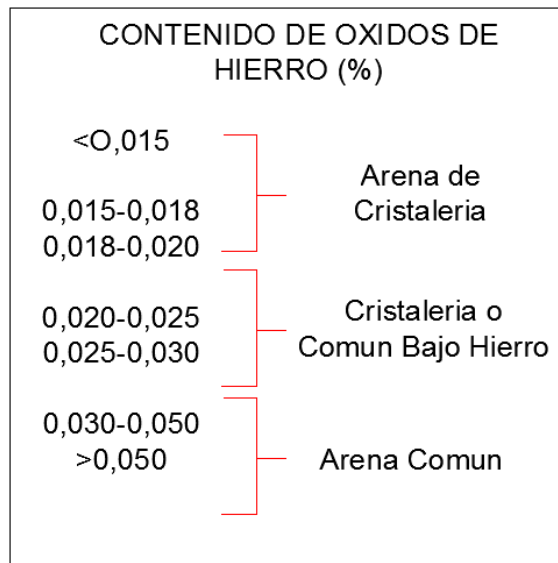
(Ver ANEXO I, ANALISIS GRANULOMETRICOS).

6.4 NIVELES DE CALIDAD

El objetivo de los análisis de laboratorio es determinar zonas en donde el contenido de óxido de hierro se menor de 0,020%.

Para definir los niveles de calidad a partir de los análisis se establecieron siete rangos o intervalos para conocer en forma más detallada su distribución en las zonas. Estos intervalos son:

Figura 36. Intervalos de Calidad.



Fuente: Ingetec S.A., 1993.

Con valores obtenidos de los análisis químicos de las muestras de arena se elaboró un plano de isotenores en planta demarcando los rangos del contenido de óxidos de hierro. Las zonas con mayores concentraciones de óxidos de hierro se presentan principalmente en la periferia de los depósitos cuaternarios definidos a partir de las perforaciones que no alcanzaron el contacto a los 14 metros.

Se delimitan las zonas con el menor contenido de óxidos de hierro presentes hacia el sur y otros muy puntuales con mejores calidades de arena. A continuación se presentan los resultados del análisis de calidad para el tajo 1.

Tabla 16. Muestras Analizadas Tajo 1 Sur.

Tajo 1 Sur				
Total Perforaciones	Perforaciones		Muestras Tomadas	Muestras Analizadas
	Exitosa	No exitosa		
96	61	35	48	28

Tabla 17. Resultados Obtenidos de los análisis Tajo 1 Sur.

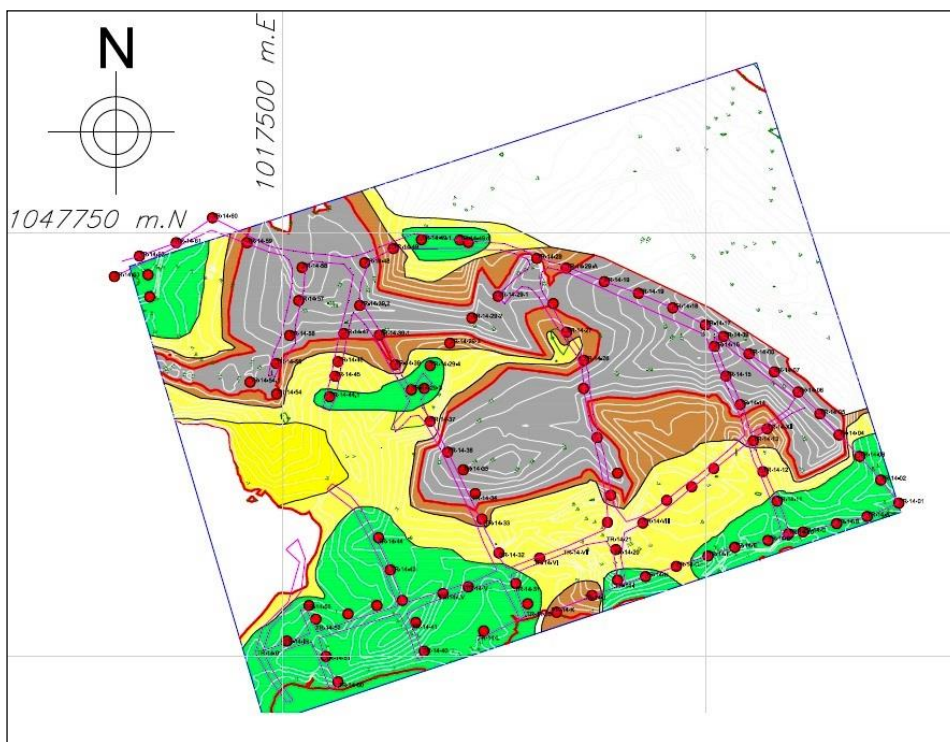
ANALISIS FISICOQUIMICOS - RESULTADO ANALISIS				
MUESTRA	PESO (g)	ANALISIS QUIMICO Fe ₂ O ₃ (%)		PERDIDA TOTAL EN EL PROCESO (%)
		ENTERA	SEP. MAGN.	
TR-14-01	2245	0,0368	0,0153	58,42
TR-14-10	1349	0,0501	0,014	72,06
TR-14-11	1857	0,1342	0,025	81,37
TR-14-12	2237	0,3138	0,062	80,24
TR-14-29.4	2025	0,1126	0,0167	85,17
TR-14-30	1638	0,0455	0,0157	65,49
TR-14-31	1882	0,054	0,0144	73,33
TR-14-36	870	0,1152	0,0194	83,16
TR-14-41	807	0,2309	0,0263	88,61
TR-14-44	1198	0,0447	0,0179	59,96
TR-14-44.1	1392	0,0926	0,0199	78,51
TR-14-45	1839	0,0891	0,0211	76,32
TR-14-46	713	0,0808	0,0237	70,67
TR-14-53	2228	0,048	0,0179	62,71
TR-14-54	1209	0,1494	0,0252	83,13
TR-14-59	1434	0,0978	0,0203	79,24
TR-14-63	1088	0,0427	0,0151	64,64
TR-14-A	1651	0,109	0,0177	83,76
TR-14-C	2053	0,1652	0,0198	88,01
TR-14-D	1512	0,0364	0,017	53,30
TR-14-E	977	0,035	0,018	48,57
TR-14-F	1140	0,057	0,0189	66,84
TR-14-H	1745	0,118	0,0222	81,19
TR-14-I	1468	0,0353	0,0182	48,44
TR-14-J	1510	0,661	0,0438	93,37
TR-14-K	2015	0,4532	0,04	91,17
TR-14-I	824	0,0402	0,0159	60,45
TR-14-II	1632	0,0311	0,017	45,34

Tabla 18. Porcentajes Obtenidos Tajo 1 Sur. Fuente: Autor.

Oxido de Hierro (%)	No. De Muestras	% del total de Muestras	% Acumulado
< 0,015	2	7,14	7,14
0,015-0,018	11	39,29	46,43
0,018-0,020	5	17,86	64,29
0,020-0,025	5	17,86	82,14
0,025-0,030	2	7,14	89,29
0,030-0,050	2	7,14	96,43
> 0,050	1	3,57	100,00
Total	28	100,0	

De la tabla anterior se aprecia que el 64,29% del total de las muestras presentan un contenido menor de 0,020% de óxidos de hierro y se cataloga como arenas para cristalería.

Figura 37. Mapa de Isotenes Tajo 1 Sur.



Se calcularon 1.8 hectáreas (has) dentro de tajo 1 sur que presentan arenas con un porcentaje menor al 0,020% en óxidos de hierro. El depósito cuaternario definido

para este sector abarca un total de 2.6 hectáreas y una profundidad que va hasta los 14 metros.

Tabla 19. Muestras Analizadas Tajo 1 Norte.

Tajo 1 Norte				
Total Perforaciones	Perforaciones		Muestras Tomadas	Muestras Analizadas
	Exitosa	No exitosa		
43	31	12	25	25

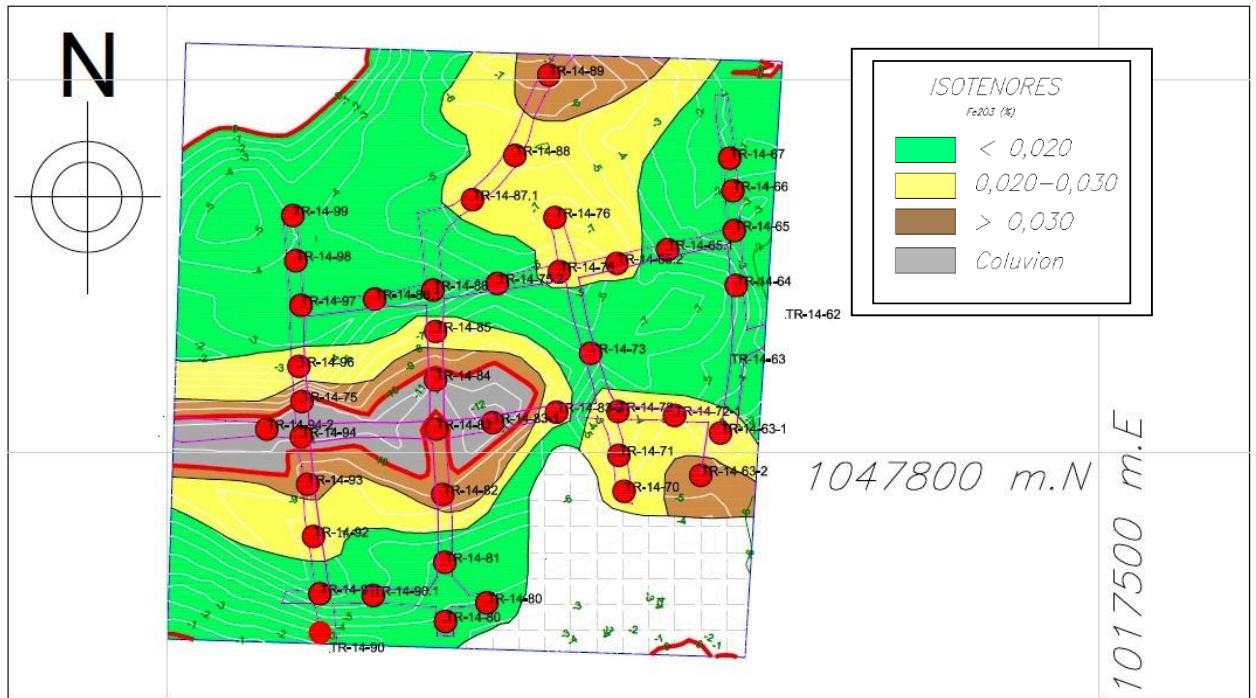
Tabla 20. Resultados Obtenidos de los análisis Tajo 1 Sur.

ANALISIS FISICOQUIMICOS - RESULTADO ANALISIS				
MUESTRA	PESO (g)	ANALISIS QUIMICO Fe ₂ O ₃ (%)		PERDIDA TOTAL EN EL PROCESO (%)
		ENTERA	SEP. MAGN.	
TR-14-63	1088	0,0321	0,0184	42,68
TR-14-63.1	2225	0,0405	0,0234	42,22
TR-14-64	1356	0,0722	0,024	66,76
TR-14-65.1	1653	0,0356	0,0198	44,38
TR-14-65	1765	0,045	0,0193	57,11
TR-14-66	1349	0,0521	0,0201	61,42
TR-14-67	2134	0,0665	0,023	65,41
TR-14-71	965.5	0,0431	0,0221	48,72
TR-14-72	1836	0,0434	0,023	47,00
TR-14-72.1	2561	0,0534	0,021	60,67
TR-14-75	2571	0,0681	0,027	60,35
TR-14-75.2	996	0,0721	0,0263	63,52
TR-14-81	1810	0,0342	0,0185	45,91
TR-14-83.2	1976	0,054	0,0248	54,07
TR-14-85	1768	0,132	0,0361	72,65
TR-14-86	2165	0,0432	0,0208	51,85
TR-14-86.1	2199	0,0539	0,0194	64,01
TR-14-87	1582	0,0417	0,026	37,65
TR-14-88	1768	0,0782	0,0328	58,06
TR-14-90	1689	0,0408	0,017	58,33
TR-14-91	2194	0,0335	0,018	46,27
TR-14-96	552	0,0521	0,0357	31,48
TR-14-97	486	0,0854	0,0239	72,01
TR-14-98	2542	0,0643	0,0198	69,21
TR-14-99	1856	0,0521	0,0221	57,58

Tabla 21. Porcentajes Obtenidos Tajo 1 Norte.

Oxido de Hierro (%)	No. De Muestras	% del total de Muestras	% Acumulado
< 0,015	0	0,00	0,00
0,015-0,018	2	8,00	8,00
0,018-0,020	9	36,00	44,00
0,020-0,025	8	32,00	76,00
0,025-0,030	3	12,00	88,00
0,030-0,050	3	12,00	100,00
> 0,050	0	0,00	100,00
Total	25	100,0	

Figura 38. Mapa de Isoteneses Tajo 1 Norte.



Se calcularon 1.15 hectáreas (has) que presentan arenas con un porcentaje menor al 0,020% en óxidos de hierro y equivale al 46% del área. El depósito cuaternario definido para este sector abarca un total de 0.15 has y una profundidad que va hasta los 13 metros.

7 CONCLUSIONES

- ❖ Como conclusión general, Induprimas posee las reservas suficientes para guiar el desarrollo minero en cualquiera de las zonas perforadas, sin embargo contiene un volumen de descapote que deberán ser extraídos para la obtención de dichas arenas.

ZONA	TAJO 1 NORTE	TAJO 1 SUR	TAJO 6	TAJO 2	LA CAMPIÑA	MINA VIEJA
RELLENO (M3)	-	-	-	-	19,440	-
DESCAPOTE (M3)	129,252	660,866	182,356	383,254	92,812	42,720
ARENA SUPERIOR (M3)	867,444	1'019,004	832,864	-	-	-
RD ARENA SUP.	0.15	0.65	0.22	-	-	-
ARCILLA MINA NUEVA (M3)	54,698	116,548	32,922	-	-	-
ARENA INFERIOR (M3)	535,340	1,040,652	429,510	616,212	344,640	334,710
ARCILLA MINA VIEJA (M3)	72	158	294	672	0	246
TOTAL ARENA (M3)	1'402,784	2'059,656	1'262,374	616,212	344,640	344,710
TOTAL DESCAPOTE (M3)	184,022	777,572	215,572	383,926	112,252	42,966
RD TOTAL	0.13	0.38	0.17	0.62	0.33	0.13

- ❖ Para la extracción del nivel superior de areniscas, el sector tajo 1 norte presenta la menor relación de descapote, 0.15. Este escaso descapote permite tener una relación de 1 m³ arena por 0,15 m³ de estéril.
- ❖ Los análisis de calidad de las muestras para este sector poseen las mejores características y calidades para ser utilizadas como arena de cristalería.
- ❖ El sector tajo 6 aunque presenta excelentes características está limitado por su cercanía al límite del predio y por el ángulo del diseño final de la mina que contempla un ángulo final de talud de 26 grados y no permite la extracción del 37% de reservas del nivel superior y el 76% de reservas del nivel inferior de la formación Tierna.
- ❖ El sector tajo 1 sur aunque presenta importantes volúmenes de reservas de arena, presenta un área importante de un depósito cuaternario dentro de su área. Lo cual tendría una repercusión bastante alta en los costos de extracción.
- ❖ En los sectores bajos de la mina (La campiña y mina Vieja), se calcularon 679,350 m³ de arena, pero se debe tener en cuenta el fracturamiento y diaclasamiento predominante que altera la roca. Esto implicaría que las arenas extraídas en estos sectores se manejarían como Arena Común.

- ❖ Se realizó un cálculo de los volúmenes de arena y descapote con y sin incluir el ángulo del talud final propuesto en el PTO. El resultado obtenido muestra que el ángulo escogido no permite la explotación de importantes volúmenes de arena en los sectores Tajo 1 Norte, Tajo 6 y Tajo 2.

ZONA	TAJO 1 SUR			TAJO 6			TAJO 2		
	TALUD FINAL	SIN TALUD FINAL	%	TALUD FINAL	SIN TALUD FINAL	%	TALUD FINAL	SIN TALUD FINAL	%
DESCAPOTE (M3)	660,866	733,937	9.9	182,356	184,644	1.23	383,254	399,412	4.0
ARENA SUPERIOR (M3)	1'019,004	1'794,688	43.18	832,864	1'332,264	37.48	-	-	-
ARENA INFERIOR (M3)	1,040.652	1'774,178	41.3	429,510	1'572,100	72.6	616,212	827,058	25.4

- ❖ Se complementó la morfología y ubicación de los depósitos cuaternarios interpretados en el mapa geológico detallado preliminarmente, ya que el contacto estéril-arena no es plano paralelo si no que presenta formas irregulares.
- ❖ La nueva información obtenida del contacto a partir de este estudio complementa el modelo obtenido por las tomografías realizadas en el año 2009 para las zonas Tajo 1 Norte y Tajo 6.
- ❖ Los perfiles geológicos muestran la forma del contacto en las zonas de interés minero. Cada perfil fue elaborado con la información a escala de cada perforación.
- ❖ Los valores de óxidos de hierro en las muestras de arena analizadas no presentan oscilaciones muy marcadas, se determinó que los valores altos coinciden con la cercanía a los depósitos de flujos de lodo.
- ❖ Otra conclusión para el alto contenido de hierro en las muestras, se debe a que los detritos pertenecen a zonas de meteorización por la percolación de aguas que lavan los niveles de arcilla sobre el techo de la arenisca.
- ❖ Se encontró que en todos los análisis de laboratorio, el lavado de estas arenas influye sustancialmente en la obtención de mejores calidades.
- ❖ Los mapas de isotenores realizados en planta para los tajos 1 norte y sur, clasificó, según los rangos de los niveles de calidad, áreas aproximadas para los tres tipos de arena.
- ❖ El sector tajo 1 norte por sus reservas de arena y su escaso descapote presente permite dirigir el desarrollo minero en esta dirección.

BIBLIOGRAFÍA

CONSORCIO ASA-GEMI. Título Minero 2604. Bogotá D.C. 2011. p. 23-24.

INFANTE, Jairo; ROCAS Y MINERALES. Estudio de Impacto Ambiental EIA para la mina de arenas El Tunal de INDUPRIMAS en Zipaquirá Cundinamarca. Bogotá D.C. Febrero, 2013. p. 4-99.

INGETEC S.A. Zonificación Mina de Arena Silícea. Zipaquirá, Estudio Geológico. Mayo, 1994. p. 14-19.

----- . Zonificación Mina de Arena Silícea. Zipaquirá, Estudio Geológico Minero del Sector Alto. Septiembre, 1993. p. 22-26.

MONTOYA ARENAS, D. M. y REYES TORRES, G. A. Geología de la sabana de Bogotá. INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERA INGEOMINAS. Bogotá D.C. Marzo, 2005. p. 70-91.

ROCAS Y MINERALES S.A.S. Aclaraciones y Adiciones Plan de Trabajo y Obras PTO Título Minero 2604, Zipaquirá Cundinamarca. RYM_382. Bogotá D.C. Julio, 2013. p. 5-6.

----- . Estimación del volumen de Descapote y de los recursos de arena en seis zonas de desarrollo minero. Bogotá D.C. 2015. p. 4-20

----- . Plan de Trabajo y Obras PTO Título Minero 2604, Zipaquirá Cundinamarca. RYM_370. Bogotá D.C. Octubre, 2012. p. 14-18, 22-27, 35-37.

----- . Prospección Tomográfica para delimitar el espesor del contacto estéril-arena en los tajos 1 y 6 de la mina El Tunal, Zipaquirá Cundinamarca. RYM 382. Noviembre, 2013. p. 23-27, 42-45.